



**PNR** 2021-2027

**Programma nazionale per la ricerca**

**GRANDE AMBITO DI RICERCA E INNOVAZIONE:**

**CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE**

**Allegato esteso**



*Ministero dell'Università e della Ricerca*

## **ESPERTI DEL GRUPPO DI LAVORO 5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE**

**Mobilità sostenibile:** Matteo Colleoni (coordinatore), Gennaro Nicola Bifulco, Francesco Braghin, Antonella Ferrara, Fabio Massimo Frattale Mascioli, Elio Jannelli, Francesco Leali, Enrico Musso, Marco Pierini, Gianfranco Rizzo, Bianca Maria Vaglieco

**Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento:** Bruno Carli (coordinatore), Roberto Buizza, Piermarco Cannarsa, Piero Di Carlo, Maria Cristina Facchini, Francesca Giordano, Mario Rosario Losasso, Laura Mancini, Roberto Morabito, Dario Padovan, Vittorio Rossi

**Energetica industriale:** Romano Borchiellini (coordinatore), Alberto Bertucco, Giorgio Graditi, Fabio Inzoli, Salvatore Antonino Lombardo, Giampaolo Manfrida, Marco Raugi, Giorgio Sulligoi, Antonio Testa, Domenico Villacci, Lucio Zavanella

**Energetica ambientale:** Paolo Baggio (coordinatore), Annarita Ferrante, Gianfranco Rizzo, Giuseppe Peter Vanoli

Roma, novembre 2020

*L'allegato esteso include le riflessioni dei gruppi di lavoro di esperti nominati dal Ministero dell'Università e della Ricerca. Si tratta di un documento di approfondimento che esprime le opinioni degli esperti e che, dunque, non rappresenta una posizione ufficiale.*



## SOMMARIO

<b>5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE .....</b>	<b>I</b>
<b>5.1 Mobilità sostenibile.....</b>	<b>I</b>
Articolazione 1. Sistemi di supporto all’analisi e al governo della mobilità .....	2
Articolazione 2. Infrastrutture per la mobilità accessibili, eco-compatibili, intelligenti e sicure, resilienti, efficienti .....	9
Articolazione 3. Servizi di mobilità e trasporto .....	17
Articolazione 4. Reti e veicoli green e clean .....	25
Articolazione 5. Mobilità automatizzata, connessa e sicura .....	31
Articolazione trasversale. Cross-cutting actions .....	39
Analisi dei livelli di TRL delle ricerche in corso per le articolazioni individuate .....	44
<b>5.2 Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento .....</b>	<b>52</b>
Osservazioni, studio dei processi e modellistica del sistema Terra.....	55
Impatti, rischi e vulnerabilità.....	60
Mitigazione .....	64
Adattamento.....	70
Ricerca .....	74
Formazione.....	76
Conclusioni .....	78
APPENDICE 1. Glossario .....	80
APPENDICE 2. Censimento delle ricerche in atto nell’ambito “Cambiamento climatico, mitigazione ed adattamento” ...	82
<b>5.3 Energetica industriale.....</b>	<b>III</b>
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni .....	III
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale .....	II3
Obiettivi 2021-2027.....	II6
Articolazione 1. Generazione di energia da FER, accumuli energetici e reti europee ed intercontinentali .....	II7
Articolazione 2. Reti intelligenti, flessibili, integrate, resilienti e digitalizzate per una piena integrazione delle FER .....	122
Articolazione 3. Decarbonizzazione dell’industria: produzione locale da FER, uso efficiente e sostenibile dell’energia e dei materiali, trasformazione dei vettori energetici .....	128
Articolazione 4. La catena del valore delle comunità energetiche – verso sistemi energetici decentralizzati .....	133
Articolazione 5. Il sistema energetico nazionale ed i sistemi di trasporto terrestre, marino ed aereo.....	137
APPENDICE 1. Glossario .....	143
<b>5.4 Energetica ambientale .....</b>	<b>144</b>
Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni.....	144
Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale .....	146
Obiettivi 2021-2027.....	148
Articolazione 1. Edifici, storage, ed interazione con energy communities e smart energy grid .....	149
Articolazione 2. Rigenerazione e de-carbonizzazione del patrimonio edilizio .....	152
Articolazione 3. Impianti di climatizzazione, indoor air quality e comfort.....	155
Articolazione 4. Occupant behaviour: models and impacts .....	159
Articolazione 5. Better data and models for optimizing the building performance .....	161



## 5. CLIMA, ENERGIA, MOBILITÀ SOSTENIBILE

### 5.1 Mobilità sostenibile

Il documento analitico si articola in sei sezioni, le prime cinque dedicate all'analisi delle linee strategiche di ricerca individuate (o articolazioni) e l'ultima alla sezione che comprende una serie di azioni trasversali alle articolazioni per la promozione della ricerca sulla mobilità sostenibile.

Ciascuna sezione delle articolazioni si declina nelle seguenti quattro voci di analisi:

1. analisi del contesto, problemi e prospettive di ricerca;
2. censimento delle ricerche in corso;
3. analisi del documento *CE Orientations* e STRIA;
4. tematiche di particolare interesse (attuale o in prospettiva) per il Paese.

Sia le linee strategiche di ricerca che, al loro interno, le tematiche di ricerca di particolare interesse per il Paese sono state definite con attenzione ai tre macro-obiettivi (o macro impatti) che devono guidare la ricerca sulla mobilità sostenibile in Italia con attenzione agli individui, all'ambiente e al sistema industriale e produttivo (vedi Fig. 1):

- a) **Persona.** Sistema resiliente di mobilità sicura (*safety & security*), orientata alla zero incidentalità, equa e accessibile (migliorare la sicurezza, ridurre l'incidentalità, aumentare l'accessibilità per tutti, l'equità e la qualità della vita);
- b) **Ambiente.** Sistema di mobilità *green, clean e climate-neutral* (a livello locale e globale), resiliente, a basso impatto/consumo, energeticamente sostenibile ed attrattivo e riqualificante per l'ambiente antropico;
- c) **Industria.** Industria nazionale dei trasporti innovativa, strategicamente specializzata e resiliente, fortemente integrata con il sistema dell'università e della ricerca e ad alto impatto occupazionale per un sistema di mobilità intermodale.

Il documento è corredato, nella parte conclusiva, da un'appendice che sintetizza, per ciascuna articolazione, la valutazione del livello di maturità (in tre livelli: iniziale, intermedia e finale) e di capacità (di analisi e comprensione dei fenomeni, di validazione su dati sperimentali e di applicazione a casi reali) delle tecnologie e degli ambiti di ricerca attualmente presenti nel nostro Paese.

Infine, le articolazioni e le linee di ricerca sono state proposte tenuto conto del confronto avuto, per le integrazioni verticali, con i referenti degli altri Ambiti Tematici (in particolare del proprio Grande Ambito di Ricerca 5) e, per le integrazioni orizzontali, con gli *stakeholder* di valenza istituzionale (*cluster* tecnologici, consorzi interuniversitari, centri/fondazioni di ricerca ed associazioni), nel rispetto del principio di adeguato livello di assortimento tra istituzioni e attori industriali, al fine di ricevere conferma in merito al livello di rilevanza dei temi di ricerca proposti.



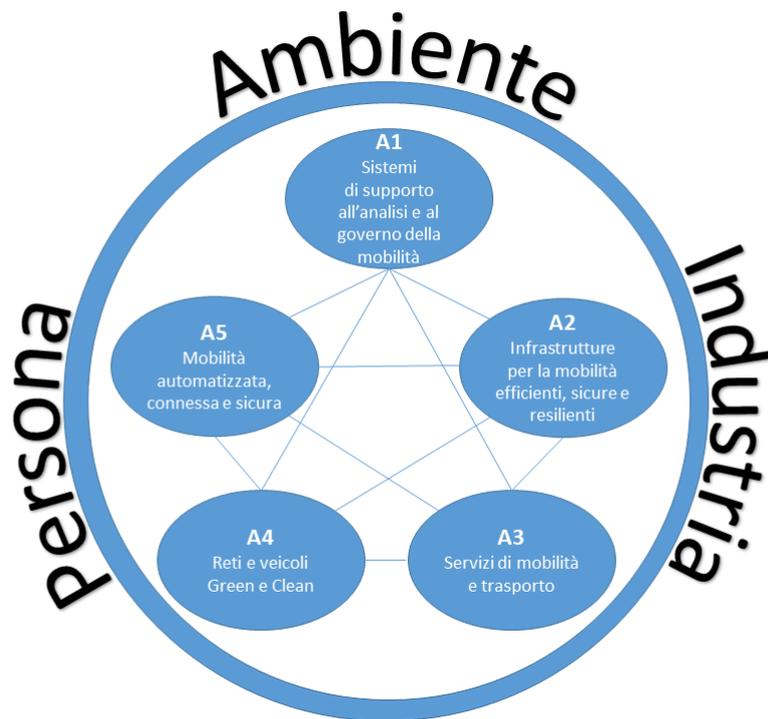


Fig. 1 Schema di rappresentazione dell'interazione tra le articolazioni (A) e tra le articolazioni e i macro-obiettivi (persona, ambiente, industria)

## Articolazione 1. Sistemi di supporto all'analisi e al governo della mobilità

### Analisi del contesto, problemi e prospettive di ricerca

I comportamenti e le scelte modali costituiscono le componenti strutturali dei bisogni e della domanda di mobilità che, unitamente all'offerta di infrastrutture e mezzi di trasporto, formano il Sistema di mobilità di un Paese. La conoscenza e la ricerca sulla struttura e dinamica della domanda è di prioritaria importanza per politiche nazionali e locali della mobilità e dei trasporti orientate in direzione del risparmio energetico, del contenimento dell'emissione di inquinanti e del miglioramento del riparto modale (a vantaggio delle modalità più sostenibili a livello socio-economico e ambientale).

La letteratura nazionale e internazionale più accreditata, d'altronde, dedica sempre più attenzione alla ricerca sulla domanda di mobilità e sulle principali variabili che ne influenzano le dinamiche, nella convinzione che per transitare verso un paradigma della mobilità più sostenibile sia necessario comprendere le interazioni tra cambiamenti climatici, scelte di spostamento (incluse le scelte modali) e comportamenti umani. Si tratta di un'attenzione alle interazioni tra dimensioni macro (strutturali) e micro (comportamentali) del Sistema di mobilità che trova supporto scientifico a livello internazionale nei più recenti *sustainability transition studies*, secondo i quali la transizione verso sistemi più sostenibili è un processo multi-dimensionale, esito della co-evoluzione di tecnologie, mercati, pratiche sociali, culture, infrastrutture e canali di produzione e distribuzione. La dinamicità dell'attuale contesto sociale e tecnologico richiede un'attenta analisi dei legami fra evoluzione del territorio e sistema di trasporto, legami che vanno ben al di là dei livelli di servizio offerti. È necessario tenere conto della concatenazione tra scelte di spostamento di ciascun utente, caratteristiche endogene (non sempre direttamente osservabili, quali attitudini, percezioni etc.) e caratteristiche del contesto sociale e istituzionale esistente (e delle altre variabili "esogene").

A livello internazionale (in particolare nei Paesi occidentali più sviluppati) la ricerca sulla domanda di mobilità è molto avanzata e affidata, oltre alle indagini condotte dalle Università, a quelle promosse dai Ministeri o dai Dipartimenti dei



Trasporti (spesso in collaborazione con i rispettivi Istituti nazionali di statistica o con agenzie e soggetti nazionali preposti allo studio della mobilità) su base campionaria nazionale. Nel nostro Paese è assente un'indagine nazionale campionaria simile alle *National Travel Survey* realizzate in altri Paesi che forniscono informazioni su variabili rilevanti per conoscere la domanda di mobilità. L'assenza o la scarsità di queste informazioni consente di avere una conoscenza non sempre completa della domanda di mobilità e, quindi, di avviare politiche di offerta (di infrastrutture e modi di trasporto ma anche di distribuzione territoriale dei servizi) adeguate a rispondere ai bisogni di mobilità o ad orientarli in direzione delle modalità più eque e sostenibili. Essendo la mobilità, oltre che un'attività, un diritto fondamentale per accedere alle opportunità territoriali, la corretta conoscenza della domanda di mobilità e delle risorse necessarie per esprimerla (il cosiddetto "capitale di mobilità") rappresenta infine un'imprescindibile condizione di inclusione sociale.

La necessità di meglio conoscere la domanda di mobilità per intervenire con politiche più adeguate (e in sintonia con le Direttive Comunitarie<sup>1</sup>) è giustificata dalla presenza di profili (o stili) di mobilità ancora poco sostenibili. Ne rappresentano evidenze empiriche la crescita dei divari di mobilità tra fasce di età e posizioni professionali e l'aumento delle distanze degli spostamenti (rispetto ai primi anni del nuovo secolo). Un ulteriore esempio di crescente articolazione della mobilità è l'incremento degli spostamenti finalizzati a svolgere attività di gestione della famiglia e del tempo libero rispetto a quelli per motivi di lavoro e studio. Con attenzione alla ripartizione modale e alle variabili ad essa correlate, l'analisi di medio periodo conferma la presenza di quote elevate d'uso delle autovetture private nei comuni di dimensioni medio-piccole (meno di 50mila abitanti) e nell'Italia centro-meridionale. Il tasso di mobilità sostenibile (dato dalla somma di spostamenti a piedi, in bicicletta e con i mezzi pubblici) rimane nel 2018 inferiore al 40%, lo stesso livello di inizio millennio, a conferma della necessità di dedicare più attenzione alle politiche per la mobilità sostenibile (di sostegno alla mobilità pubblica e attiva<sup>2</sup>).

Offrono un ulteriore elemento critico i tassi di motorizzazione ancora elevati e in crescita del nostro Paese (da 59 vetture ogni 100 abitanti del 2002 a 64 su 100 del 2018, rispetto alla media europea di 52 su 100), l'incremento del parco veicolare<sup>3</sup>, la crescita dell'età media delle auto circolanti (pari nel 2017 a circa 11 anni, con un incremento della quota % di auto con più di 10 anni che sale dal 38% del 2000 al 56% del 2017) e la quota ancora contenuta di veicoli elettrici o ibridi (il 3,4% nel 2018 rispetto al 55% di autovetture a gasolio, quota ancora maggioritaria nel parco auto esistente). Una situazione diversa da quanto accade in molti altri paesi dell'Unione Europea, dove la quota di veicoli elettrici cresce ad un tasso maggiore (in media), anche in paesi economicamente meno ricchi (come Portogallo e Spagna), e arriva addirittura a superare il 50% dei nuovi veicoli venduti ogni anno in Norvegia (dove rappresentano oltre il 14% dei veicoli in uso nel 2018)<sup>4</sup>.

La necessità di promuovere la mobilità sostenibile (pubblica e attiva) e di contenere i tassi di immatricolazione delle autovetture, in particolare ad alimentazione tradizionale, chiama in causa le politiche e, a livello locale (urbano e metropolitano), la pianificazione della mobilità e dei trasporti (integrata con gli altri strumenti di pianificazione del territorio, i *Piani di governo del territorio* e i *Piani dei servizi*). I *Piani metropolitani per la mobilità sostenibile* si pongono come innovativi strumenti pianificatori per la gestione dei sistemi di mobilità su vasta scala, la valutazione dell'efficacia dei quali apre spazio ad ulteriori specifici filoni di ricerca.

---

<sup>1</sup> Commissione Europea 2007, *Libro verde. Verso una nuova cultura della mobilità urbana*.

Commissione Europea 2009, *Action plan on urban mobility*, Bruxelles, [http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban\\_mobility/action\\_plan\\_en](http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/action_plan_en), (09/2018).

Commissione Europea 2011, *Libro bianco. Tabella di marcia verso uno spazio unico dei trasporti. Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile*, Bruxelles, 28/13/2011.

Commissione Europea 2017, *European urban mobility. Policy context*, Bruxelles.

<sup>2</sup> Isfort, 2019, *Sedicesimo rapporto sulla mobilità degli italiani*, Roma ([https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2019/12/16\\_Rapporto\\_Audimob.pdf](https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2019/12/16_Rapporto_Audimob.pdf)).

<sup>3</sup> Aci, 2020, *Annuario statistico. Anno 2020*, <http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/annuario-statistico/annuario-statistico-2020.html>.

<sup>4</sup> Dati Acea 2018: <https://www.acea.be/statistics/article/trends-in-fuel-type-of-new-cars-between-2016-and-2017-by-country>.



La sostenibilità in tema di mobilità può essere inoltre promossa grazie all'uso innovativo degli *open data*. La comunità politica internazionale tratta questo tema nei trasporti e nella mobilità, declinandolo, spesso, a partire dall'implementazione del processo di trasformazione delle città in *Smart City* (vedi Articolazione 3 "*Intelligenza artificiale per la società*" dell'Ambito tematico "*Intelligenza artificiale*"). Tale processo, che appare di massima urgenza se riferito alla rapida crescita delle dimensioni delle megalopoli mondiali, assume un sempre maggiore interesse a causa del progressivo inurbamento e della trasformazione delle città, visibile anche sul territorio nazionale. I temi che emergono più frequentemente toccano diversi degli aspetti sin qui descritti, promuovendo città più efficienti e sostenibili attraverso azioni su edifici, mezzi, modelli di pianificazione e gestione amministrativa, nonché di informazione dei cittadini. Più in dettaglio, per quanto attiene alla presente articolazione, sembra possibile identificare quattro assi principali di sviluppo, tra loro integrabili:

- coinvolgimento e partecipazione dei cittadini;
- accesso libero ai dati;
- tecnologie per l'Internet del futuro;
- sviluppo delle città come eco-sistemi innovativi avanzati.

Lo scenario urbano, dunque, sembra coinvolgere due principali gruppi di interesse:

- i soggetti pubblici, interessati allo sviluppo di servizi digitali integrati, finalizzati al miglioramento della qualità della vita dei cittadini e alla valorizzazione e promozione del territorio e del turismo;
- i soggetti economici privati, interessati alla valorizzazione dei dati raccolti dai veicoli e all'offerta di nuovi servizi integrati, anche basati sulla dettagliata profilazione degli utenti e sul monitoraggio delle abitudini d'uso di prodotti e servizi.

Secondo recenti studi, la diffusione capillare dei sistemi portatili di comunicazione, il diffondersi di reti caratterizzate da banda passante sempre più elevata e *latency* sempre più ridotta nonché il decrescente costo di sensori sempre più evoluti ed integrati, rende possibile l'integrazione fra il mondo digitale e quello delle macchine, tra le quali i mezzi di trasporto, la cosiddetta "*Data-driven Society*". Il conseguente enorme flusso di dati combinato con l'evoluzione del *cloud computing* e degli strumenti di analisi dei dati (come ad esempio il *machine learning*) permette di conoscere in tempo reale i vari flussi di mobilità sia a livello urbano che a livello extraurbano, sia di tipo veicolare che delle persone (e di tenerne traccia). Si aprono così le porte ad una gestione capillare e adattiva degli stessi nonché alla possibilità di essere di supporto alla previsione di tali flussi, anche se non sempre in maniera robusta, a fronte di modifiche del tessuto urbano o di eventi eccezionali.

La principale problematica associata alla mobilità *data-driven* è la privacy dell'utente. È quindi di fondamentale importanza garantire l'anonimizzazione dei dati acquisiti con procedure robuste e con un supervisore pubblico (il Garante della privacy) a tutela del cittadino. Un altro aspetto critico della mobilità *data-driven* è la proprietà del dato. Tipicamente questo dato viene raccolto dal cittadino, tuttavia non è di sua proprietà ma di chi ha realizzato il sistema per raccogliere il dato stesso o di chi possiede la rete di comunicazione attraverso la quale il dato viene trasmesso. Una corretta e trasparente gestione dei dati rappresenta un passo fondamentale per un adeguato sviluppo della mobilità *data-driven*. Da un punto di vista modellistico, e con effetti sulla pianificazione e gestione della mobilità, le soluzioni *data-driven* devono essere integrate con approcci di tipo *model-based*, realizzando strumenti interpretativi di analisi e modellazione e previsionali di tipo misto sui quali occorrono particolari investimenti di ricerca. I modelli *data-driven*, infatti, permettono di osservare gli effetti dei meccanismi di interazione nella mobilità, continuando a nascondere, in molti casi, fattori strutturali e comportamentali che determinano tali interazioni, e per le quali una spiegazione *model-based* è di gran lunga migliore rispetto a nessuna spiegazione.

Una migliore comprensione della domanda di mobilità è necessaria per rendere il sistema che la governa resiliente e capace di rispondere agli shock. Un aspetto emerso durante la crisi pandemica del 2020, ma ben noto, mostra come la mobilità associata alla globalizzazione sia una delle principali cause della rapida diffusione di malattie e patogeni, in quanto foriera dei suoi vettori. Nel caso di pandemie il vettore che trasporta la malattia è l'uomo stesso e, come sappiamo, il numero di persone che si spostano e la loro velocità è molto elevato, non solo su scala globale ma anche locale. Uno studio recente ha messo in evidenza come in media il numero di contatti giornalieri per classe di età e



contesto sociale vari tra 10 e 20<sup>5</sup>. Questo spiega la diffusione della pandemia e sollecita la necessità della ricerca sul tema, in modo da aggiornare i piani regionali, nazionali ed internazionali per far fronte a nuove ondate pandemiche, come ad esempio il “*Piano nazionale di preparazione e risposta ad una pandemia influenzale*” del 2006 sviluppato a valle dell’influenza aviaria da virus A/H<sub>5</sub>N<sub>1</sub> ossia dalla fine del 2003.

Il tema dei dati non può essere scisso da quello delle infrastrutture intelligenti che contribuiscono alla loro produzione, le *Smart Roads*. Già a partire dall’analisi del recente Decreto MIT 70/2018 “*Smart Road*” appare chiaro l’obiettivo di agevolare il trasporto grazie all’implementazione di sistemi di raccolta ed elaborazione dati provenienti dall’infrastruttura stradale e dai veicoli attraverso, ad esempio, la rilevazione del meteo e del traffico, la presenza di cantieri stradali, il monitoraggio dell’infrastruttura stessa nonché la verifica continua delle condizioni di sicurezza strutturale di ponti e viadotti e il suggerimento di azioni manutentive preventive e all’occorrenza straordinarie. Informazioni che possono essere facilmente tradotte in servizi *real time* per gli utenti della strada come, ad esempio, gestione di deviazione dei flussi di traffico nel caso di incidenti, suggerimento di traiettorie alternative, interventi sulla velocità per evitare situazioni di traffico, gestione di accessi, parcheggi e rifornimenti, interventi tempestivi in caso di emergenze, anche attraverso l’attivazione automatica di sistemi di comunicazione multi-canale alle autorità preposte (gestore/concessionario della rete stradale, VVF, Protezione Civile, Pronto Intervento ecc.). Lo stesso Decreto, inoltre, suggerisce azioni quali la creazione, a livello almeno nazionale, di banche dati cartografici ad alta definizione, lo sviluppo di piattaforme condivise per l’utilizzo efficiente dei dati provenienti dai veicoli cooperativi e di strumenti di supporto e monitoraggio per i veicoli a guida assistita ed automatica.

### Censimento delle ricerche in corso

Nel corso degli ultimi dieci anni la ricerca, soprattutto internazionale, sulla domanda di mobilità ha posto attenzione a tre tematiche:

- le scelte modali e i profili di mobilità;
- l’auto dipendenza;
- la relazione tra mobilità-accessibilità e rischi di esclusione sociale.

Se ne ripercorrono le più accreditate tendenze scientifiche a livello internazionale e nazionale al fine di identificare i principali deficit nazionali che ne suggeriscono l’implementazione nel presente PNR.

L’economia e l’ingegneria dei trasporti sin dagli anni sessanta dello scorso secolo hanno dedicato attenzione all’analisi della dinamica della domanda e dell’offerta di mobilità e alla ricerca sulle determinanti sociali, economiche e tecnologiche delle scelte di mobilità e di spostamento. Sono diversi i filoni di ricerca che richiedono un investimento di risorse alla luce delle trasformazioni in atto nel settore dei trasporti:

- l’analisi e modellazione di: (i) comportamenti di spostamento complessi (*activity-based, trip-chaining*); (ii) di comportamenti di spostamento in contesti di offerta fortemente intermodali (e.g. *Mobility as a Service*); (iii) di comportamenti in presenza di sistemi informativi avanzati;
- l’analisi dei costi generati dall’incremento della domanda di trasporto in termini non solo monetari ma anche temporali (tempo della mobilità quotidiana) e spaziali (distanze);
- l’analisi dell’elasticità della domanda di trasporto e degli effetti sostituzione, in ragione dell’aumento, nella fase precedente la crisi da Covid-19, dei prezzi dei carburanti e delle ricadute delle politiche di contenimento della mobilità veicolare privata sulle scelte modali pubbliche;
- lo studio dell’influenza del reddito sulla domanda di mobilità, alla luce sia della crescita delle disuguaglianze di reddito sia dell’evoluzione del costo (reale e percepito) dei mezzi di trasporto;
- l’analisi della percezione dei costi di trasporto, in particolare in rapporto alla percezione di modalità alternative quali il mezzo pubblico e la mobilità attiva e di alternative intermodali e/o paradigmi di mobilità

---

<sup>5</sup> Arregui, S., Aleta, A., Sanz, J., & Moreno, Y. (2018). *Projecting social contact matrices to different demographic structures*. PLoS computational biology, 14(12), e1006638.



alternativi (es.: *Mobility as a Service*) che nelle città dei Paesi che più hanno investito sulla mobilità sostenibile, hanno assunto valore crescente;

- l'analisi e modellazione della *market penetration* e delle dinamiche di diffusione di tecnologie innovative: veicoli connessi, veicoli automatici, autonomi e ad alimentazione alternativa.

Nel campo dei trasporti la sostenibilità è dunque l'esito di politiche integrate, tra le quali grande importanza assumono oggi le politiche di modifica delle abitudini di comportamento. Nuova attenzione deve essere quindi dedicata alla ricerca proposta dalla psicologia ambientale e sociale, nonché dalle scienze ingegneristiche, che dagli anni '80 ambiscono a definire nuovi paradigmi interpretativi e teorici per le scelte di mobilità e di spostamento. Se da un lato è importante approfondire paradigmi interpretativi efficaci, innovativi e coerenti con la società e le future modalità di vita, dall'altro è fondamentale proporre corrispondenti formulazioni modellistiche in grado di simulare i comportamenti di scelta in contesti operativi sempre più complessi e dinamici. È altresì importante comprendere e stimare le variabili che influenzano i comportamenti di spostamento, nella consapevolezza dell'importanza di fattori psico-attitudinali, delle percezioni, delle preferenze e delle esigenze soggiacenti le scelte di viaggio e di mobilità degli utenti di un sistema di trasporto (ora di partenza, tipologia di spostamento, concatenazione delle scelte, frequenza di spostamento, modo di trasporto, percorso...).

Negli ultimi 30 anni la teoria dell'utilità aleatoria ha consentito un'efficace ed efficiente analisi e simulazione della domanda di spostamento e mobilità, anche internalizzando fattori psicologici sebbene l'evoluzione della società richieda anche paradigmi alternativi. In tale contesto le scienze sociali hanno delineato, ma non sempre approfondito operativamente, numerosi paradigmi teorici che, alla luce dello scenario attuale, assumono un rilevante interesse scientifico: *Information Integration Theory*; *Theory of reasoned action*; *Theory of planned behavior*; *Diffusion of Innovation Theory*; *Trans-theoretical Model*; *Technology Acceptance Model*; *Unified theory of acceptance and use of technology*; *Script based choice theory*; *Prospect Theory*.

Nell'ambito dei suddetti paradigmi teorici, si pone attenzione alle seguenti aree di ricerca:

- analisi dei nuovi schemi organizzativi con cui gli attori si spostano. Nuovi paradigmi di spostamento/mobilità si stanno realizzando alla luce del contesto tecnologico esistente e delle nuove modalità di lavoro, di vita sociale e di partecipazione alle attività;
- analisi e modellazione degli effetti che i nuovi servizi di mobilità (mobilità attiva, *sharing mobility*, *Mobility As a Service*) e i sempre più realistici sistemi informativi hanno sulle scelte di spostamento (e.g. ora partenza, modo, sequenza di modi, percorso);
- analisi degli effetti dei valori, degli atteggiamenti e delle abitudini nei cambiamenti delle scelte di mobilità (es.: possesso auto) e di spostamento (es.: ora di partenza, modo o sequenza di modi, percorso);
- variazioni nel tempo (tra un giorno e l'altro) dei comportamenti di spostamento, studio della loro evoluzione (o meno) verso configurazioni di equilibrio e studio degli effetti dei mutamenti temporanei nell'offerta di trasporto e dei cambiamenti nelle scelte di spostamento;
- analisi degli effetti dei cambiamenti di contesto nelle trasformazioni modali.

L'analisi del contesto territoriale (della morfologia degli insediamenti, della densità urbana, della taglia urbana, dell'uso misto o monofunzionale del territorio, della struttura territoriale delle infrastrutture e del sistema di offerta di trasporto, ...) raggruppa una serie di discipline interessate a fare ricerca socio-geografica, ingegneristica e urbanistica sulle scelte di spostamento che non possono ridursi alla semplice scelta del modo di trasporto. L'aumento della popolazione urbana, la crescente dispersione degli insediamenti e la formazione delle vaste regioni urbane e metropolitane richiedono di porre più attenzione alla ricerca sulle determinanti territoriali delle scelte di spostamento. In particolare:

- analisi dell'interazione tra caratteristiche degli individui e localizzazione abitativa (centrale, sub o peri-urbana) nelle scelte di spostamento;
- studio della domanda di mobilità e delle scelte di spostamento nei contesti a bassa densità (rurali e peri-urbani);



- analisi della motorizzazione e della propensione all'acquisto e al possesso dell'autovettura privata in relazione alla struttura urbana e all'ambiente costruito;
- analisi delle scelte di spostamento nell'ambito di paradigmi interpretativi *activity-based*, soprattutto alla luce dei futuri modelli di vita e lavoro.

La ricerca sulla relazione storica e territoriale tra possesso e uso dell'automobile accomuna la seconda tradizione di ricerca internazionale sulla domanda di mobilità, riassunta dal tema della dipendenza dall'automobile. Il tema è stato affrontato da una lunga serie di studiosi e di teorie con riferimento sia agli individui sia alla società più in generale. All'interno di queste tradizioni si pone attenzione a tematiche di ricerca ancora poco sviluppate in Italia, in particolare:

- analisi delle conseguenze dell'auto-dipendenza sull'incremento di uso del suolo e sull'aumento dei consumi energetici e ricerca sulle politiche necessarie a contenerla;
- studio dei vantaggi di club e di rete nei processi sottesi all'aumento dell'auto-dipendenza e delle politiche finalizzate a ridurre direttamente e indirettamente tali vantaggi;
- analisi dell'impatto sulla trasformazione del paesaggio e sua percezione, anche in termini di caratterizzazione dei territori (a fini turistici ma non solo), delle infrastrutture e sistemi di mobilità.

Un'ultima tradizione di ricerche internazionali fa da riferimento alla ricerca su struttura e dinamica della domanda di mobilità, inscritta nel filone degli studi su mobilità, accessibilità e rischi di esclusione sociale. Il tema della relazione tra mobilità, accessibilità ed esclusione sociale apre il campo ad una pluralità di ricerche, ancora poco sviluppate nel nostro Paese. In particolare:

- analisi del capitale di mobilità o *motilità* degli attori sociali e delle sue declinazioni in comportamenti di mobilità;
- studio delle dinamiche demografiche (immigrazione, invecchiamento, ingresso delle donne nel mercato del lavoro, nuove generazioni dei *millennials*) e della loro relazione con la domanda di mobilità e l'accessibilità alle risorse territoriali;
- analisi dell'effetto combinato delle variabili strutturali (forma urbana, sistema di offerta dei trasporti) e individuali (socio-demografiche e soggettive: valori, cultura, atteggiamenti e competenze) nei processi di esclusione sociale legati alla mobilità e ai trasporti;
- analisi dell'equità sociale mediante misure di accessibilità che non tengano meramente conto del livello di servizio offerto, ma anche delle attività svolte dagli utenti del sistema di trasporto e delle determinanti psico-attitudinali alla base delle scelte di spostamento.

Sul piano del ruolo delle tecnologie e delle soluzioni *data-driven* nel monitoraggio e governo della mobilità occorre segnalare il *Programma Smarter Italy*, avviato nel 2020 dal Ministero dello Sviluppo Economico, in collaborazione con AgID, mirante alla progettazione di appalti innovativi. Il Programma identifica 4 diverse sfide incentrate su specifiche linee di intervento: sfida n.1: soluzione innovativa predittivo/adattativa per la *Smart Mobility*; sfida n.2: soluzioni innovative per il miglioramento della mobilità delle merci; sfida n.3: soluzioni innovative per la mobilità sostenibile nelle aree a domanda debole; sfida n. 4: soluzioni innovative per il miglioramento della mobilità nei centri storici e nei borghi.

## Analisi del documento CE Orientations e STRIA

L'ampia scala su cui agiscono i cambiamenti ambientali rende necessaria un'azione in termini di politiche di ricerca che vada a integrare e coordinare le attività dei vari paesi. A questo scopo l'Unione Europea ha da tempo sviluppato diversi strumenti orientati a sostenere e connettere le azioni dei paesi membri. In particolare, ai fini della migliore armonizzazione del Programma Nazionale di Ricerca con gli omologhi comunitari, è importante tenere in considerazione le linee espresse a livello europeo, riassunte sinteticamente nel documento "*Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe*" (2019), sviluppato per la nuova programmazione 2021-2027. Per quanto attiene alla tematica della presente articolazione emerge la rilevanza anche negli orientamenti comunitari del bisogno di includere la dimensione della ricerca sui comportamenti e le dinamiche socio-economiche che sottostanno alle



scelte di spostamento nelle strategie di ricerca e innovazione utili a trasformare in senso più virtuoso il sistema della mobilità (Fig. 2).

## Relevant research and innovation areas for decarbonisation

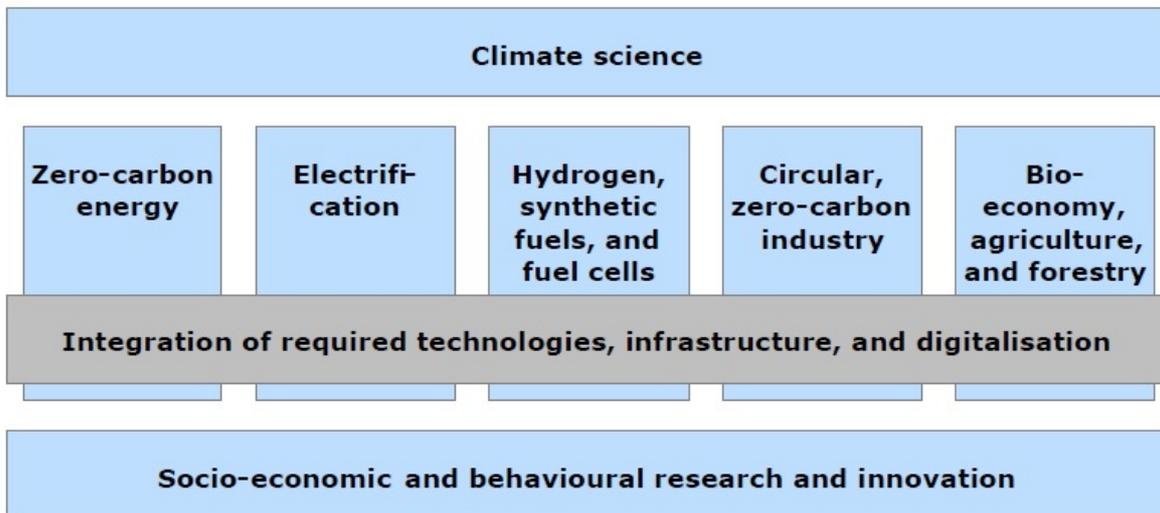


Fig. 2 Aree di ricerca e innovazione del Cluster 5 di Horizon Europe “Climate, Energy and Mobility”. Fonte: “Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe” (2019), p. 87.

Come già accennato, l’aspetto dell’integrazione degli interventi è centrale nella promozione di una strategia di successo nei confronti del cambiamento climatico. In questi termini la Strategia Europea STRIA si colloca in perfetta armonia con quanto indicato negli orientamenti al nuovo programma *Horizon Europe*, di cui sostiene in particolare i “pillars” 1 (*Excellent Science*) e 3 (*Innovative Europe*), andando quindi ad integrare l’azione invece promossa dal Piano Strategico, incentrato sullo sviluppo del *pillar 2* (*Global Challenges and European Industrial Competitiveness*). In particolare, tra le attività previste per il raggiungimento degli obiettivi 2050, la Strategia evidenzia la necessità di “Sviluppare e testare strategie di governance, normative e di appalti pubblici” con l’obiettivo di integrare indicatori e piani urbani e concentrarsi sulla valutazione dell’impatto sulla de-carbonizzazione dei trasporti e sull’uso sostenibile del territorio. A questo fine si rende necessaria una sempre più puntuale ricerca sulla struttura della domanda e dell’offerta di mobilità, di cui va valutato il mutamento anche alla luce degli interventi (tecnologici e non) orientati a ridurre l’impatto ambientale e le esternalità negative di tipo economico, sociale e territoriale. L’articolazione qui descritta permette inoltre di contribuire all’obiettivo 4.5.1 (*Achieve zero-emission road transport*) incluso degli orientamenti comunitari, grazie all’attenzione al contrasto dell’auto-dipendenza, nonché in maniera analoga l’obiettivo 4.5.5 (*Reduce the impact of transport on the environment and human health*) e 4.6.4 (*Enable multimodal freight logistics and passenger mobility services*). In relazione a quest’ultimo si pone come centrale l’analisi dei *driver* delle scelte di mobilità, riportata come linea di ricerca nella presente articolazione, per poter sviluppare in maniera efficace sistemi di mobilità multimodali. Ancora, occorre segnalare la rilevanza dello sviluppo dell’articolazione per la realizzazione dell’obiettivo 4.6.5 (*Increase transport safety – per mode and across modes*) di cui si considerano fondamentali i fattori umani, inclusi i comportamenti sociali.

### Tematiche di particolare interesse (attuale o in prospettiva) per il Paese

Al fine di realizzare un Sistema di mobilità più equo e sostenibile si suggerisce pertanto di promuovere ricerche per incrementare il livello di conoscenza sulle variabili della domanda e degli stili di mobilità.

Un tema di ricerca di prioritaria importanza è rappresentato dall’analisi delle politiche, degli strumenti di pianificazione dei trasporti (in particolare i *Piani Urbani per la Mobilità Sostenibile - PUMS*) e del *mobility management*. Nel rispetto delle indicazioni contenute nei documenti della Comunità Europea in merito a trasporti e mobilità sostenibile, attenzione deve essere dedicata alla ricerca sulle politiche integrate per:



- l'ampliamento delle scelte modali;
- il cambiamento nella distribuzione degli insediamenti e nel modo di costruire lo spazio urbano;
- l'applicazione di disincentivi tariffari;
- la modifica delle abitudini di comportamento, socializzazione alle nuove soluzioni e riduzione del fabbisogno di mobilità.

Particolare attenzione deve essere dedicata alla ricerca sulla relazione tra domanda di mobilità e forma urbana (la morfologia degli insediamenti residenziali, produttivi e commerciali in cui si collocano i generatori e gli attrattori di mobilità), sull'efficacia delle politiche integrate per i trasporti e l'uso del suolo per il governo del sistema di mobilità nei Paesi ad economia avanzata e sulle modalità di pianificazione e gestione sostenibile dei contesti urbani ed extra-urbani. Uno specifico argomento di ricerca, ancora poco sviluppato in Italia, è rappresentato dalle aree periurbane, nelle quali secondo un numero crescente di studi internazionali vivono e si muovono (soprattutto con le autovetture private) quote crescenti di popolazione.

Infine, in tema di *data-driven society* le prospettive di ricerca riguardano più livelli:

- gestione e anonimizzazione del dato, livello questo trasversale a tutta la "*data-driven Society*" e non solo alla mobilità;
- utilizzo del dato per lo sviluppo di servizi di mobilità il più flessibili e puntuali possibile. Di prioritaria importanza risulta l'integrazione dei servizi di mobilità resi disponibili da diversi gestori in modo da fornire al cittadino un servizio integrato e *seamless*, lo sviluppo di nuove modalità di pagamento dei servizi di mobilità e l'analisi sistemica del dato di mobilità da parte dei gestori al fine di comprendere e ottimizzare i flussi per ridurre l'impatto ambientale e migliorare la sicurezza;
- sviluppo di modelli misti avanzati di tipo *data-driven* e *model-based*, in grado di sfruttare il meglio dei due tipi di approccio;
- inclusione sociale, soprattutto, con riferimento alla mobilità di persone anziane e con disabilità, tema di particolare interesse nazionale a causa del progressivo invecchiamento della popolazione, e alla presenza di barriere architettoniche, ad esempio, nei centri storici di molte città italiane.

Con attenzione alla resilienza dei sistemi di mobilità in caso di emergenze sanitarie, occorre promuovere la ricerca sull'impatto della mobilità nella diffusione dei virus su scala globale, combinando dati e modelli dinamici di mobilità con modelli di trasmissione delle malattie, al fine di fornire previsioni della loro diffusione e di valutare l'efficacia delle strategie di intervento che ne minimizzino gli effetti. In particolare, si pone come punto di interesse nella ricerca lo studio dei *travel behaviours* e dei meccanismi di scelta comportamentale, e di conseguenza, degli strumenti e delle politiche più efficaci per la promozione di comportamenti virtuosi (*nudge, gamification, ICT, boost, ...*). Attenzione andrà posta anche ai risvolti etici delle soluzioni di intervento di questa natura, che hanno a che fare con la sfera della libertà personale degli individui.

## Articolazione 2. Infrastrutture per la mobilità accessibili, eco-compatibili, intelligenti e sicure, resilienti, efficienti

### Analisi del contesto, problemi e prospettive di ricerca

Il sistema intermodale dei trasporti italiano è parte integrante del sistema europeo e contribuisce a collegare il nostro Paese con il resto del mondo dal punto di vista della mobilità delle persone e del trasporto delle merci. Esso rappresenta quindi un'imprescindibile condizione per lo sviluppo economico e sociale la cui efficienza permette al sistema-Paese sia di relazionarsi che di competere. Il ruolo strategico è stato evidente anche in occasione della crisi pandemica, che ha diversamente sollecitato il sistema della mobilità delle persone e quello del trasporto delle merci. Le reti di infrastrutture e i terminali di trasporto sono elementi necessari su cui articolare i servizi di mobilità e la loro



adeguatezza fisica e funzionale è, dunque, condizione necessaria di benessere e sviluppo<sup>6</sup>. Il sistema nazionale delle infrastrutture di trasporto è in buona parte caratterizzato da un patrimonio storico di notevole estensione e consistenza, per lo più articolato nelle regioni del centro-nord del Paese. Le problematiche di cui soffre tale patrimonio sono collegate alla necessità di renderlo efficiente con interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria da selezionare in maniera veloce e razionale, di realizzare gli opportuni collegamenti e connessioni, spesso anche solo di ultimo miglio e puntuali, in grado di valorizzarlo (soprattutto dal punto di vista dell'incremento delle alternative multimodali) e renderlo più facilmente fruibile, di accelerare il processo di digitalizzazione e la predisposizione per la mobilità del futuro.

In sintesi, l'innovazione in questo settore deve tenere conto della necessità di:

- progettare in maniera integrata le nuove infrastrutture e ottimizzare quelle esistenti per connettere l'Italia al suo interno e con il resto del mondo, anche tenendo conto delle nuove tecnologie e forme di mobilità ed esplicitando i loro effetti economici e sociali;
- contenere l'impatto ambientale dei sistemi di trasporto, con infrastrutture accessibili per tutti a ridotta impronta ambientale, sia con riferimento alla costruzione/manutenzione che all'utilizzo;
- conoscere e gestire il rischio dovuto all'invecchiamento del significativo patrimonio infrastrutturale italiano esistente, attraverso un controllo continuo del suo stato di salute;
- assicurare la resilienza delle reti infrastrutturali nel loro complesso, rispetto alle fragilità puntuali ma anche rispetto agli effetti di rete, considerando gli eventi sismici, climatici estremi nonché gli attacchi intenzionali e quanti altri fattori di suscettibilità;
- realizzare una trasformazione digitale delle reti infrastrutturali per una mobilità più integrata, *smart*, sicura (*safety*) e più protetta (*security*);
- valorizzare il ruolo dei terminali di trasporto come elementi di snodo dei traffici delle merci e della mobilità, migliorandone accessibilità, efficacia ed efficienza per il sistema di trasporto attraverso azioni di adeguamento anche tecnologico.

Negli ultimi anni l'utilizzo delle infrastrutture di trasporto è cresciuto in modo significativo, anche in controtendenza rispetto alle recenti crisi economiche. Tuttavia, costruire ed utilizzare infrastrutture è costoso dal punto di vista finanziario ed ambientale: si può stimare, con riferimento alla vita utile convenzionale, che l'incidenza diretta di costruzione e manutenzione rispetto ai gas serra sia del 5%, contro un 95% di contributo derivante dall'utilizzo da parte dei veicoli<sup>7</sup>. Le infrastrutture hanno dunque sempre più bisogno di essere progettate e gestite in maniera efficiente dal punto di vista ambientale, ma anche di essere utilizzate in maniera razionale. Ne consegue che l'innovazione sulle infrastrutture si incrocia con l'emersione di modelli economici di incentivazione e regolazione collegati con il *retrofitting* di veicoli convenzionali e/o con l'incentivazione allo sviluppo e diffusione di veicoli nativamente autonomi<sup>8</sup>. D'altra parte, il processo di armonizzazione funzionale tra infrastrutture e veicoli (e traffico) che le percorrono è in atto a livello internazionale ed europeo, con particolare riferimento ai servizi cosiddetti C-ITS (*Cooperative Intelligent Transportation Systems*), basati anche sulle comunicazioni veicolo-infrastruttura e orientati ad ottenere vantaggi in termini di *safety* (sicurezza stradale<sup>9</sup>) e garanzie in termini di (cyber)security<sup>10</sup> (vedi anche Articolazione 4 “*Intelligenza artificiale per l'ambiente e le infrastrutture critiche*” dell'Ambito tematico “*Intelligenza artificiale*”). L'Italia si sta ritagliando un ruolo di maggiore protagonismo rispetto al passato nel settore della digitalizzazione delle infrastrutture di trasporto grazie ad alcuni recenti provvedimenti legislativi (es. D.M. 70/2018 “*Smart Road*”) che hanno rilanciato le tematiche dell'adeguamento tecnologico delle infrastrutture di trasporto, della

<sup>6</sup> European Commission (2011) “*White Paper. Road Map to a Single European Transport Area – towards a competitive and resource efficient transport system*”.

<sup>7</sup> European Commission (2018) “*A Clean Planet for all, A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*”, Communication to the European Parliament, COM (2018) 773.

<sup>8</sup> Martens, B. e Muller-Langer, F., (2018) “*Access to digital car data and competition in aftersales services*”, JRC Digital Economy working paper 2018-06.

<sup>9</sup> European Commission, C-ITS platform PHASE I, *Final Report*, 2016.

<sup>10</sup> European Commission, C-ITS platform PHASE II, *Final Report*, 2017.



sperimentazione della guida autonoma e connessa su strade pubbliche e dello sviluppo dell'approccio BIM (*Building Information Model*) anche con riferimento alle infrastrutture lineari<sup>11</sup>. Oltre che con riferimento alle informazioni statiche delle infrastrutture, la disponibilità di sensori e strumenti di rilievo sempre più avanzati, anche per il traffico che utilizza le infrastrutture, permette di riaffrontare i discorsi sull'analisi e previsione della mobilità anche con strumenti modellistici innovativi<sup>12</sup>, per i quali nuove esigenze si affacciano alla ribalta, soprattutto con riferimento alla necessità di un accesso equo e non discriminatorio alle informazioni per i diversi soggetti economici interessati<sup>13</sup>. Ciò in riferimento non solo alla mobilità dei passeggeri ma anche al trasporto delle merci, per entrambi i quali si sta assistendo all'affermazione di nuovi modelli sempre più raffinati, sintetizzabili nei paradigmi della Mobility as a Service e della Freight and Logistics as a Service<sup>14</sup>. Quest'ultimo aspetto del trasporto delle merci ha particolare impatto in termini di requisiti infrastrutturali, con particolare riferimento al perdurare del fenomeno del gigantismo navale e, quindi, del rapporto tra vettori e nodi portuali<sup>15</sup>. Ulteriori elementi rilevanti sono, per il trasporto delle merci, i nuovi paradigmi che si stanno affermando con riferimento alla domanda nazionale ed internazionale, al delivering nelle città metropolitane e, più in generale, agli effetti combinati della domanda e dalla innovazione tecnologica sulla logistica di ultimo miglio.

### Censimento delle ricerche in corso

Un recente riferimento relativo all'analisi dei finanziamenti alla ricerca nel settore delle infrastrutture di trasporto è rappresentato dal documento "*Research and innovation in transport infrastructure in Europe*", realizzato nel 2019 per il *Joint Research Centre* (JRC) della Commissione Europea (autori Gkoumas, K., van Balen, M., Ortega Hortelano, A., Tsakalidis, A., Grosso, M., Haq, G., Pekár, F.).

Dal documento, che analizza in maniera critica il data-base europeo TRIMIS, emergono quali principali fonti di finanziamento:

- i programmi quadro (*Horizon 2020*, con riferimento al periodo più recente);
- il programma CEF (*Connecting European Facilities*), in gran parte dedicato alla realizzazione delle infrastrutture, ma in minor parte dedicato a finanziare l'innovazione delle infrastrutture stesse, con particolare riferimento negli ultimi anni ai temi C-ITS;
- il programma COST (*Co-operations in Science and Technology*), caratterizzato da importi modesti e principalmente dedicati alla creazione di reti di conoscenza;
- il programma LIFE, consistente in strumenti finanziari a supporto dell'ambiente e della conservazione della natura nonché della protezione climatica.

All'interno della programmazione di *Horizon 2020* la parte preponderante dei finanziamenti per questo tema derivano dall'azione *Smart, Green and Integrated Transport* (circa 66%) con un contributo significativo (circa il 20%) anche dalla azione *Secure, clean and efficient energy*.

---

<sup>11</sup> Biancardo, S.A.; Capano, A.; de Oliveira, S.G.; Tibaut, A. (2020) "*Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design*", *Infrastructures*, 5 (37).

<sup>12</sup> European Commission (2018) "*Europe on the Move. Sustainable Mobility for Europe: safe, connected, and clean*" Communication to the European Parliament, COM/2018/293 final.

<sup>13</sup> Carballa Smiechowski, B., Determinants of cooperation through data sharing in Maas, in a special issue 'Big Data, value creation and new forms of competition' (Benyayer, L.D. and Zerbib, R. coord.) of *Management & Data Science*, 2018.

<sup>14</sup> Paddeu, D., Calvert, T., Clark, B. and Parkhurst, G., (2019) "*New Technology and Automation in Freight Transport and Handling Systems, Future of Mobility: Evidence Review*", Foresight, Government Office for Science, [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/781295/automation\\_in\\_freight.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/781295/automation_in_freight.pdf).

<sup>15</sup> Gaston S. Tchang (2020) "*The impact of ship size on ports' nautical costs*", *Maritime Policy & Management*, 47:1, 27-42.



Le azioni COST più significative nel settore (TU1402 e TU1406) si sono occupate di quantificare il valore delle azioni di *structural health monitoring* e di sviluppare linee guida per la definizione di piani di controllo per la qualità dei ponti stradali, concentrandosi sulla loro manutenzione e con particolare attenzione agli aspetti di Life Cycle Assessment (LCA). Nella prima delle due azioni è presente una partecipazione italiana.

Vi è, invece, una significativa presenza italiana nel progetto LIFE denominato CLEAN-ROADS dedicato all'ambito della manutenzione e, in particolare, finalizzato a ridurre i problemi ambientali legati all'uso diffuso di prodotti chimici antighiaccio/antigelo (principalmente sale) per la manutenzione invernale delle strade. Tra gli altri due progetti LIFE finanziati è interessante citare HUELLAS (senza partecipazione italiana) che si è concentrato sulla costruzione di infrastrutture ferroviarie più sostenibili con la minimizzazione dell'impatto ambientale attraverso lo sviluppo di uno strumento basato su metodologie di valutazione del ciclo di vita e sistemi intelligenti da utilizzare in fase di pianificazione.

Lo studio del JRC, con riferimento al budget complessivo speso in ricerca ed innovazione sulle infrastrutture di trasporto, riprende ed aggiorna a sua volta uno studio precedente del JRC del 2019, "*Research and innovation capacity in transport infrastructure: an assessment based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System*". Lo studio si riferisce ad *Horizon 2020* ed evidenzia un budget totale pari a 450 milioni di euro (circa 302 milioni di euro di finanziamento comunitario). Il settore ferroviario risulta essere quello maggiormente finanziato, anche grazie all'azione dedicata *Shift2Rail*. Similmente, il settore aereo ha goduto dell'azione dedicata SESAR. Sia l'azione *Shift2Rail* che quella SESAR sono in parte dedicate anche a tematiche diverse da quelle delle infrastrutture. In particolare, l'azione SESAR si occupa dello spazio aereo in generale e contiene pochissime linee di finanziamento vicine al *land-side* delle infrastrutture aeroportuali e al loro inserimento nel sistema della mobilità multimodale. Tra i top-20 beneficiari dei finanziamenti compare una sola entità italiana (Ansaldo, ora Hitachi). Le nazioni che hanno attirato maggiori finanziamenti alla ricerca ed innovazione nel settore sono state la Francia e la Germania, seguite dal Regno Unito e, con significativo distacco, da Italia e Spagna.

Rapportando il finanziamento alla popolazione, Austria, Belgio, Olanda, Svezia e Danimarca presentano ottime performance. Nei dati precedentemente descritti sono compresi i due progetti di importo finanziato maggiore (rispettivamente 32 e 35 milioni di euro), dedicati alla infrastrutturazione della rete di distribuzione dell'idrogeno.

Con riferimento ai temi del C-ITS, come già detto, l'Italia è coinvolta nei finanziamenti CEF della piattaforma europea C-ROADS. I soggetti finanziati sono, tra gli altri, FCA e Autostrada del Brennero, con il coinvolgimento di Telecom. Non è ancora del tutto chiaro se il focus continui ad essere sulla sperimentazione delle tecnologie di comunicazione o anche su una diffusa sperimentazione dei servizi C-ITS cui tali tecnologie sono propedeutiche.

## Analisi del documento CE Orientations e STRIA

Con riferimento al documento di orientamento strategico per *Horizon Europe*, l'articolazione del PNR compie scelte diverse e stabilisce di dedicare un focus specifico ed esplicito al tema delle infrastrutture, intese quali elemento di offerta di trasporto attraverso cui vengono realizzati i servizi di trasporto e di mobilità. La scelta è dettata da una duplice esigenza: da un lato si riconosce al comparto delle infrastrutture di trasporto una valenza trainante per l'economia nazionale, sia in termini di volano di sviluppo sia di settore economico e industriale tradizionale elemento di eccellenza del Paese; dall'altro lato, a fronte di assai rilevanti elementi di eccellenza tecnica, il settore delle infrastrutture risente di una certa inadeguatezza rispetto all'adeguamento tecnologico ed alla trasformazione digitale, portate avanti in Italia con un certo ritardo rispetto ad una parte significativa del resto d'Europa. Da qui un elemento di attenzione esplicita e di concentrazione di energie per portare il settore delle infrastrutture di trasporto nuovamente alla frontiera dell'avanzamento tecnologico e per riproporre la tradizione di avanguardia che in tale settore ha caratterizzato l'industria italiana. Il PNR esplicita, inoltre, in maniera particolare il tema della resilienza delle reti infrastrutturali, ponendo un'enfasi maggiore rispetto ai documenti europei.

Anche con riferimento alla STRIA, le tematiche della corrente articolazione e del documento europeo sono diversamente strutturate e si corrispondono in maniera diversa. In particolare, la strutturazione di questo PNR distribuisce le tematiche della STRIA su due articolazioni principali:



- l'Articolazione 1 è più vicina alle tematiche che nella STRIA sono denominate come *Governance e Pricing, Taxation and Finance*;
- l'Articolazione 2 (trattata in queste pagine) affronta gli aspetti di LCA delle infrastrutture così come nella STRIA;
- gli aspetti relativi all'intermodalità, al ruolo degli *hub* ed agli aspetti strutturali della logistica e del trasporto merci sono anch'essi comuni alla parte infrastrutturale sia del PNR che della STRIA nella sezione riferita *all'operational*;
- le azioni orientate alle *digital-physical infrastructures* ed alla parte *infrastructure-side C-ITS* sono meglio evidenziate in questa Articolazione 2 che non nella STRIA.

La motivazione di tali scelte risiede nella strutturazione del panorama degli *stakeholder* nazionali ed è finalizzata a favorire un più agevole riconoscimento e coinvolgimento nelle azioni del PNR delle filiere più naturalmente interessate.

### Tematiche di particolare interesse (attuale o in prospettiva) per il Paese

L'analisi di contesto, l'analisi del livello di maturità tecnologica e l'integrazione orizzontale e verticale con gli *stakeholder* e con gli ambiti tematici, nonché la necessità di contenere le direzioni di innovazioni in un numero controllato di tematiche, ha portato all'individuazione delle seguenti tematiche di particolare interesse:

- a) Accessibilità delle infrastrutture e loro impronta ambientale;
- b) Intelligenza e sicurezza delle infrastrutture e hub della mobilità;
- c) Servizi cooperativi specifici *road-side* per mezzi pesanti, TPL e *truck platoonig*
- d) Salute e resilienza delle reti;
- e) Efficienza e controllo del traffico abilitati da soluzioni e tecnologie cooperative;
- f) Logistica e trasporto intelligente delle merci.

#### a) Accessibilità delle infrastrutture e loro impronta ambientale

Negli ultimi anni l'utilizzo delle infrastrutture di trasporto è cresciuto significativamente, anche in controtendenza rispetto alle recenti crisi economiche. Si è osservato un disaccoppiamento tra crescita della mobilità e prodotto interno lordo, con questo ultimo che è rimasto praticamente stagnante negli anni dal 2009 al 2019 ed il trasporto delle merci e della mobilità internazionale (soprattutto legata al turismo) che sono aumentati di circa il 40% nel settore aereo, di circa il 25% in quello ferroviario, di circa il 12% nel trasporto navale e di circa il 10% nel trasporto su gomma.

Tuttavia, costruire ed utilizzare infrastrutture è costoso dal punto di vista finanziario ed ambientale. Mentre il contributo dovuto all'uso potrà ridursi, grazie sia alla progettazione e realizzazione di veicoli sempre più eco-compatibili che grazie alla razionalizzazione della domanda di trasporto e dei comportamenti di viaggio e mobilità, il contributo diretto potrà essere ridotto dall'utilizzo di materiali e processi sia costruttivi che manutentivi ispirati al *life-cycle-management* ed all'economia del riuso.

Dal punto di vista della progettazione, le infrastrutture vanno pensate tenendo conto dell'evoluzione della domanda di mobilità da parte di una popolazione sempre più connessa e in costante invecchiamento (si veda l'Articolazione A1) nonché delle nuove tecnologie e forme di mobilità che stanno cambiando il modo stesso in cui concepiamo gli spostamenti (ad esempio, dalla proprietà alla *shared mobility*). Sono quindi necessari nuove metodologie e modelli di supporto alle decisioni per la pianificazione e programmazione di infrastrutture per l'accessibilità dei territori e dei sistemi urbani e per la mobilità sostenibile.

#### b) Intelligenza e sicurezza delle infrastrutture e hub della mobilità

Il processo di digitalizzazione applicato al patrimonio infrastrutturale può soddisfare le nuove esigenze e funzioni richieste dalle tecnologie di guida autonoma e connessa, secondo il paradigma che si è diffuso in Italia con la dizione *Smart Road* e che può essere generalizzato alle *Smart Transportation Infrastructures*. Si tratta di promuovere la capacità di raccogliere, interpretare, elaborare e utilizzare dati ed informazioni in modo da abilitare una diffusa



intelligenza cognitiva e decisionale (processo di osservazione/monitoraggio, elaborazione/decisione e attuazione/controllo).

Occorre creare le condizioni perché siano disponibili per le infrastrutture modelli e strumenti progettuali, costruttivi e manutentivi digitali sempre più coerenti con una logica di gestione BIM (*Building Information Modelling*) avanzata del patrimonio infrastrutturale, portando il cosiddetto BIM per le infrastrutture lineari allo stesso livello di avanzamento tecnologico del BIM “verticale”. Inoltre, si pone un problema specifico per lo scenario nazionale italiano che, con riferimento all’esteso patrimonio infrastrutturale già esistente, vede una scarsa presenza di modelli progettuali e costruttivi digitalizzati. È, quindi, necessario immaginare e realizzare processi e tecnologie di *reverse BIM* per le infrastrutture, che abbiano come obiettivo, dopo una opportuna sperimentazione, un processo rapido (speditivo) di digitalizzazione del patrimonio esistente.

Altro tema di rilevante interesse è la realizzazione di mappe 3D e strumenti di realtà virtuale per la guida autonoma e connessa, non solo in una visione di produzione di servizi per i futuri veicoli, ma anche in ottica di sviluppo di sistemi di *testing* e validazione della guida autonoma in ambienti di realtà virtuale realistici. Occorre abilitare la realizzazione di piattaforme di *testing* con un approccio in cui scenari infrastrutturali e di traffico (con le relative leggi fisiche di deflusso) siano rappresentati come *virtual-twin* (gemelli virtuali di infrastrutture e reti) in cui inserire modelli di veicoli (e logiche di automazione) per un *testing* sicuro ed affidabile. La visione è quella di approcci al *testing* dei veicoli autonomi e connessi che siano basati sul superamento della logica dello *use-case* e vadano nella direzione del *testing* in scenari di traffico continui (approccio scenario-*in-the-loop*). Anche nel caso delle mappe per la guida autonoma e degli ambienti di *testing* è necessario sviluppare metodi speditivi e strumenti opportuni, anche tecnologici, per la realizzazione di scenari complessi in tempi ragionevoli, nonché per la validazione dei *virtual-twin* ottenuti per tali scenari.

Una *Road Map* di particolare interesse riferisce alla digitalizzazione e de-materializzazione della segnaletica e dei sistemi di segnalamento. Si tratta, in particolare, di sviluppare piattaforme di servizi con i quali implementare soluzioni di *In Vehicle Signage* (IVS) e *Road Works Warning* (RWW). In ambito urbano, ove ci si riferisca alle infrastrutture stradali, la de-materializzazione della segnaletica permetterebbe l’applicazione di soluzioni adattive, sostenute da opportuni modelli, per la gestione dinamica di dispositivi di traffico, mentre la de-materializzazione degli impianti di segnalamento si interseca con lo sviluppo della guida autonoma, con particolare riferimento ai sistemi di contrattazione e controllo delle priorità e preferenza alle intersezioni. In tutti questi casi, l’innovazione sulle infrastrutture si incrocia con nuovi modelli economici di incentivazione e di regolazione collegati con il *retrofitting* di veicoli convenzionali e/o con l’incentivazione allo sviluppo e diffusione di veicoli nativamente autonomi. In un contesto di gestione dinamica della regolazione del traffico particolare attenzione deve essere dedicata all’integrazione con sistemi efficienti di *Advanced Traveller Information*.

Il tema dell’introduzione nel contesto reale degli avanzamenti tecnologici in tema di servizi C-ITS (*cooperative intelligent transportation systems*) basati sulla comunicazione V2I (veicoli-infrastrutture e viceversa) rappresenta un importante momento di sviluppo per la mobilità digitalizzata, coerente anche con la necessità di ridurre i costi di manutenzione dell’infrastruttura, grazie ad un monitoraggio continuo, realizzato dagli stessi veicoli (collegati) che la percorrono. Se, però, da un lato la connettività consente ai veicoli di ricevere informazioni utili sulle condizioni della strada, sui potenziali pericoli, sulla presenza di veicoli vicini (combinando informazioni ricavate dai sensori di bordo e dai sistemi di connettività), con un evidente vantaggio in termini di *safety*, d’altro lato scenari complessi si aprono in termini di (cyber)security. La ricerca in tale campo deve essere non solo tecnologica ma deve combinare opportunamente aspetti legislativi, tecnici, metodologici e di *governance*. È necessario immaginare le modalità tecnologiche e organizzative per realizzare un sistema modulare ma coerente, che possa avere una validità di livello nazionale, sviluppando la ricerca verso una piattaforma strategica nazionale C-ITS.

Con riferimento al traffico di passeggeri, gli *hub* sono diventati nodi in cui si integrano e sovrappongono esigenze funzionali (efficacia trasportistica, efficienza funzionale, sicurezza), finalità economiche (sono aggregatori economici) e esigenze sociali (sono aggregatori sociali), oltre a partecipare direttamente o indirettamente alla sostenibilità ambientale dello spostamento. In un tale contesto la gestione dei flussi (attiva e/o passiva) negli *hub* passeggeri richiede modelli di simulazione in grado di tenere esplicitamente conto di differenti contesti tecnologici, delle



dinamiche comportamentali dei singoli utenti ma anche dell'interazione tra le diverse componenti di un *hub*, nonché delle esigenze del gestore e dei *provider* di servizi. I flussi di domanda, in particolare, devono potere essere previsti con riferimento all'arrivo/uscita e per la progettazione multi-criteriale di strategie di gestione/smistamento degli stessi flussi al fine di minimizzare i tempi di spostamento, migliorare la “*travel experience*”, favorire l'intermodalità e mitigare i rischi di sicurezza. Particolare rilevanza riveste, nella visione moderna dei terminali passeggeri, la fornitura in tempo reale di servizi di mobilità da/verso *hub* passeggeri coerenti con le esigenze di spostamento degli utenti (orario partenza, motivo spostamento, budget di tempo e budget monetario). Tali servizi possono essere basati su soluzioni tecnologiche moderne ed innovative, abilitate dallo sviluppo ormai acquisito delle tecnologie ICT, a patto di avere chiari modelli di simulazione della penetrazione di mercato e della loro efficacia per la gestione di utenti di *hub* intermodali. Le tecnologie, difatti, abilitano sistemi informativi all'utenza di tipo sia prescrittivo che predittivo, per la messa a punto dei quali sono necessari adeguati modelli comportamentali in grado di auto-apprendere e di aggiornarsi in base alle esperienze di spostamento, con la necessità di una transizione metodologica dai tradizionali modelli in grado di simulare comportamenti di insieme di utenti a modelli individuali. Scopo dei modelli comportamentali è lo sviluppo di applicativi in grado di registrare preferenze/comportamenti individuali e calibrare modelli individuali aggiornabili e integrabili in piattaforme di simulazione, alimentati da tecnologie di monitoraggio e tracciamento di utenti ed in grado di alimentare a loro volta lo sviluppo e validazione di tecnologie di *wayfinding* a livello di *hub*.

### c) Servizi cooperativi specifici road-side per mezzi pesanti, TPL e truck platooning

Ricerca e proposizione di servizi specifici basati sulla comunicazione veicolo-infrastruttura per la sorveglianza, l'aiuto alla guida e la sicurezza di veicoli pesanti e veicoli del TPL, anche in contesti di platooning.

### d) Salute e resilienza delle reti

L'Italia, come molte altre nazioni europee, ha un ingente patrimonio infrastrutturale, sia di carattere storico che proveniente dal periodo di costruzione/ricostruzione del secondo dopoguerra e degli anni del boom economico. Di tale patrimonio manca un censimento completo, moderno, aggiornato e facilmente fruibile (digitalizzato), della sua stessa consistenza e dello stato di utilizzo e conservazione.

La crescita dei moderni sistemi di rappresentazione e gestione delle infrastrutture, incluso il cosiddetto *infrastructural-BIM*, uniti alla disponibilità di tecnologie di monitoraggio a basso costo e a metodi integrati di *Structural Health Monitoring* alla scala vasta, caratterizzati da modelli speditivi ed efficienti di conoscenza, analisi, classificazione e gestione del rischio, potrebbe fare emergere e consolidare approcci di intervento che consentono un maggior lasso di tempo tra un intervento di manutenzione e l'altro, con una manutenzione più predittiva che determina meno disagi per gli utenti e, a regime, un minore costo di esercizio sia ambientale che economico.

Oltre al consolidarsi delle tecnologie ed approcci di monitoraggio a costo relativamente basso e impiego diffuso, è necessario mettere a punto strumenti metodologici ed operativi atti a gestire e mettere a sistema, a partire dalla conoscenza digitale delle singole infrastrutture, le informazioni con lo scopo di stimare e migliorare la resilienza delle reti infrastrutturali complesse. Infatti, è necessario passare da un approccio tradizionale basato sulla cultura *delle opere* ad un approccio basato sul concetto *di sistema*. Questo permetterebbe di tenere conto della *ridondanza strategica* e dell'integrazione di *ultimo miglio* tra elementi infrastrutturali diversi ma funzionalmente connessi permettendo così di meglio gestire eventi estremi, siano essi sismici, terroristici o dovuti all'esasperarsi dei fenomeni climatici.

### e) Efficienza e controllo del traffico abilitati da soluzioni e tecnologie cooperative

La riduzione dei costi permette alle nuove tecnologie di essere applicate con sempre maggiore diffusione ed efficienza anche al monitoraggio delle condizioni di funzionamento delle reti infrastrutturali. Inoltre, i paradigmi di connessione dei veicoli sono in condizioni di realizzare il monitoraggio del deflusso e delle condizioni di utilizzo delle reti con un ribaltamento del meccanismo tradizionale, cioè attraverso la comunicazione dai veicoli alle infrastrutture. Condizioni simili sono applicabili, con riferimento alla mobilità personale oltre che al deflusso veicolare, attraverso soluzioni (esplicitamente autorizzate dagli utenti – o che avvengono in forma anonima e non ricostruibile) di localizzazione satellitare e/o basate su telefonia mobile. La capacità di raccogliere i dati, di sistematizzarli e di trattarli facendoli



divenire fonte di analisi e di previsione, sia con tecniche *model-based* che *data-driven* (che miste) per la previsione dello stato di funzionamento delle reti (si veda Articolazione 1), rappresenta una frontiera di ricerca da ri-esplorare in considerazione della diversa qualità e quantità di dati e tecnologie applicabili. Sono attese soluzioni innovative capaci di sfruttare tutti i dati disponibili sia per le previsioni e le informazioni che per il controllo adattativo, di sfruttare le tecniche di connettività (C-ITS), gestire le situazioni di emergenza delle reti, aumentandone la resilienza immediata, influenzare sia la distribuzione della domanda (nel tempo, nei modi, nei percorsi) che la disponibilità dell'offerta (gestendo la capacità dei rami della rete) e il comportamento locale e tattico dei veicoli (es. suggerendo velocità, uso ottimale delle corsie e simili) e delle infrastrutture (es. semafori, corsie), mirando contemporaneamente alla sicurezza e all'efficienza, favorire la collaborazione fattiva tra i diversi gestori delle reti di trasporto stradale, anche attraverso piattaforme di cooperazione, anche in ottica di ottimizzazione di percorsi e mezzi.

Diversi sistemi di monitoraggio dello stato di funzionamento delle reti, ancorché sviluppati con riferimento a domini infrastrutturali o modali diversi, potrebbero essere messi a sistema in ambienti più complessi. Alcuni dei sistemi di monitoraggio, inoltre, sono per loro natura trasversali a più reti, più servizi e più modi di trasporto e, in alcuni casi, possono avvicinarsi più direttamente all'osservazione della domanda di mobilità e trasporto, oltre che al suo verificarsi su rete. L'integrazione di una tale mole di dati potenzialmente disponibile (da fonti eterogenee) può avvenire attraverso piattaforme di integrazione dei dati di mobilità e trasporto che potrebbero essere utilizzate da soggetti anche terzi che accedano all'ambiente di integrazione per abilitare una migliore gestione delle infrastrutture e dei sistemi di trasporto. I modelli di uso e sviluppo tecnologico e regolamentare di tali piattaforme devono sia tenere conto di opportuni principi di valorizzazione economica dei dati e dei contributi di diversi soggetti che assicurare un accesso equo e non discriminatorio per tutti i soggetti economici.

A partire dall'accesso alle piattaforme di integrazione dei dati di mobilità e trasporto è possibile realizzare sistemi integrati di gestione e controllo delle reti infrastrutturali che abbiano caratteristiche multi-servizio, multi-operatore e multi-modale e scala almeno regionale e, comunque e necessariamente, a diffusione nazionale. Un ambiente unificato alle diverse scale crea l'opportunità di migliorare la gestione dei flussi di traffico in qualsiasi modalità di trasporto, offrendo sempre più potenziali soluzioni di servizio ai clienti (merci e passeggeri) su base intra-modale ed intermodale e, in ogni caso, con una previsione dell'effetto della *compliance* all'informazione sul sistema modale e sugli altri sistemi che operano nelle diverse modalità (*intermodal anticipatory route guidance*).

Non da ultimo, come dimostrato dalle esperienze dell'emergenza Covid-19, una piattaforma di integrazione dei dati a livello nazionale permetterebbe una migliore gestione e controllo delle emergenze, consentendo l'analisi e la previsione dei fattori potenzialmente attivi nella diffusione dei contagi epidemici e, più in generale, la valutazione del rischio nel caso di eventi con caratteristiche di diffusione spaziale o di impatto sulla spazializzazione dei fenomeni.

#### f) Logistica e trasporto intelligente delle merci

Con riferimento al trasporto di beni, la tendenza alla globalizzazione è ancora parzialmente in atto, malgrado le difficoltà collegate alla recente pandemia da Covid-19. Similmente, lo sviluppo esponenziale *dell'e-commerce* continua a porre sotto pressione il sistema di trasporto dei beni che, a tratti, sconfina verso una vera e propria logistica del capriccio. Il modello *dell'e-commerce* è sembrato uscire apparentemente rafforzato, in termini di comportamenti ed abitudini dei consumatori, dalla recente pandemia, anche se la fragilità del sistema rispetto all'aumentata pressione è risultata a tratti del tutto evidente, soprattutto con riferimento alla logistica di ultimo miglio, che pure godeva di una scarsa competizione con modalità più attive di rifornimento personale. D'altra parte, una logistica delle economie più locale (es.: chilometri-zero) non sembra ancora essere sistematicamente in grado di soddisfare esigenze di imprese e consumatori.

In tale quadro risulta essenziale dotarsi di strumenti conoscitivi sempre più avanzati che forniscano metodologie previsionali per il futuro della domanda nazionale ed internazionale di logistica e trasporto merci, attraverso lo sviluppo di strumenti quantitativi in grado di interpretare ed utilizzare ai fini progettuali fenomeni strutturali quali e-commerce, globalizzazione, *reshoring*, volatilità e dinamicità dei flussi merci, economia circolare, sincromodalità. Ad un livello più operativo, occorrono nuovi approcci per progettare, gestire, monitorare e ottimizzare le *operations* dei



nodi logistici, a sostegno dello sviluppo della sincromodalità e della resilienza delle reti di trasporto merci, per servizi e sistemi logistici sicuri e sostenibili e per:

- la cooperazione tra porti, interporti e infrastrutture logistiche;
- le nuove opportunità dallo sviluppo dell'economia circolare;
- la pianificazione ed ottimizzazione della logistica di ultimo miglio (distribuzione e *reverse logistics*), con particolare riferimento alle città, in integrazione con aspetti urbanistici e di mobilità delle persone;
- il ruolo dei nodi logistici come ecosistemi di business multi-agente e multi-funzione.

Le nuove tecnologie nel trasporto delle merci sono sempre state un elemento in grado di modificare regole del gioco, sistemi organizzativi ed approcci operativi. Negli ultimi anni stanno emergendo con insistenza soluzioni tecnologiche innovative abilitanti quali quelle legate ai sistemi cyber-fisici, alla *physical internet*, alla *internet-of-things*, alle *blockchain*, ai cambiamenti strutturali nei servizi offerti e nel posizionamento di mercato derivanti dall'automazione e dalla connessione tra veicoli e tra veicoli ed infrastruttura (si veda Articolazione 5), allo sviluppo di piattaforme ispirate al paradigma del *freight and logistics as a service*. Tali soluzioni tecnologiche devono essere studiate nella loro applicazione al dominio verticale specifico e devono sostenere lo sviluppo di modelli/strumenti per l'analisi del potenziale di crescita e per lo studio di impatto, comprensivi dell'analisi dei futuri bisogni informativi per il privato (domanda e offerta di trasporto merci e logistica) e il pubblico (monitoraggio, regolazione, controllo), con quantificazione del valore e della disponibilità a pagare per l'informazione nonché dello sviluppo di nuove forme di monitoraggio, raccolta e analisi dati in ottica pubblica e privata. In un tale rinnovato contesto tecnologico si determina la possibilità di aggiornare gli approcci alla modellazione dell'interazione tra *stakeholders* e/o *shareholders*, abilitando nuovi modelli di mercato, governance e pianificazione del trasporto merci e della logistica, finalizzati a politiche innovative di incentivazione/sostegno pubblico che sfruttino il potenziale delle nuove tecnologie e lo scambio di informazioni e che sostengano modelli efficaci di cooperazione/competizione, incluse rinnovate forme di analisi e governance del rapporto tra vettori e nodi (es. gigantismo navale nel settore container per i porti) e sviluppo di metodi quantitativi per la pianificazione e progettazione *lean* di reti resilienti di nodi logistici e per il trasporto merci, anche con riferimento alla sostenibilità ambientale e sociale della logistica delle merci (sviluppo di processi e soluzioni innovative per ridurre le emissioni), al calcolo del *footprint* ambientale dei nodi logistici e di trasporto merci, a nuovi approcci per la regolamentazione del mercato del lavoro nel settore della logistica e del trasporto.

## Articolazione 3. Servizi di mobilità e trasporto

### Analisi del contesto, problemi e prospettive di ricerca

Come tutti gli ambiti di ricerca che riguardano la mobilità, la presente linea strategica risente della necessità di una rapida evoluzione entro il prossimo decennio per quanto riguarda le tecnologie abilitanti, l'offerta di servizi, le politiche e l'organizzazione attuativa, le misure della qualità percepita, a cui si aggiunge una crescente attenzione alla tematica della salute e della protezione dei cittadini. Tale evoluzione si può attuare attraverso cambiamenti rapidi e profondi in termini di sviluppo congiunto e integrato dei sistemi e delle infrastrutture dedicate al trasporto pubblico (nel suo complesso, in maniera da comprendere anche i servizi ettometrici, ascensori urbani, funivie, teleferiche, ecc., "accessori" al trasporto, soprattutto, urbano), di nuove soluzioni per la *sharing mobility* (non esclusivamente in ambito urbano), della micro-mobilità e la mobilità attiva (in modo da promuovere l'accessibilità, la salute e la sostenibilità), delle tecnologie per la mobilità assistita, dell'offerta di mezzi e di servizi innovativi per la MaaS (*Mobility-as-a-Service*), come il porta-a-porta, e dei sistemi di mobilità dedicati al turismo e fortemente attrattivi in chiave di valorizzazione dei nostri territori.

#### a) Efficienza, equità e qualità del trasporto pubblico

Nel contesto del trasporto pubblico sono ritenute importanti le soluzioni di mobilità automatizzata e connessa, finalizzate a obiettivi di sicurezza del viaggio, inclusione sociale, massimizzazione dell'accessibilità a territori e servizi, gestione efficiente del deflusso e del traffico e rispetto degli obiettivi ambientali. Assumono importanza rilevante i



sistemi di pianificazione, di misura e di monitoraggio di tipo predittivo e adattativo, basati sull'elaborazione di grandi moli di dati (possibilmente in tempo reale) e di interazione tra utenti, in grado di prevedere in anticipo i flussi di mezzi e di persone nel tempo (si vedano Articolazioni 1 e 5), necessità emersa in maniera dirompente in occasione della pandemia da Covid-19 del 2020. Tali azioni sono orientate a elevare il livello di resilienza e il tasso di qualità oggettiva e percepita del trasporto pubblico, per andare verso un eco-sistema basato sulla cooperazione tra i vari attori e la creazione di comunità consapevoli e attive di utenti. In altri termini, grande attenzione va data al cambio di abitudini, alla semplificazione degli spostamenti, alla riduzione dei tempi di attesa, e in generale al rilancio del settore del trasporto collettivo in termini di efficienza, qualità, rispetto ambientale, inclusività e sicurezza. Per la peculiarità del territorio italiano occorre tener presente che le soluzioni, anche quelle tecnologicamente più avanzate quali la guida autonoma e inter-connessa, devono essere rivolte non soltanto agli ambiti prettamente urbani, ma anche a quelli extra-urbani e ai territori prevalentemente rurali. Grande attenzione va anche rivolta alla crescente esigenza di trasporto efficiente nelle aree a domanda debole, nei centri storici delle piccole cittadine e nei borghi.

### b) Sharing Mobility

Nella mobilità condivisa risulta centrale l'incremento del tasso di occupazione/utilizzo dei veicoli (in particolare per le auto) e, quindi, l'efficienza complessiva dell'uso del mezzo. Questa area vede nel corso degli ultimi anni un'importante crescita nel contesto italiano. L'Osservatorio Nazionale sulla Sharing Mobility evidenzia che nel 2018, anno dell'ultimo *Report*<sup>16</sup>, i servizi sono cresciuti in media del 15% (rispetto al 2015), gli utilizzatori del 24% (tra 2017 e 2018) e gli spostamenti effettuati e gli utenti iscritti hanno superato i 5 milioni. Prosegue anche l'elettrificazione della flotta circolante, con la crescita costante della percentuale di mezzi a zero emissioni, sebbene non in maniera omogenea ma concentrata nel nord del Paese. Importante è anche l'aumento del tasso di utilizzo dei mezzi, ad indicare una crescita di accesso e frequentazione di queste soluzioni, quindi una maggiore familiarità e diffusione del loro uso.

Tra i vantaggi dell'adozione di sistemi di trasporto condivisi, oltre alla diminuzione di inquinamento/congestione e occupazione di suolo pubblico, si sottolinea l'accresciuta flessibilità dovuta all'intermodalità/multimodalità, la promozione della mobilità attiva, la riduzione dei costi fissi per l'utenza e la possibilità di accedere a zone a traffico limitato. Tra gli aspetti critici emergono invece la bassa sostenibilità economica, la ridotta capillarità e accessibilità dei servizi, il parcheggio e lo stazionamento dei mezzi, la gestione, la ridotta partecipazione femminile al loro uso, gli ancora deboli livelli di intermodalità e interscambio tra servizi nonché la percezione dei vantaggi da parte degli utenti.

### c) Micro-mobilità, mobilità assistita e mobilità attiva

Un'area di interesse crescente è quella della micro-mobilità che prevede l'utilizzo di mezzi piccoli e leggeri riservati tipicamente a una persona singola (monopattini, biciclette tradizionali e a pedalata assistita, ...), di applicazioni telematiche di supporto/gestione e di organizzazione dei flussi di traffico, soprattutto, in ambito urbano (corsie dedicate, zone protette, ...). La micro-mobilità risulta poi particolarmente vantaggiosa in termini di protezione dalla diffusione di malattie infettive, favorendo una mobilità sì individuale ma più sostenibile rispetto ai mezzi a motore più inquinanti. In quanto strumenti necessari alla sostenibilità dei trasporti, la predisposizione e promozione delle forme attive di mobilità (ciclabilità e pedonalità), in parallelo allo sviluppo delle pratiche dello *sharing* e delle tecnologie MaaS, devono essere alla base della realizzazione del sistema della mobilità futura. Accanto infatti all'innovazione nei mezzi e veicoli si pongono le strategie di promozione dell'intermodalità e di *modal shift* che possano ridurre l'utilizzo dei mezzi motorizzati a favore di soluzioni salutari.

Nonostante il costante predominio della mobilità a motore nella vita quotidiana, quasi 1/3 degli spostamenti effettuati in Italia nel 2018 è avvenuto in forma attiva, quindi a piedi (22,9%) o in bicicletta (4,2%), in leggero calo rispetto

---

<sup>16</sup> Osservatorio nazionale sulla sharing mobility, 2018, *Terzo rapporto nazionale sulla sharing mobility*. Anno 2018, [http://osservatoriosharingmobility.it/wp-content/uploads/2019/07/come-sta-la-sharing-mobility\\_III-Rapporto-SM\\_13-e-FRONT.pdf](http://osservatoriosharingmobility.it/wp-content/uploads/2019/07/come-sta-la-sharing-mobility_III-Rapporto-SM_13-e-FRONT.pdf).



all'anno precedente, ma stabile nel lungo periodo (ISFORT, 2019)<sup>17</sup>. Occorre tuttavia riequilibrare a livello territoriale questo dato, intervenendo dove la mobilità attiva è ancora residuale (Centro-Sud e piccoli centri urbani). Nonostante la mobilità attiva non rappresenti che il 5% della distanza percorsa quotidianamente, essa rappresenta un elemento cruciale, capace di favorire l'inter-modalità e di costituire la modalità-ponte (e non solo di "ultimo miglio") tra diversi mezzi e soluzioni di trasporto.

La riduzione della dipendenza dalla mobilità motorizzata, in particolare da quella su mezzo privato, costituisce uno strumento di inclusione sociale, aprendo opportunità per coloro che sono più marginalizzati dal sistema di mobilità auto-centrico: poveri, precari, anziani con 75 anni e più, persone con disabilità e migranti. La camminabilità, inoltre, può operare anche come elemento di attrattività turistica, particolarmente significativo per lo sviluppo dello *Slow Tourism* e della cosiddetta *Experience Economy*, come reso evidente dalle numerose proposte di misurazione, anche di natura commerciale. A livello nazionale l'attenzione alle potenzialità della mobilità pedonale e ciclabile è stata evidenziata dal *Piano Straordinario della Mobilità Turistica (2017-2021)*<sup>18</sup>, dove il progetto dell'Atlante dei Cammini, assieme al sistema delle ciclovie nazionali (Bicitalia e Sistema Nazionale delle Ciclovie Turistiche) ed europee (EuroVelo) e delle *Greenways*, è parte integrante della strategia di sviluppo turistico generale e di rivitalizzazione delle aree interne.

Per questi motivi anche la ciclabilità è oggetto di una recente nuova attenzione, sia come leva per la promozione della mobilità sostenibile (e salutare) e quindi per il superamento della cultura incentrata sull'automobile, che come strumento di sviluppo turistico. Tuttavia l'ancora scarsa presenza e diffusione di infrastrutture adeguate ad un uso della bicicletta sicuro e piacevole ne ostacolano la diffusione come pratica culturalmente radicata.

#### d) MaaS

Il termine MaaS (*Mobility as a Service* o "mobilità come servizio") si è imposto a partire dal 2014 in seguito al forte impulso nella ricerca e sviluppo di soluzioni commerciali che riguardassero l'integrazione dei servizi di mobilità (sia nel campo passeggeri che merci). Il concetto di MaaS si fonda sull'idea di trasformare la mobilità da bene posseduto a bene cui si accede tramite un servizio, che aggrega e integra (sia in termini di pagamento, che di pianificazione, accesso e gestione) l'offerta di mobilità (sia pubblica che privata) presente in un determinato contesto territoriale. Il paradigma della MaaS è stato finora implementato in una modalità piuttosto blanda e con riferimento soprattutto all'integrazione tariffaria e/o alla concentrazione di diversi servizi di mobilità nelle mani di uno stesso operatore. Le potenzialità di questo approccio alla mobilità sono enormemente maggiori e i modelli di business che da essa derivano in buona parte ancora inesplorati, così come è da chiarire la natura della MaaS rispetto all'erogazione di servizi di trasporto pubblico e, quindi, rispetto alle modalità di concessione/autorizzazione di tali servizi. Altre questioni devono essere chiarite perché la MaaS possa svilupparsi e rispondere in maniera economicamente e socialmente utile alle esigenze di una mobilità sostenibile. In conclusione, le principali linee di ricerca in ambito MaaS sono:

- tecnologiche, con riferimento alle soluzioni che rendono fruibile, attrattiva, competitiva e sostenibile (economicamente, ambientalmente e socialmente) la MaaS, ivi comprese piattaforme di gestione di *market-place*, sistemi di de-materializzazione ed integrazione tariffaria, soluzioni di supporto allo *sharing* e per la gestione di flotte eterogenee, soluzioni per la gestione *a-run-time* della intermodalità, ecc.;
- emersione e valutazione di modelli di business alternativi (crescita per acquisizioni, integrazione tra operatori, nascita di figura di *brokering* e di intermediazione della mobilità, ecc.) e analisi del contesto legislativo e di regolazione che favorisca il mercato rispettando obiettivi di efficienza e sostenibilità e vincoli di equità sociale;
- aspetti di regolazione della MaaS con riferimento alla concessione/autorizzazione di servizi; i servizi MaaS sono per natura integrazioni di servizi esistenti, alcuni dei quali concessi: devono essere trattati con riferimento ad una concorrenza "nel mercato" o ad una concorrenza "per il mercato" (gare di concessione),

<sup>17</sup> Isfort, 2019, *Sedicesimo rapporto sulla mobilità degli italiani*, Roma ([https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2019/12/16\\_Rapporto\\_Audimob.pdf](https://www.isfort.it/wp-content/uploads/2019/12/16_Rapporto_Audimob.pdf)).

<sup>18</sup> Reperibile all'indirizzo <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/piano-straordinario-mobilita-turistica/nuovo-piano-straordinario-della-mobilita>.



con attenzione alle esternalità negative dei meccanismi commerciali quando si tratta di servizi relativi a “diritti” quali la mobilità e volti alla sostenibilità;

- strumenti per la modellizzazione dell’offerta, della domanda e della interazione domanda/offerta e del caricamento di reti e servizi in contesti MaaS; i tradizionali modelli di simulazione dei sistemi di trasporto devono essere significativamente modificati per tenere conto del nuovo paradigma; lo sviluppo modellistico deve avvenire dal punto di vista del regolatore del mercato, dal punto di vista degli operatori nel/per il mercato e dal punto di vista della quantificazione ed analisi degli effetti;
- promozione della disponibilità di *dati open* da parte dei fornitori di servizi in ambiente MaaS, verso i concessionari o gestori delle piattaforme per la valutazione dell’impatto sociale ed ambientale dei servizi erogati dal sistema.

#### d) Mobilità turistica e turismo della mobilità

Un’attenzione particolare deve essere infine rivolta ai servizi di mobilità prevalentemente orientati all’uso turistico, per la rilevanza che quest’ultimo ha nel Paese. Il turismo corrisponde infatti a circa il 6% del PIL prodotto annualmente (dato 2017<sup>19</sup>) e circa il 13% comprendendo l’indotto e l’impatto che questo può avere sui territori. Si deve considerare infatti che, nel 2013, i viaggiatori internazionali hanno superato per la prima volta il miliardo di unità (+60% rispetto al 2000) e che la previsione di crescita globale sia costante, in particolare per l’Europa, fino al 2030<sup>20</sup>. Il trend è precedente alla crisi pandemica e non ne tiene conto; si ritiene, comunque, che una progressiva normalizzazione possa riportare a tassi di crescita molto elevati.

In questo caso, oltre alle succitate necessità di innovazione a tutto campo (tecnologiche, metodologiche e organizzative), fondamentali per accompagnare il turista in tutte le fasi, dalla pianificazione del/al viaggio verso e nella destinazione, si ritiene di dover riservare grande attenzione ai fattori più prettamente estetici (creatività *made in Italy* e design industriale) in modo da valorizzare quelli che sono gli storici punti di forza del Sistema Italia e di aumentare l’attrattiva e il rilancio dei nostri territori anche attraverso l’offerta di servizi e mezzi originali e “belli”. Inoltre, presente all’estero, ma ancora poco diffusa in Italia, è la ricerca sul rapporto tra trasporto pubblico e turismo, che comprende anche l’interazione con i paradigmi della MaaS. Nell’ottica di garantire la massima sostenibilità possibile ai sistemi di trasporto nei contesti turistici (in particolare in aree naturalisticamente sensibili) è importante l’integrazione della funzionalità del trasporto turistico con quella della popolazione residente in maniera da ridurre l’impatto della stagionalità sulla gestione dei servizi di mobilità, nonché delle opere infrastrutturali sull’eco-sistema locale. Difatti la mobilità turistica è ancora prettamente incentrata sul mezzo di trasporto privato, in particolare l’automobile è tuttora il mezzo più utilizzato per viaggi di vacanza dagli Italiani (57,2% nel 2019) seguita dall’aereo (21,3%) e dal treno (9,8%) e quindi poco sostenibile<sup>21</sup>. Lo stesso vale per la popolazione turistica straniera, che raggiunge l’Italia con l’auto o bus nel 62% dei casi, con l’aereo per il 35% e solo 2% e 1% rispettivamente via nave e treno (Banca d’Italia 2017<sup>22</sup>). A tal fine, si dovrebbero privilegiare progetti che favoriscono l’inter-modalità di metodi e mezzi di trasporto, dal “micro” (monopattini, biciclette anche a pedalata assistita, scooter elettrici, ...) al “macro” (comprendendo anche il comparto nautico, con l’uso di battelli innovativi a propulsione elettrica o addirittura mezzi più spettacolari quali i dirigibili, che possono rappresentare una scelta originale particolarmente sostenibile e attrattiva). Esempio di questa forma di integrazione virtuosa, volta a ridurre l’impatto della mobilità sui contesti naturali e turistici è dato dalle iniziative di promozione e pianificazione di vacanze fondate sulla “mobilità dolce” e *climate-friendly*, grazie alla disincentivazione dell’auto a favore di trasporto collettivo e micro-mobilità in loco.

<sup>19</sup> Dato World Travel and Tourism Council 2017, citato da Banca d’Italia  
[https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/qef/2019-0505/QEF\\_505\\_19.pdf](https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/qef/2019-0505/QEF_505_19.pdf).

<sup>20</sup> UNWTO *Annual Report 2016*, reperibile all’indirizzo: <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284418725>.

<sup>21</sup> Istat, Report “*Viaggi e vacanze*” 2019.

<sup>22</sup> Banca d’Italia, *Indagine sul Turismo Internazionale 2017*, reperibile all’indirizzo: <https://www.bancaditalia.it/media/notizia/indagine-sul-turismo-internazionale-2017>.



## Censimento delle ricerche in corso

### La ricerca sull'efficienza e qualità del trasporto pubblico

Oltre a numerosi interventi sui TPL urbani di iniziativa comunale (legati ai PUMS), a livello nazionale si possono segnalare i progetti dell'ENEA ([www.enea.it](http://www.enea.it)) "Smartbus" (per il trasporto a chiamata) e BEST (*Best Electric Solutions for public Transport*).

Si segnalano inoltre diversi progetti regionali per il trasporto pubblico in aree a domanda debole. A titolo di esempio: "LiMIT<sub>4</sub>WeDa - *Light Mobility for Weak Demand Areas*" (Regione Lazio), "SaMBA - *Sustainable Mobility Behaviours in the Alpine Region*" (Regione Piemonte).

A livello europeo si segnalano diversi progetti dedicati in 7FP e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>O e le seguenti iniziative: CIVITAS ([www.civitas-iniziative.eu](http://www.civitas-iniziative.eu)), ELTIS ([www.eltis.org](http://www.eltis.org)). Si tratta in molti casi di progetti di integrazione tecnologica. L'interesse è generalmente molto alto; gli impatti possono essere molto significativi, specie in aree urbane; gli obiettivi specifici sono indirizzati a una progressiva elettrificazione e automazione dei sistemi di trasporto; i risultati attesi riguardano l'abbattimento delle emissioni inquinanti, il decongestionamento del traffico, il miglioramento dei servizi anche in termini di accessibilità e di sicurezza; le ricadute sono interessanti anche per l'industria europea e nazionale.

### La ricerca sulla Sharing Mobility

A livello nazionale, la maggior parte dei progetti e delle iniziative in corso si possono trovare all'interno dell'Osservatorio Nazionale sulla Sharing Mobility ([www.osservatoriosharingmobility.it](http://www.osservatoriosharingmobility.it)). Sono numerosi infine i progetti e le iniziative europee dedicati all'argomento. In particolare, si segnala "STARS H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>O - *Shared mobility opportunities And Challenges foR European cities*", che coinvolge 33 Paesi ([www.stars-h2o2o.eu](http://www.stars-h2o2o.eu)).

### La ricerca sulla micro-mobilità, la mobilità assistita e la mobilità attiva

Per quanto riguarda la micro-mobilità a livello nazionale si tratta principalmente di progetti di sperimentazione (soprattutto nelle città), regolamentate dal decreto del MIT del luglio 2019. Analoghe azioni sono presenti in numerosi Paesi europei. Per l'utilizzo di veicoli elettrici leggeri (come biciclette a pedalata assistita, tricicli, scooter e quad), da integrare nella rete di trasporto di sei città europee, si segnala il progetto ELVITEN ([www.elviten-project.eu](http://www.elviten-project.eu)). Sussiste infine un legame interessante tra micro-mobilità e Maas (*How Micro Mobility Solves Multiple problems in Congested Cities*, <https://maas-alliance.eu>).

Per quanto riguarda la camminabilità l'attenzione è rivolta essenzialmente a ricerche di tipo internazionale. Centrali sono gli studi di ambiente canadese e australiano, oltre che statunitense, dove è consolidata una tradizione di ricerca sul tema, attenta allo studio e misurazione degli aspetti che possano favorire la mobilità pedonale. Diversi autori hanno approfondito l'influenza sulla pedonalità del design e delle caratteristiche estetiche dell'ambiente, oltre che della presenza di servizi e di arredi urbani di supporto al pedone. Rimangono invece poco studiati gli aspetti legati alla dimensione sociale e individuale della camminabilità (ad esempio la percezione dell'accessibilità e l'influenza esercitata dai fattori psico-cognitivi), di cui emerge tuttavia, quando misurata, la rilevanza.

Analogamente a quanto accade per la ricerca sulla camminabilità, anche gli studi sulla ciclabilità (comprendendo l'uso di biciclette a pedalata assistita) sono tradizionalmente concentrati sull'analisi delle componenti spaziali e del design urbano, utili a ostacolare o incentivare l'uso della bicicletta. Questi aspetti chiaramente impattano in forma diversa sulla percezione degli utenti (reali o potenziali) della bicicletta, a seconda delle loro caratteristiche e stili di vita consolidati.

### La ricerca sui MaaS

In Italia si segnala il progetto "BipforMaaS (2019-2022)", promosso dalla Regione Piemonte con l'obiettivo di coordinamento di un percorso di innovazione dei servizi di trasporto pubblico e dei servizi di mobilità per abilitare un «ecosistema MaaS». Ancora limitate nel contesto Italiano, le esperienze sono invece più diffuse nel resto d'Europa, ad



esempio ad Helsinki, Birmingham, Vienna, Graz, Stoccolma, spesso ad opera di progetti di ricerca e sviluppo incentrati su questi contesti-pilota, concepiti come veri e propri *Living Labs*. Tra le ricerche più recenti a livello Europeo occorre citare:

- “MaaS<sub>4</sub>EU”, volto ad indagare: modelli di Business per i MaaS; ruolo dell’utente finale e propensione d’uso; sviluppo delle tecnologie abilitanti e gestione dei dati; politiche per la gestione dell’eco-sistema dei trasporti in ottica MaaS (tecnologia, *privacy* e sicurezza). Ricaduta attesa: ricerca su abilitazione dei territori ai MaaS;
- “IMOVE”, avente tra i pilota la città di Torino, mira a velocizzare la diffusione e ad affrontare il problema della scalabilità (e quindi sostenibilità economica) dei sistemi “MaaS” in Europa. Obiettivo finale è la promozione di un servizio di “*roaming*” per gli utenti a livello europeo. Ricaduta attesa: interoperabilità territoriale e sostenibilità economica;
- “CIVITAS ECCENTRIC”, finalizzata a sviluppare ed applicare una metodologia di valutazione della maturità degli enti locali alla realizzazione di sistemi MaaS;
- “My Corridor”, avente tra i pilota la città di Roma, ha come obiettivo lo sviluppo di una piattaforma tecnologica e di business per rendere il MaaS una realtà sostenibile, operante anche attraverso i confini. Ricaduta attesa: interoperabilità territoriale.

### Mobilità turistica e turismo della mobilità

Sono numerosi i progetti e le iniziative italiane dedicate direttamente o indirettamente al turismo sostenibile, sia nazionali (MiBACT, MIT, MID e Invitalia), sia regionali che comunali. Il MiBACT, con il “*Piano Strategico di Sviluppo del Turismo – PST 2017-2022*”<sup>23</sup> e in maniera più specifica con i collegati “*Strategia per l’Innovazione Tecnologica e la Digitalizzazione del Paese 2025*”<sup>24</sup> del Ministero dell’Innovazione e il “*Piano Straordinario per la Mobilità Turistica 2017-2022*”<sup>25</sup> ha evidenziato come siano cruciali per la realizzazione di un turismo pienamente sostenibile nel nostro Paese gli sforzi di innovazione dei sistemi turistici da un punto di vista anche trasportistico. Ci riferiamo alla digitalizzazione dei servizi (si veda la sezione sulla MaaS), ancora poco diffusa se non in specifici contesti, al recupero delle infrastrutture storiche, alla diffusione della rete ciclabile e dei cammini e al loro sviluppo in chiave di attrazione e promozione dell’identità dei territori. Sebbene si produca ricerca o si effettuino interventi su mezzi e infrastrutture, ancora poco è stato indagato dal punto di vista dei meccanismi di costruzione e comunicazione delle identità locali, della conciliazione degli interessi tra comunità locali e popolazione turistica (in termini anche di sostenibilità e a-stagionalità dei servizi sviluppati), della riproducibilità delle esperienze in contesti differenti tramite la mobilitazione delle risorse e comunità locali.

Fa eccezione la programmazione europea, per la quale, in tema di turismo sostenibile e valorizzazione del patrimonio naturale e culturale, si può fare riferimento al programma Interreg Europe<sup>26</sup>, dove viene promossa la cooperazione internazionale e interregionale con una forte attenzione ai territori e alla realizzazione di sperimentazioni e casi pilota nei contesti locali. L’ambito turistico viene infatti considerato come un canale privilegiato per promuovere una più generale mobilità sostenibile, grazie alla creazione di occasioni di pratica di quest’ultima. Le principali linee di ricerca in tema turistico riguardano lo sviluppo di servizi integrati di trasporto a basse o zero emissioni che permettano di ridurre la dipendenza dai mezzi motorizzati privati negli spostamenti verso e all’interno delle destinazioni, in particolare per la tutela delle aree naturali a vocazione turistica.

Un campo specifico, in questo ambito, in sviluppo riguarda l’ideazione di sistemi intermodali (dalle biciclette ai battelli) di mobilità elettrica ad uso prettamente turistico, comprensivi di infrastrutture energetiche (ricarica), di supporto e telematiche (gestione, monitoraggio, tariffazione, sicurezza...), per cui si segnalano i progetti europei “Life for Silver Coast” ([www.lifeforsilvercoast.eu](http://www.lifeforsilvercoast.eu)) e il già citato ELVITEN ([www.elviten-project.eu](http://www.elviten-project.eu)).

<sup>23</sup> [https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1481892223634\\_PST\\_2017\\_IT.pdf](https://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1481892223634_PST_2017_IT.pdf).

<sup>24</sup> [https://innovazione.gov.it/assets/docs/MID\\_Book\\_2025.pdf](https://innovazione.gov.it/assets/docs/MID_Book_2025.pdf).

<sup>25</sup> <http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/normativa/2018-01/piano%20straordinario%20mobilit%C3%A0%20turistica%202017-2022%20v0.pdf>.

<sup>26</sup> [www.interregeurope.eu](http://www.interregeurope.eu).



## Analisi del documento CE Orientations e STRIA

Con attenzione al documento “*Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe*” (2019), sviluppato per la nuova programmazione europea 2021-2027, viene preso in considerazione il Cluster 5 del Pillar II (*Climate, Energy and Mobility*), in particolare i punti 4.5 “*Develop low-carbon and competitive transport solutions across all modes*” e 4.6 “*Develop seamless, smart, safe, accessible and inclusive mobility systems*” (pp. 97-105).

Per quanto attiene alla tematica della presente articolazione, si riconosce piena attinenza con il “topic 2” del punto 4.5.1 del suddetto documento (“*Achieve zero-emission road transport*”).

Altri importanti allineamenti con l’impianto *Horizon Europe* riguardano il punto 4.5.4, che tra i “*potential research challenges*” riporta “*improving attractiveness of inland waterway transport*”, di evidente interesse per la mobilità turistica. Analogamente va evidenziato il punto 4.5.5, che tra i “*targeted impact*” riporta “*improved scientific knowledge on the impacts of existing and new transport emissions*”; ancora il punto 4.6.1, che fa riferimento a “*large-scale, cross-border demonstrations*”, applicabili a tutti i sistemi di trasporto e in particolare a quelli turistici; si sottolinea inoltre l’allineamento dell’articolazione con gli obiettivi di ricerca relativi allo sviluppo di nuove modalità e pratiche di trasporto volte all’inter-modalità e qualità dei servizi (punto 4.6.2). Ancora vanno citati il punto 4.6.3 e 4.6.5, il primo dei quali aperto alla mobilità attiva (“*soft/active mobility (bikes+walking)*”) con specifico riferimento alla micro-mobilità e la mobilità assistita e attiva; il secondo invece incentrato sul tema della sicurezza (*transport safety*), dove si sottolinea l’importanza del tema della sicurezza, della salute e della qualità della vita dei cittadini.

La presente articolazione si trova allineata anche alla Strategia Europea STRIA (*Strategic Transport Research and Innovation Agenda*). In particolare questo vale per lo sviluppo dei sistemi MaaS in virtù della centralità dell’implementazione di soluzioni tecnologiche e organizzative quali “*multi-modal, electric and autonomous vehicles, drone technology and on-demand mobility services*”. Tra gli obiettivi principali della Strategia infatti vanno elencati:

- stabilire modelli operativi migliori (qui concepiti come modelli per la collaborazione dei servizi di trasporto pubblico e di mobilità con i fornitori privati di mobilità al fine di co-fornire mobilità sostenibile e sistemi di trasporto);
- sviluppare sistemi integrati di mobilità, attraverso la collaborazione di attori pubblici e privati in R&S;
- condividere dati e infrastrutture: aggregazione di dati dinamici su cellulare e traffico, posizione in tempo reale degli autobus o orari di arrivo del treno, ... da parte di operatori pubblici e privati al fine di migliorare l’innovazione;
- supportare l’interoperabilità futura: sviluppo di standard tecnici europei per la comunicazione e l’interoperabilità di dispositivi, infrastrutture e veicoli dell’utente, per la realizzazione di servizi di mobilità che possano operare aggregando diversi attori e modalità ed attraversare diversi contesti territoriali, in particolare i diversi paesi dell’unione.

## Tematiche di particolare interesse (attuale o in prospettiva) per il Paese

Al fine di realizzare sistemi di mobilità collettiva con caratteristiche di efficienza, qualità del servizio, accessibilità e sicurezza della persona si propone di:

- integrare nei sistemi di trasporto le tecnologie della guida autonoma, l’interconnessione di mezzi e di infrastrutture e le metodologie di sanificazione;
- utilizzare sistemi predittivi e adattativi di pianificazione, di misura e di monitoraggio dei sistemi di trasporto pubblico, con elaborazione in tempo reale dei dati e tenendo conto dell’interazione tra gli utenti;
- utilizzare sistemi per il tracciamento, l’identificazione e la memorizzazione delle informazioni sull’utilizzo e le preferenze degli utenti per i sistemi di trasporto;
- concepire sistemi di trasporto condiviso con criteri di inter-modalità, multi-modalità, e inter-connessione;
- studiare e adottare modelli di business alternativi, nuovi contesti legislativi e di regolazione e innovazioni di metodo per la sostenibilità (economica, sociale, ambientale) nel trasporto pubblico;
- ampliare la ricerca su forme innovative di trasporto e per le aree a domanda debole (extra-urbane, rurali).



Al fine di migliorare e diffondere maggiormente i servizi di trasporto condiviso (*sharing mobility*):

- sviluppare modelli e sistemi per il rilevamento delle abitudini di uso e la previsione di utilizzo di flotte di veicoli elettrici condivisi per determinate domande di spostamento e casi d'uso;
- sviluppare modelli previsionali basati sulla domanda per l'ottimizzazione dell'allocazione geografica delle diverse tecnologie di infrastruttura di ricarica dei veicoli elettrici a seconda dei diversi casi d'uso, a livello di città, regione, stato;
- migliorare gli studi su domanda e offerta di servizi di sharing mobility per tipologia di contesto territoriale (urbano/non urbano);
- migliorare il livello di integrazione dei servizi di sharing nei sistemi di trasporto.

Al fine di rendere più efficaci, più integrati e maggiormente fruibili i sistemi di micro-mobilità, e di promuovere la mobilità attiva (camminabilità e ciclabilità):

- incrementare l'inter-modalità dei trasporti con l'utilizzo di mezzi elettrici leggeri e a pedalata assistita;
- aumentare il livello di integrazione dei servizi di micro-mobilità e la mobilità attiva nei sistemi di trasporto (applicazioni di supporto, gestione e organizzazione dei flussi di traffico, corsie dedicate, zone protette);
- approfondire la ricerca sulle percezioni e le componenti soggettive e sociali della mobilità attiva (camminabilità e ciclabilità);
- adottare il Design urbano per le infrastrutture dedicate alla mobilità attiva, con caratteristiche di inclusività, accessibilità, sicurezza;
- valutare le ricadute socio-economiche, sanitarie e ambientali della mobilità attiva, anche con attenzione alle destinazioni turistiche.

Al fine di migliorare l'integrazione e l'inter-modalità dei sistemi e dei servizi di trasporto attraverso l'adozione della MaaS (*Mobility as a Service*):

- introdurre le opportune innovazioni tecnologiche, con riferimento alle soluzioni che rendono fruibile, attrattiva, competitiva e sostenibile la MaaS;
- migliorare gli aspetti di regolazione della MaaS con riferimento alla concessione/autorizzazione di servizi;
- definire gli standard per la realizzazione di piattaforme per l'integrazione e l'ottimizzazione di servizi MaaS;
- studiare e adottare gli strumenti più idonei per la modellizzazione dell'offerta, della domanda, della interazione domanda/offerta e del caricamento di reti e servizi in contesti MaaS.

Al fine di realizzare sistemi di mobilità turistica sostenibile e di concepire gli stessi come ulteriore elemento di attrazione turistica delle città e dei territori italiani:

- adottare sistemi di mobilità turistica basati sull'inter-modalità, l'interconnessione e la multi-modalità in termini di differenti dimensioni dei mezzi (dal micro al macro) e di tipologia di propulsione: terra (veicoli su ruota), acqua (battelli), aria (velivoli innovativi come i dirigibili di moderna concezione), promuovendo gli aspetti di bellezza e spettacolarità degli stessi;
- approfondire la ricerca su forme di mobilità turistica innovative e caratterizzanti per i territori (in termini di attrattività, caratteristiche peculiari storico-paesaggistiche, design "made in Italy" e legame alla cultural heritage);
- approfondire la ricerca sull'accessibilità turistica, con attenzione alle reti, ai nodi e alle tematiche della sicurezza e della salute;
- realizzare sistemi di mobilità nautica elettrica per le vie d'acqua interne, costiera e verso le isole;
- aumentare il livello di integrazione della mobilità turistica nei sistemi di trasporto pubblico, in termini di modalità organizzativa, di mezzi e di infrastrutture;
- incrementare la ricerca sull'accessibilità dei sistemi di mobilità turistica.



## Articolazione 4. Reti e veicoli green e clean

### Analisi del contesto, problemi e prospettive di ricerca

La visione strategica europea prevede di raggiungere l'obiettivo di un impatto climatico zero entro il 2050 realizzando un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra. La strategia prevede investimenti in soluzioni tecnologiche realistiche, coinvolgendo i cittadini e armonizzando gli interventi in settori fondamentali quali la ricerca, la politica industriale e la finanza, garantendo nel contempo equità sociale per una transizione giusta.

L'attuale scenario tecnologico non garantisce il raggiungimento degli obiettivi globali di mitigazione del clima e richiede di andare oltre i limiti delle attuali tecnologie e modelli di uso, lanciando nuove sfide al mondo della ricerca e dell'innovazione. La penetrazione delle fonti rinnovabili e dei vettori energetici puliti diventa essenziale per gli obiettivi di neutralità climatica: la domanda di energia mondiale dovrebbe essere assicurata per il 74% dalle rinnovabili, per il 15% dal nucleare, per il 7% da centrali convenzionali con sistemi di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> e il resto da gas naturale<sup>27</sup>.

I trasporti rappresentano un settore strategico dell'economia: negli ultimi anni, i volumi dei trasporti di merci e passeggeri hanno fatto registrare una crescita prevedibilmente destinata a continuare, anche se a ritmo più lento, anche per i possibili effetti della pandemia almeno sul breve termine. Dal punto di vista dei volumi, il trasporto su strada assicura gli spostamenti di merci e passeggeri ed ancora il mercato non riesce ad offrire modi di trasporto alternativi pienamente competitivi. Circa un quarto di tutte le emissioni di gas serra nell'Unione Europea proviene dai trasporti dipendenti quasi interamente dal petrolio (94%). L'automotive è uno dei settori industriali più sviluppati e innovativi, costituisce il 4% del PIL europeo, garantisce lavoro a 12 milioni di cittadini europei e investe ogni anno in ricerca e sviluppo circa 50 miliardi di euro. Il trasporto su strada è responsabile di quasi il 73% del totale di settore, seguito dal trasporto aereo e marittimo con una quota di circa il 13% ciascuno e dal trasporto ferroviario per lo 0,5% delle emissioni totali. L'obiettivo di zero-emissioni di CO<sub>2</sub> al 2050 ha spinto l'UE a intervenire per ridurre l'impatto di tutti i sotto-settori: stradale, navale e aereo; mentre per il ferroviario, già in gran parte elettrificato, gli interventi sono limitati alle tratte servite da treni ad alimentazione diesel.

La de-carbonizzazione dei trasporti può rappresentare anche un fattore di sviluppo e generare ricchezza e occupazione. Le vendite di auto elettriche sono in continua crescita: 7,2 milioni circolano nel 2019. Entro il 2030 i veicoli elettrici rappresenteranno circa un quarto di tutte le automobili e dei camion su strada e il 50-60% delle vendite di nuove automobili<sup>28</sup>. L'elettrificazione dei trasporti potrebbe generare nel prossimo decennio un valore aggiunto compreso fra i 3 e i 10 miliardi di euro con un'utenza stimata in circa 2-3 milioni di clienti. Un potenziale giro di affari di circa 2,5 miliardi di dollari è la "proiezione" dell'incidenza delle tecnologie a idrogeno sul mercato dei trasporti, emerso da uno studio presentato da *Hydrogen Council*, in collaborazione con McKinsey<sup>29</sup>. Secondo lo studio, l'idrogeno potrebbe essere impiegato su larga scala per coprire circa un quinto dei consumi energetici previsti al 2050 e ridurre di circa 6 giga tonnellate le emissioni annuali di CO<sub>2</sub> rispetto ai livelli attuali, contribuendo quindi all'abbattimento di quel 20% necessario a contenere il riscaldamento globale entro due gradi centigradi. Il trasferimento delle tecnologie utilizzate per de-carbonizzare il settore *automotive* possono portare gli stessi benefici ad altri settori, dalla logistica portuale e aeroportuale a quello delle macchine industriali di sollevamento e trasporto.

---

<sup>27</sup> IEA (2017), *Energy Technology Perspectives 2017*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>.

<sup>28</sup> BCG (2020), *Who Will Drive Electric Cars to the Tipping Point?* BCG – Boston Consulting Group, Boston, [https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Who-Will-Drive-Electric-Cars-to-the-Tipping-Point-Jan-2020-rev\\_tcm9-237575.pdf](https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Who-Will-Drive-Electric-Cars-to-the-Tipping-Point-Jan-2020-rev_tcm9-237575.pdf).

<sup>29</sup> Hydrogen Council (2020) *Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective*. [https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness\\_Full-Study-1.pdf](https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf).

McKinsey & Company. (2019). *McKinsey Global Energy Perspective*. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2019>.



De-carbonizzare il trasporto aereo è un processo complesso, ma allo stesso tempo rappresenta una sfida per l'Unione Europea. Nel 2016, l'aviazione nazionale e l'aviazione internazionale erano responsabili per il 3,6% delle emissioni totali di gas serra dell'UE e per il 13,4% delle emissioni prodotte dai trasporti<sup>30</sup>. L'efficienza dei sistemi di propulsione e dei sistemi ausiliari continua a migliorare e, entro il 2040, sono previsti ulteriori riduzioni del consumo medio di carburante per passeggero e per chilometro volato (-12%), intervenendo anche sui servizi di mobilità dei passeggeri e trasporto di merci e bagagli negli aeroporti.

L'*International Transport Forum* ha indicato che per de-carbonizzare il trasporto marittimo entro il 2035 è necessario ridurre l'inquinamento sulle rotte internazionali tra l'82% e il 95% dei valori attuali<sup>31</sup>. "Se le emissioni di CO<sub>2</sub> del settore marittimo fossero un paese, si classificherebbero al 6° posto nella classifica mondiale". Il paradosso è che questo settore è stato escluso dall'accordo di Parigi. L'*International Maritime Organization* avverte: "...le emissioni di CO<sub>2</sub> causate dal trasporto marittimo potrebbero aumentare fino al 250% entro il 2050, trainate dalla crescita prevista per il commercio mondiale". Tecnologie innovative, carburanti alternativi, energie rinnovabili, assistenza del vento e propulsione elettrica possono fornire un contributo fondamentale.

Lo sviluppo di nuove tecnologie e di nuovi modelli di mobilità propongono anche nuove sfide in termini di adeguatezza del quadro normativo e legislativo, della tutela della vita privata, di sicurezza, responsabilità e sicurezza dei dati.

L'innovazione tecnologica non esaurisce il quadro delle trasformazioni e il contesto tecnologico si intreccia profondamente con le trasformazioni attese nei modelli di utilizzo dei veicoli e con una sempre maggiore integrazione tra le modalità di trasporto. Diversi modelli di comportamento rispetto alla mobilità saranno abilitati dalle nuove tecnologie e, d'altro lato, le modifiche nei comportamenti individuali e nell'organizzazione della mobilità saranno in grado di fare emergere nuove convenienze e diversi modelli di uso (e sviluppo) delle tecnologie.

Per una più completa trattazione dei temi affrontati in questa articolazione si suggerisce di fare riferimento anche all'analoga articolazione 5 del Sotto-Ambito "Energia Industriale".

## Censimento delle ricerche in corso

Il Programma Quadro europeo per la Ricerca e l'Innovazione 2014-2020 Horizon 2020 ha individuato le priorità per la crescita intelligente, sostenibile e inclusiva, sostenendo la de-carbonizzazione del sistema dei trasporti attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica dei mezzi e dei sistemi di trasporto e la promozione del passaggio a soluzioni di mobilità più rispettose dell'ambiente per tutte le modalità e in tutti i settori: aereo, terrestre e marino. Le Università e gli Istituti di ricerca italiani insieme alle grandi imprese e alle PMI hanno partecipato ai bandi competitivi e stanno portando avanti i progetti finanziati sui diversi programmi: *More Electric Aircraft, Mobility for Growth, Urban Mobility, Logistics, Intelligent Transport Systems, Safety, Automated Road Transport, Green Vehicles; Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), Green Ship, Autonomous Ship; Smart Yards, Smart Offshore Infrastructures*. Altre ricerche in ambito mobilità e trasporto con grande impatto su ambiente e clima sono state finanziate dal programma europeo LIFE. Tenendo conto degli indirizzi europei, anche il MIUR ha finanziato, attraverso il Programma Operativo Nazionale Ricerca e Innovazione 2014-2020, Imprese, Università e Centri di Ricerca in settori con un indirizzo fortemente tecnologico nell'ambito dell'ottimizzazione del *powertrain* e della riduzione di emissioni GHG, della mobilità sostenibile, dei sistemi per la sicurezza attiva e passiva, della progettazione di autoveicoli.

Il mondo della ricerca accademica e industriale ha fatto leva su fattori chiave quali innovazione, investimento in nuove tecnologie e prodotti sia per l'ottimizzazione e la realizzazione di mezzi, veicoli e componenti al fine di rispondere alle future normative europee, sia per gestire la transizione verso la completa de-carbonizzazione lavorando su più macro-obiettivi:

<sup>30</sup> EU SWD (2028) COMMISSIONE EUROPEA Bruxelles, 26.10.2018 COM(2018) 716 final  
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/IT/COM-2018-716-F1-IT-MAIN-PART-1.PDF>.

<sup>31</sup> OECD/ITF (2018) "Decarbonising Maritime Transport Pathways to zero-carbon shipping by 2035. International Transport Forum. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-maritime-transport.pdf>.



- incremento dell'efficienza e riduzione delle emissioni dei motori a combustione interna;
- sviluppo di propulsori e di sistemi di propulsione elettrici e ibridi ad alto rendimento e basso impatto ambientale;
- vettori energetici a basso impatto (ad es. idrogeno, Bio-LNG, ecc.);
- sistemi di stoccaggio dell'energia per le varie opzioni di mobilità (anche tramite l'uso del fotovoltaico nelle stazioni di ricarica e sui veicoli);
- creazione di un sistema a rete di distributori di vettori energetici a basso impatto (idrogeno e LNG);
- sviluppo di sistemi a celle a combustibile e tecnologie a idrogeno per la mobilità;
- incremento delle prestazioni e dell'autonomia delle batterie anche con architetture ibride;
- infrastrutture e reti per la mobilità sostenibile (ad es. colonnine di ricarica elettrica distribuite e veloci);
- materiali innovativi e soluzioni per l'alleggerimento e la riduzione del consumo energetico dei mezzi di mobilità e trasporto, con l'obiettivo di ridurre consumi ed emissioni;
- riconversioni ecologiche delle flotte.

I risultati delle ricerche in corso hanno evidenziato la necessità di un maggior uso di vettori generati con il 100% di energia da fonti rinnovabili per raggiungere l'obiettivo di sviluppare entro il 2050 sistemi di trasporto neutri e puliti.

Il settore del trasporto terrestre, partendo dalla necessità di rispondere alle future normative europee Euro 7, deve puntare sia allo sviluppo e al perfezionamento di veicoli elettrici a batteria (BEV) e a celle a combustibile (FCEV); di veicoli ibridi (HEV) e ibridi *plug-in* (PHEV); di veicoli convenzionali avanzati; di soluzioni innovative per veicoli pesanti; sia alla riduzione dei costi, volumi e masse e all'incremento dell'efficienza e delle prestazioni dei componenti (quali batterie, celle a combustibile, convertitori, motori elettrici, azionamenti, motori termici, elettronica, sistemi di climatizzazione e sistemi di *energy harvesting*, vedi Articolazione 5 "Il sistema energetico nazionale ed i sistemi di trasporto terrestre, marino ed aereo" dell'ambito tematico "Energetica industriale").

Nel settore aeronautico i progetti di ricerca in corso puntano ad ottimizzare le prestazioni degli aeromobili e dei servizi di terra; a ridurre i costi operativi e di manutenzione, ad aumentarne l'affidabilità e a ridurre le emissioni inquinanti. Queste sfide sottolineano gli sforzi dell'industria e della ricerca aeronautica verso lo sviluppo di aeromobili e aeroporti partendo dall'utilizzo di energia elettrica per tutti i sistemi non propulsivi. Il programma *Clean Aviation* punta a realizzare una rivoluzione "verde" capace di coniugare i futuri servizi di mobilità aerea con i principi del *Green Deal* (vedi Articolazione 2 "Riduzione dell'impatto ambientale in aeronautica" dell'ambito tematico "Aerospazio").

Nel settore marino le ricerche in corso evidenziano la necessità di utilizzare le nuove tecnologie abilitanti di Industria 4.0 per sviluppare prodotti e processi in grado di aumentarne la sostenibilità e raggiungere un significativo aumento di produttività in linea con la *Strategic Research Agenda* della piattaforma tecnologica europea *Waterborne*. Le attività in corso puntano sia a migliorare l'efficienza energetica delle navi e a ridurre le emissioni attraverso interventi sul design dello scafo, sui sistemi di propulsione e di *energy-storage*, sui sistemi di bordo per la riduzione del rumore e delle vibrazioni e sui sistemi per la gestione e smaltimento dei rifiuti; sia a de-carbonizzare il porto e i suoi sistemi logistici funzionali attraverso la realizzazione di impianti di generazione da fonte rinnovabile, l'elettificazione delle banchine portuali (*cold ironing- Shore side electricity*), l'uso di biocombustibili e GNL, l'uso di mezzi elettrici di movimentazione e trasporto elettrici alimentati con batterie o con sistemi a idrogeno.

In tutti i settori della mobilità e del trasporto la ricerca e l'innovazione sono concentrati sullo sviluppo sia di mezzi e veicoli elettrici a zero emissioni, convenienti ed efficienti dal punto di vista energetico, sia di infrastrutture di ricarica idonee a sostenerne l'uso e la diffusione attraverso interventi di specializzazione funzionale per comprendere tutti i tipi di mezzi veicoli per il trasporto dai micro-veicoli a due ruote, alle autovetture, furgoni, camion, pullman e autobus, aerei, navi passeggeri e trasporto merci. Tuttavia, i risultati delle ricerche in corso hanno dimostrato che nella transizione verso la completa de-carbonizzazione, i motori a combustione interna volumetrici e le turbine a gas possono continuare a giocare un ruolo importante, se utilizzati con biocombustibili o ottimizzati per la produzione di energia a bordo in configurazioni progressivamente e fortemente elettrificate, attraverso il miglioramento della combustione, dell'efficienza termica, potendo garantire tale transizione senza aumenti significativi di investimenti e costi operativi. A tal fine le attività di ricerca devono continuare a puntare sul miglioramento della combustione e dei



sistemi di post-trattamento e controllo, dei sistemi di propulsione ibrida (bimodale), sulla riduzione del peso del veicolo e sull'ottimizzazione dei sistemi ausiliari. Le finalità descritte, afferenti al dominio tecnologico della progettazione, produzione e gestione di sistemi di propulsione, sono state principalmente orientate allo sviluppo dei settori industriali legati al trasporto non solo stradale e alle relative filiere produttive. Le nuove tecnologie sviluppate possono essere trasversalmente impiegate in tutti i settori in cui attualmente si fa impiego dei motori a combustione interna, dal trasporto aereo, ferroviario e marittimo fino alle applicazioni *off-road*. Per queste macchine, la peculiarità a livello di architetture e di funzionalità non consente di traslare direttamente le tecnologie sviluppate per gli altri settori e richiede anche lo sviluppo di specifiche soluzioni di trasmissione di potenza, che prevedano sistemi di controllo della potenza tramite *power-packs* distribuiti, costituiti dall'abbinamento servomotore elettrico-pompa idraulica, e concetti innovativi quali quello di energia idraulica "*on demand*". È di particolare importanza poi sviluppare soluzioni innovative per la climatizzazione dei veicoli elettrici, che consentano di ridurre i consumi energetici e di incrementarne l'autonomia.

In tutti i settori della mobilità e del trasporto, diventa un fattore abilitante per la de-carbonizzazione lo sviluppo sia di materiali avanzati ed innovativi in grado di abbinare elevate proprietà meccaniche alla leggerezza e consentire di ridurre massa, consumo ed emissioni dei mezzi e dei veicoli; sia di materiali (tipicamente nanostrutturati) sostitutivi delle materie prime critiche (in termini geo-politici o di impatto ambientale) largamente impiegate nei sistemi di propulsione elettrica, come il litio (batterie), il cobalto e le terre rare (motori elettrici a magneti permanenti).

Le ricerche in corso hanno mostrato la necessità di valutare correttamente le diverse soluzioni di mobilità secondo i principi ispiratori dell'economia circolare e con strumenti idonei, come l'analisi del ciclo di vita (LCA) che, oltre alla fase operativa del veicolo, includa anche l'analisi della filiera dell'energia dal pozzo alla ruota (*Well to Wheel*) e l'analisi dei costi economici e ambientali legati alla costruzione e dismissione dei veicoli, dei mezzi di trasporto e delle relative infrastrutture, aspetti che possono incidere significativamente sia sui consumi energetici che sull'impatto ambientale.

### Analisi del documento CE Orientations e STRIA

L'Agenda strategica per la ricerca e l'innovazione nel settore dei trasporti (STRIA) è stata sviluppata nel 2017 e si basa su sette aree tematiche di ricerca sui trasporti: Trasporti cooperativi, connessi e automatizzati; Elettificazione dei trasporti; Progettazione e produzione di veicoli; Energia alternativa a basse emissioni per i trasporti; Sistemi di gestione delle reti e del traffico; Mobilità e servizi intelligenti; Infrastrutture ed alcuni di questi hanno una stretta connessione con i temi di questa articolazione.

La STRIA ha sviluppato numerose *Road Map* su temi inerenti alle reti e ai veicoli verdi e puliti. La *Road Map* sulle infrastrutture di trasporto prevede di "facilitarne una progressiva riduzione del consumo energetico nell'intero ciclo di vita e da una prospettiva sistemica e intermodale". La *Road Map* sulla progettazione e la produzione dei veicoli stradali prevede invece una forte diminuzione dei tempi di sviluppo; la messa a punto di strumenti di progettazione avanzati; lo sviluppo di soluzioni modulari; una maggiore integrazione nella catena di fornitura; lo sviluppo di nuove tecnologie orientate alla regolamentazione; la crescente complessità dei veicoli personalizzati e il ruolo chiave di ricerca, sviluppo e innovazione, per tener testa ai mercati emergenti con particolare riferimento a quelli asiatici. Nell'ambito dei trasporti navali, invece, si prevede che avranno un ruolo chiave l'integrazione tra progettazione digitale e produzione digitale; la produzione e pianificazione della produzione; lo sviluppo di nuove architetture di propulsione e l'utilizzo di fonti di energia temporanea.

La *Road Map* sulle energie alternative a bassa emissione per i trasporti, evidenzia che la de-carbonizzazione dei trasporti dipende dall'impatto "*well-to-wheel*" della produzione di energia alternativa, che richiede l'uso di combustibili a basse emissioni di carbonio e rinnovabili. Viene suggerito che la ricerca si focalizzi sull'uso efficiente dei biocarburanti avanzati, dei combustibili fossili miscelati con carburanti rinnovabili e dei carburanti rinnovabili puri. Sarà inoltre necessario abbinare le caratteristiche dei carburanti e dei motori per specifiche modalità di trasporto come i veicoli pesanti e la navigazione. Inoltre, la ricerca e l'innovazione dovranno sviluppare processi per la produzione di combustibili sintetici (*e-fuel*) in grado di utilizzare la CO<sub>2</sub> sequestrata e l'idrogeno prodotto da rinnovabili. Viene anche indicato che per ogni modo di trasporto si possano utilizzare diverse opzioni di combustibili



alternativi e favorire la diversificazione energetica. Alcune modalità di trasporto merci, quali i veicoli leggeri e pesanti, avranno opportunità di elettrificazione basata sull'uso di celle a combustibile mentre, per ciò che riguarda i veicoli per il trasporto delle persone, si dovrà puntare prevalentemente sulle batterie. Un aspetto molto importante che viene evidenziato è che a causa del legame tra la produzione e l'uso di carburanti alternativi, la ricerca e l'innovazione nel settore dei trasporti e dell'energia dovranno essere analizzate e sviluppate insieme per individuare opzioni valide. Per tale ragione, in riferimento al presente PNR, si suggerisce nuovamente la lettura parallela di questa articolazione con l'analoga sviluppata dal Sotto-Ambito Energetica Industriale, all'articolazione 5.

Infine, la *Road Map* sull'elettrificazione per ciò che attiene i trasporti su strada, indica che i fattori chiave della ricerca e sviluppo fino al 2050 riguarderanno lo sviluppo di autoveicoli con un'autonomia superiore a 400 chilometri per le autovetture elettriche, il progresso nell'elettrificazione degli autobus urbani, il supporto al settore attraverso l'acquisto pubblico di veicoli elettrici, l'omologazione e la certificazione delle prestazioni dei veicoli elettrici, il supporto alla produzione locale di batterie, lo sviluppo di componenti e veicoli elettrici, l'ulteriore sviluppo di veicoli elettrici intelligenti piccoli e leggeri, la dimostrazione di sistemi stradali elettrificati per veicoli pesanti, lo sviluppo di sistemi elettrochimici per future batterie elettriche ad alta densità. Nell'ambito della mobilità su acqua, si ritiene che sarà necessario sviluppare la sensibilità dell'opinione pubblica sui vantaggi delle imbarcazioni elettrificate, lo sviluppo e l'impiego di nuovi materiali e tecnologie, il sostegno alla formazione e all'istruzione del personale del settore, lo sviluppo di nuovi modelli di business.

Vale la pena poi ricordare che EGVI (*European Green Vehicle Initiative*), di concerto con la Commissione Europea, sta elaborando il piano della nuova PPI denominato *eZero*. Lo slogan dell'iniziativa è “da un focus sul veicolo a un approccio di sistema”. In questo ambito il finanziamento della EC sarà correlato solo a progetti che prevedano zero emissioni allo scarico. Il piano di *eZero* è suddiviso in gruppi di lavoro: Tecnologie dei veicoli e soluzioni di propulsione per BEV e FCEV; Integrazione dei veicoli elettrici a batteria nel sistema energetico e relativa infrastruttura di ricarica; Concetti e servizi innovativi per la mobilità a zero emissioni di persone e merci; Approcci LCA e aspetti di economia circolare per una mobilità stradale sostenibile e innovativa.

### Tematiche di particolare interesse (attuale o in prospettiva) per il Paese

L'Italia ha condiviso l'orientamento comunitario teso a rafforzare l'impegno per la de-carbonizzazione dell'economia e la promozione di un patto verde con le imprese e i cittadini, che consideri l'ambiente come motore economico del Paese. La ricerca deve quindi sostenere un'ampia trasformazione dell'economia dei trasporti e della mobilità, nella quale la de-carbonizzazione, l'economia circolare, l'efficienza e l'uso razionale ed equo delle risorse naturali rappresentino insieme obiettivi e strumenti per realizzare una economia più rispettosa delle persone e dell'ambiente, in un quadro di integrazione dei mercati e con adeguata attenzione all'accessibilità dei prezzi e alla sicurezza degli approvvigionamenti e delle forniture. L'evoluzione del sistema dei trasporti e della mobilità deve essere sostenuta con attività di ricerca e innovazione che, in coerenza con gli orientamenti europei e con le necessità della de-carbonizzazione profonda, sviluppino nuove soluzioni idonee a promuovere la sostenibilità, la sicurezza, la continuità e l'economicità dei sistemi di mobilità e trasporto basati in modo crescente su energia rinnovabile in tutti i settori d'uso e favoriscano il riorientamento del sistema produttivo verso processi e prodotti a basso impatto di emissioni di carbonio.

La ricerca di base deve puntare a rendere possibile l'uso di nuovi vettori energetici basati sull'uso di biocombustibili o combustibili sintetici prodotti da fonti rinnovabili e da CO<sub>2</sub> sequestrata (*e-fuels*)<sup>32</sup>, e dell'applicazione sui veicoli di sistemi avanzati di *Energy Harvesting*, ed in particolare del fotovoltaico. Nuovi materiali e nuove tecnologie dovranno consentire l'incremento sostanziale della densità di energia e di potenza dei sistemi di accumulo, con l'obiettivo di riduzioni di costi, ingombri e pesi del sistema, puntando a soluzioni post-litio e all'ulteriore sviluppo delle tecnologie Litio 3B (*European Technology Roadmap*) con particolare attenzione allo sviluppo di elettroliti solidi.

---

<sup>32</sup> si veda anche, nel Sotto-Ambito Energetica Industriale, articolazione 5, “Mobilità a Metano, Biocombustibili ed Idrogeno”.



L'integrazione di sistemi di accumulo elettrici a bordo di tutti i mezzi di trasporto richiede lo sviluppo di metodi, algoritmi, materiali e applicazioni per il monitoraggio e la previsione dei diversi stati possibili: *State of Charge* (SOC), *State of Energy* (SOE), *State of Health* (SOH), *State of Power* (SOP), *State of Temperature* (SOT), and *State of Safety* (SOS). Per consentire l'ampio uso di fonti rinnovabili nel settore dei trasporti fino a uno scenario basato sulle RES al 100%, è necessario sviluppare sistemi di stoccaggio in grado di interagire con le reti in modo bidirezionale in un sistema *multi-energy* (MES) secondo schemi di "*Power to process*" e "*process to power*"<sup>33</sup>. I MES dovranno essere sviluppati per gestire la produzione di elettricità e idrogeno da fonti rinnovabili; interagire con le infrastrutture di rete (elettriche, termiche, idriche, gas, combustibili ecc.); soddisfare i fabbisogni termici ed elettrici; produrre vettori energetici per la mobilità (biocombustibili, elettricità, idrogeno, *e-fuel*); gestire e infrastrutture di distribuzione e l'accumulo di energia (elettricità e calore) acqua demi, idrogeno, ossigeno, SNG, CO<sub>2</sub> ecc.; integrare nuove tecnologie informatiche per agevolare la generazione distribuita, la sicurezza, la resilienza, l'efficienza energetica, nonché la partecipazione attiva dei consumatori. La ricerca dovrà sviluppare ed utilizzare metodologie di analisi avanzate utilizzando tecniche di co-simulazione e *physical modeling* (MIL, SIL, VHIL), *cloud computing* e/o di Intelligenza Artificiale (vedi Articolazione 4 "*Intelligenza artificiale l'ambiente e le infrastrutture critiche*" dell'Ambito tematico "*Intelligenza artificiale*").

Le metodologie di analisi del ciclo di vita dovranno essere integrate per valutazioni globali di Costi/ Benefici e di rischio dei nuovi prodotti e dei nuovi processi per consentire la diffusione dei processi di riciclo e di riuso che siano in grado di massimizzare i materiali recuperati in termini di purezza e ma anche di quantità, e di favorire la riconversione ecologica dei veicoli circolanti. La tecnologia e i processi di recupero dovranno essere estese anche a componenti/composti, non metallici e a scarso valore, monitorando l'intero processo e aumentando la sicurezza del sistema di riciclo, sfruttando anche tecnologie robotiche.

La collaborazione tra università, istituti di ricerca e imprese dovrà puntare allo sviluppo di architetture strutturali, piattaforme multimodali e multifunzionali per la mobilità e il trasporto specializzate per le diverse applicazioni (aeroportuale, navale, ferroviario, stradale, veicoli pesanti, *off-roads*) con propulsori e sistemi di propulsione con tecnologia ibrida (bimodale), elettrica e idrogeno. La specializzazione funzionale dovrà prevedere anche lo sviluppo di sottosistemi di bordo, di veicoli e reti per la micro-mobilità e per altre applicazioni speciali. Il comparto industriale nazionale può innovarsi ed essere competitivo anche progettando i veicoli quali elementi nativamente integrati nel sistema multimodale della mobilità. L'incrocio tra le nuove tecnologie che saranno rese disponibili, le modifiche nei comportamenti dei viaggiatori e i nuovi modelli organizzativi della mobilità possono stimolare l'innovazione industriale, determinando requisiti funzionali nuovi che si accomodano in innovativi modelli di business; le azioni di ricerca in tale senso si devono orientare verso tutte le modalità di trasporto (e la loro integrazione). A titolo di esempio, i nuovi veicoli aerei potrebbero essere caratterizzati da nuovi assortimenti in termini di capienza, velocità, autonomia (condizionata/abilitata dalle scelte propulsive ed energetiche), ma la effettiva applicabilità delle innovazioni tecnologiche introdotte è condizionata da un modello più diffuso sul territorio per la mobilità aerea, rivedendo la attuale gerarchia degli *hub* e dei livelli aeroportuali, e da una sua integrazione e sinergia, anche sul medio-corto raggio, con le altre modalità<sup>34</sup>. Similmente, nel campo automobilistico nasceranno nuovi segmenti di veicoli e fasce di mercato con ogni probabilità dedicata a soddisfare il mercato business delle grandi flotte di veicoli e della mobilità in *sharing* (modalità di ricarica e rifornimento "aziendali", raggi di azione specializzati, ecc.). Nuove opportunità e criticità dovranno essere tenute in conto anche per i veicoli destinati al trasporto pubblico su gomma, per i quali l'adeguamento tecnologico comporta l'adeguamento della produzione del servizio (si pensi alla conversione di depositi, magazzini, linee produttive, processi di ricarica e rifornimento, identificazione di tempi di recupero, tempi di giro, autonomia, ecc.).

Le attività di ricerca dovranno essere indirizzate all'integrazione di sistemi di potenza ad alta densità di energia in tutte le piattaforme, alla realizzazione di sistemi integrati di gestione dell'energia e di "*thermal management*" ad alta

<sup>33</sup> Su questo aspetto, in particolare per il settore navale, si rimanda anche al Sotto-Ambito Energetica Industriale, articolazione 5, "impatti", i primi tre punti/azioni.

<sup>34</sup> Ancora si rimanda al Sotto-Ambito Energetica Industriale, articolazione 5, "Infrastrutture per la mobilità elettrica aerea"



efficienza, allo sviluppo di componenti (sia lato veicolo sia lato infrastruttura) efficaci, compatti, affidabili ed economici, allo sviluppo di sistemi per la ricarica delle batterie in modalità V2G, allo sviluppo di sistemi innovativi di generazione, trasporto e stoccaggio dell'idrogeno. In parallelo, la crescente adozione di sensori e sistemi intelligenti e cooperativi (V2X) dovrà accelerare la transizione da un approccio di sicurezza passiva del veicolo verso protocolli di sicurezza attiva, che consentiranno di ridurre la massa dei veicoli, e con essa consumi energetici ed emissioni.

Il Programma della ricerca dovrà prevedere specifiche azioni a supporto della progettazione, da svolgere integrata coi sistemi di mobilità e facendo uso di ambienti virtuali completi (e complessi), della dimostrazione dei nuovi prodotti e dei nuovi processi per le prove in condizioni reali ed operative dei prototipi e per la loro omologazione, certificazione e pre-industrializzazione, sostenere il potenziamento e lo sviluppo delle infrastrutture innovative di ricarica delle batterie e di distribuzione dell'idrogeno generato da fonti rinnovabili, verificandone “in operando” la sicurezza dei sistemi in condizioni operative e/o di emergenza. Le attività di ricerca dovranno essere indirizzate anche alla stesura di protocolli, normative per il collaudo e la verifica dei nuovi prodotti e processi.

## Articolazione 5. Mobilità automatizzata, connessa e sicura

### Analisi del contesto, problemi e prospettive di ricerca

Nell'ultimo decennio abbiamo assistito ad una profonda innovazione nell'ambito della mobilità, dovuta all'immissione sul mercato di tecnologie abilitanti che hanno reso sempre più vicini obiettivi scientifici e applicativi orientati ad una crescente automazione della guida e della mobilità.

Le previsioni sull'evoluzione dinamica dello scenario di contesto attuale si articolano secondo due linee di tendenza parallele e non mutuamente escludentisi, una in continuità rispetto alle dinamiche degli ultimi anni e l'altra caratterizzata da potenzialità fortemente “*disruptive*”.

La prima linea di tendenza riferisce, tra l'altro, ad ulteriori avanzamenti del settore dei sistemi di ausilio alla guida (ADAS – *Advanced Driving Assistance Services* – come ad esempio parcheggio assistito, controllo adattativo della velocità, sistemi di *lane departure warning* e di *lane departure assist*, sistemi di *collision warning* e *autonomous emergency braking*), che sono una realtà ormai consolidata in veicoli di fascia medio-alta e il cui ruolo è principalmente orientato verso obiettivi di sicurezza stradale, con diminuzione del tasso di incidentalità lesiva e con protezione delle utenze deboli. A tal riguardo, oltre che incorporare sistemi ADAS avanzati sui nuovi veicoli, sarà importante sviluppare soluzioni di adeguamento o ammodernamento per le flotte circolanti, limitato a sistemi ADAS di Livello 1, con particolare riguardo ai veicoli pesanti ed ai trasporti di materiale pericoloso. Il loro utilizzo è destinato a diffondersi progressivamente, con significativo vantaggio in termini di equità, verso i veicoli di fascia meno elevata, anche sulla spinta di un eventuale progressiva imposizione di obblighi di installazione sui veicoli di nuova produzione, favorendo una graduale ma rapida sostituzione e modernizzazione della flotta dei veicoli presenti sulle reti e le infrastrutture di trasporto e/o utilizzati per i servizi di mobilità. Al crescere della penetrazione di mercato di questi sistemi si potranno avere benefici sempre più tangibili in termini di sicurezza (incidentalità lesiva e protezione attiva degli utenti deboli). Una loro maggiore diffusione e commercializzazione, insieme ai risultati di uno sviluppo orientato alla ottimizzazione delle tecnologie adottate, favorirà un decremento dei costi di produzione e un miglioramento del rapporto costi/benefici per gli utilizzatori. Ci si attende anche che gli ADAS, proprio per la loro natura fortemente orientata alla sicurezza, rimangano comunque soluzioni attive anche al crescere dell'automazione dei veicoli, con lo scopo di intervenire in caso di non funzionamento delle logiche di guida autonoma. A tal fine deve essere opportunamente sviluppato il rapporto e l'integrazione reciproca tra le soluzioni ADAS più evolute (e in particolare quelli finalizzati alla *collision avoidance*) ed i sistemi di guida autonoma. In questa stessa ottica di progressione continua si inquadra lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie di comunicazione tra veicoli (V2V) e dei veicoli con il resto del mondo (V2X), utilizzate, nella loro declinazione corrente, con lo scopo di abilitare i servizi cosiddetti C-ITS<sup>35 36</sup>(*Cooperative-Intelligent Transportation Systems*), definiti dalla omologa piattaforma europea e

<sup>35</sup> C-ITS Platform final report of January 2016.



finalizzati anche essi ad obiettivi sia di sicurezza stradale che di efficienza e sostenibilità del deflusso veicolare sulle reti di traffico. La connessione dei veicoli e delle infrastrutture e la possibilità di comunicare con esse pone problemi di *cyber-security* in parte affrontati dalla stessa piattaforma europea (lavori della fase II<sup>37</sup>). La problematica, è trasversale a tutto il sistema dei trasporti. L'argomento è trattato più diffusamente all'interno dell'area "*Sicurezza dei sistemi sociali*" dell'ambito tematico "*Cybersecurity*" e più in particolare nell'Articolazione 2 ("*Sicurezza dei sistemi cyber-fisici e delle infrastrutture di rete*"). Per le sue specificità, però, il sistema dei trasporti (veicoli, servizi e infrastrutture "*smart*") è da considerarsi particolarmente a rischio e merita quindi investimenti significativi anche con riferimento a tale tematica.

Ad un livello di ausilio alla guida più elevato degli ADAS si pongono i sistemi basati sullo sviluppo di soluzioni di guida autonoma, già in parte disponibili ed il cui costo è destinato a diminuire progressivamente grazie alla maturazione delle tecnologie alla loro base. Automobili con sistemi di guida autonoma di livello 3 e 4 (in base alla classificazione SAE<sup>38</sup> – *Society of Automotive Engineers*) o basate su sistemi di pilotaggio remoto sono previste, entro un lasso di tempo relativamente breve, nel catalogo delle principali case di produzione. In questa visione evolutiva, vista come continua e progressiva, gli impatti della crescente automazione assumono già caratteristiche di forte innovazione, non confinati al solo mondo della automobile. L'introduzione dei veicoli semi-autonomi e autonomi avrà un impatto significativo anche sui sistemi di trasporto pubblico e sul trasporto delle merci, settori in cui il costo di produzione del servizio è fortemente influenzato del fattore umano e dove i costi di investimento sui mezzi di produzione (i veicoli) sono più elevati ed in grado di giustificare più facilmente l'impiego di tecnologie e strumenti costosi. Inoltre, i veicoli autonomi a bassa velocità per il trasporto di persone e cose sono particolarmente adatti per un utilizzo in aree delimitate e/o a traffico limitato/controllato come gli aeroporti (ed altri grandi terminali di trasporto), le aree industriali, gli ospedali, i centri storici e i siti turistici. Infine, l'automazione sarà applicata, come in parte già avviene, anche per veicoli non terrestri e, in particolare, per le navi ad alta automazione che possono contribuire all'obiettivo di un'industria del trasporto marittimo più sostenibile, rappresentando una soluzione a lungo termine per ridurre le spese operative, diminuire l'impatto ambientale e creare nuove opportunità di business per gli operatori del settore.

L'affermazione dei veicoli autonomi e connessi, però, potrà essere legata anche a dinamiche più complesse, discontinue e potenzialmente "*disruptive*". Prevedere, anticipare, governare e, eventualmente, assecondare o indurre tali tendenze è fondamentale per assicurare al Paese una posizione di vantaggio competitivo nel panorama futuro. La crescente automazione della guida e il paradigma del veicolo connesso, difatti, si intersecano con le tematiche della *sharing mobility* e della *Mobility-as-a-Service* (MaaS, vedi Articolazione 3). Il risultato potrebbe essere, in un numero limitato di anni, la trasformazione di un settore economico guidato dall'industria manifatturiera in un settore a "trazione diffusa", con un'accresciuta importanza dei produttori di servizi di mobilità (che diventerebbero mercato di riferimento, con un ruolo di committenti – similmente a come avviene nell'industria ferroviaria e in quella dei veicoli per il trasporto collettivo) e, in ultima analisi, con una significativa ri-articolazione della filiera produttiva.

È fondamentale, dunque, che la ricerca sull'automazione e connessione parta dal punto di vista della mobilità e dei suoi meccanismi ed aggreghi attorno a tale punto di partenza la ricerca nel settore tecnologico e nel settore *automotive*, abilitando la trasformazione dei soggetti economici tradizionali e la creazione di nuovi soggetti economici nazionali all'interno di una filiera sostenuta da una visione e da un'innovazione tecnologica opportunamente orientate.

L'Italia ha l'occasione per spostare il proprio campo di competizione dall'innovazione tecnologica pura, nella quale sconta un ritardo ormai accumulatosi, alla realizzazione di soluzioni tecnologiche complesse ed integrate. In tale direzione è opportuno determinare un ri-orientamento dallo sviluppo di tecnologie e metodi di base, destinati tra l'altro a diminuire di costo ma anche di valore, agli sviluppi ad alto valore aggiunto, integrati in processi industriali e modelli di uso che offrano soluzioni alle esigenze di mobilità. Il compito è alla portata del Paese, a patto di entrare

---

<sup>36</sup> Annexes to the C-ITS Platform final report of January 2016.

<sup>37</sup> C-ITS Platform Phase II, final report September 2017.

<sup>38</sup> SAE J3016. (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. Document J3016\_201806. SAE International. doi:[https://doi.org/10.4271/J3016\\_201806](https://doi.org/10.4271/J3016_201806).



subito, insieme al resto del mondo, nella partita della transizione dalla guida autonoma e connessa al più ampio paradigma della mobilità autonoma e connessa.

È anche il caso di notare che, in una tale visione di sistema, automazione e connessione possono risolvere in maniera efficace e innovativa alcuni aspetti di ottimizzazione e controllo del traffico e della mobilità, sia con riferimento alle condizioni di deflusso all'interno di correnti di veicoli automatizzate o miste (controllo della frazione connessa/automatizzata di veicoli), sia con riferimento al funzionamento di reti di traffico complesse (avvicinamento tra le condizioni di ottimo di utente ed ottimo di sistema per reti di traffico e stabilizzazione delle condizioni di funzionamento). In tale ottica ricadono anche i sistemi di gestione delle flotte di veicoli autonomi e l'ottimizzazione dei servizi.

### Censimento delle ricerche in corso

La Commissione Europea ha presentato a Luglio 2018 un rapporto sulla valutazione ex-post della Direttiva 2010/40/UE relativa ai sistemi di trasporto intelligente (ITS)<sup>39</sup>. Il rapporto è stato commissionato dalla Direzione Generale MOVE a una Società indipendente e riporta i risultati ottenuti dai 28 Stati membri nel periodo 2008-2018. I risultati descritti nel rapporto fanno riferimento a cinque aspetti rilevanti: efficacia, efficienza, pertinenza, coerenza e valore aggiunto europeo e mettono in luce come il rapporto costi/benefici dei sistemi di trasporto intelligente è generalmente positivo.

Le ricerche già in corso o appena terminate relative al tema della mobilità automatizzata, connessa e sicura sono numerose e si estendono dalla scala microscopica dei singoli veicoli ad alta automazione, fino a quella macroscopica delle reti di traffico e ai sistemi integrati di mobilità, anche comprensivi di sottosistemi di comunicazione innovativi basati sulla tecnologia 5G.

Le ricerche si possono suddividere in filoni. Un possibile classificazione è la seguente:

- a) ricerche internazionali e nazionali sui veicoli terrestri intelligenti e sulla guida autonoma;
- b) ricerche internazionali e nazionali sul trasporto connesso, cooperativo e automatizzato;
- c) ricerche internazionali e nazionali sull'interazione e comunicazione tra veicoli terrestri ad alta automazione e sull'interazione e comunicazione tra veicoli e infrastruttura;
- d) ricerche internazionali e nazionali sulle navi a guida autonoma.

Nel seguito si riporta una breve descrizione dei filoni sopracitati.

#### a) Ricerche internazionali e nazionali sui veicoli terrestri intelligenti e sulla guida autonoma

In molti progetti finanziati nell'ambito dei programmi europei *Horizon 2020*, progetti anche di tipo *Interdisciplinary Training Network*, sono stati studiati sistemi ADAS di nuova generazione e metodi per la pianificazione delle traiettorie e il controllo dei veicoli autonomi e semi-autonomi in ambiti urbani ed extra-urbani. Alcuni progetti sono stati dedicati alla definizione di un quadro completo per la valutazione di soluzioni tecniche che costituiscono i sistemi di guida autonoma. Altri ancora hanno messo a punto soluzioni per incrementare l'accettazione del veicolo autonomo da parte delle diverse categorie di utenti, dai conducenti e passeggeri, agli utenti della strada vulnerabili, le cui esigenze variano notevolmente, contribuendo a ridurre il divario esistente tra tecnologia e reali esigenze dei cittadini. Esistono poi progetti e ricerche dedicati ai temi giuridici collegati con l'auto a guida autonoma e alla cosiddetta *machine ethics*. Nella sua comunicazione "*On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future*"<sup>40</sup>, la Commissione Europea ha annunciato la creazione di un gruppo di esperti proprio per affrontare le specifiche questioni etiche sollevate dalla mobilità senza conducente.

<sup>39</sup> Support Study for the ex-post evaluation of the ITS Directive 2010/40/EU, 2019-10-07.

<sup>40</sup> Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions: On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future, 17.05.2018.



Anche a livello nazionale, il PON Ricerca e Innovazione (2014-2020), il cui obiettivo è il “riposizionamento competitivo delle regioni più svantaggiate allo scopo di produrre mutamenti di valenza strutturale per accrescere la capacità di produrre e utilizzare ricerca e innovazione di qualità per l’innescio di uno sviluppo intelligente, sostenibile e inclusivo”, ha inserito tra i suoi 12 ambiti di applicazione del programma la mobilità sostenibile. Il PON Ricerca e Innovazione si sviluppa in coerenza con gli obiettivi strategici dei programmi europei Horizon 2020 e Cosme, in sinergia con la *Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente*<sup>41</sup>(SNSI) e con i programmi operativi e le strategie regionali di specializzazione intelligente. Si noti che la Strategia individua alcune aree tematiche nazionali che rappresentano i nuovi mercati di riferimento. Tra queste, insieme all’agenda digitale e alle *smart communities*, vengono esplicitamente citati i sistemi di mobilità intelligente (vedi Articolazione 3 “*Intelligenza artificiale per la società*” dell’ambito tematico “*Intelligenza artificiale*”).

#### **b) Ricerche internazionali e nazionali sul trasporto connesso, cooperativo e automatizzato**

Molti progetti europei, anche finanziati dall’ERC, si sono occupati di sviluppare metodi per sfruttare la presenza di veicoli automatizzati e connessi nel traffico eterogeneo, al fine di migliorare le condizioni del traffico in particolare nei punti deboli della rete, ad esempio in prossimità dei colli di bottiglia o dove si sono verificati incidenti. Alcuni progetti europei erano incentrati sul comportamento dei conducenti e l’accettazione del trasporto connesso, cooperativo e automatizzato da parte degli utilizzatori. Metodologie per il coordinamento dei veicoli sono state sviluppate anche nell’ambito del trasporto delle merci. Alcuni progetti, in particolare hanno sviluppato tecnologie di mobilità cooperativa, basate sulla formazione dinamica di plotoni di veicoli, al fine di ridurre il consumo di carburante e aumentare la sicurezza per il trasporto di merci. Tali progetti hanno preso spunto dagli obiettivi dell’iniziativa *European Truck Platooning Challenge*, avviata dalla Presidenza olandese dell’UE nel 2016, prima iniziativa transfrontaliera che ha coinvolto camion “intelligenti” in Europa. L’iniziativa e i vari progetti correlati hanno promosso la cooperazione europea tra produttori di camion, stati membri, fornitori di servizi logistici, operatori stradali, autorità di omologazione di strade e veicoli, istituti di ricerca e governi, ispirando la stesura della *EU Roadmap for Truck Platooning*<sup>42</sup> che ha l’obiettivo di favorire la realizzazione di sistemi di guida coordinata tra veicoli pesanti multimarca prima del 2025.

#### **c) Ricerche internazionali e nazionali sull’interazione e comunicazione tra veicoli terrestri ad alta automazione e sull’interazione e comunicazione tra veicoli e infrastruttura**

Parlando di mobilità sostenibile non si possono ignorare i vantaggi che possono derivare dall’uso congiunto di 5G e IoT (Internet of Things). In questo contesto, è attiva in Europa, l’iniziativa *5G Public Private Partnership* (5GPPP), finanziata dalla Commissione Europea proprio per sperimentare soluzioni di mobilità cooperativa, connessa e automatizzata (*Cooperative Connected and Automated Mobility*). I progetti che l’iniziativa sta promuovendo utilizzano le prime reti cellulari basate sul 5G e le tecnologie 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) per la comunicazione V2V (Veicolo a Veicolo) e C-V2X (*Cellular Vehicle-to-Everything*). I veicoli equipaggiati con tali tecnologie saranno in grado di scambiare tra di loro e con l’infrastruttura enormi quantità di dati, aumentando le loro capacità di percezione dell’ambiente e dello scenario in cui si muovono, e, conseguentemente, la loro capacità di reagire prontamente e con efficacia a fronte di situazione critiche. La sperimentazione verrà fatta sui principali corridoi autostradali europei. Tra i vari obiettivi che i progetti relativi a questo filone dovranno raggiungere vi è quello detto “*Green Driving*”, che consiste proprio nell’aumentare la sostenibilità della mobilità su ruota.

#### **d) Ricerche internazionali e nazionali sulle navi a guida autonoma**

Per quanto concerne l’ambito marittimo, va menzionata l’iniziativa AAWA (*Advanced Autonomous Waterborne Applications*), terminata nel 2017, iniziativa finanziata dall’agenzia per l’innovazione tecnologica Finlandese Tekes,

<sup>41</sup> <https://www.agenziacoesione.gov.it/s3-smart-specialisation-strategy/strategia-nazionale-di-specializzazione-intelligente/>.

<sup>42</sup> European Automobile Manufacturers Association, EU Roadmap for Truck Platooning <https://www.acea.be/publications/article/infographic-eu-roadmap-for-truck-platooning>.



volta ad esplorare i fattori economici, sociali, legali, normativi e tecnologici da affrontare al fine di rendere realtà le navi autonome. Precedentemente, dal 2012 al 2016, almeno un progetto di ricerca collaborativa (i.e. MUNIN, *Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks*) è stato cofinanziato dalla Commissione europea nell'ambito del suo Settimo programma quadro, allo scopo di definire il concetto di nave autonoma. All'epoca fu definita "nave autonoma" una nave guidata principalmente da sistemi di decisione a bordo automatizzati ma controllata da un operatore remoto in una stazione di controllo a terra. I progetti attuali, finanziati principalmente da aziende, stanno invece puntando a rivedere questa definizione promuovendo lo sviluppo, entro il 2025, di navi autonome che possano navigare, gestite a distanza, in acque internazionali. Le navi autonome potrebbero consentire viaggi più lenti, con riduzione della velocità fino al 30% e un conseguente risparmio di carburante di circa il 50%, anche tenendo conto del numero di giorni di viaggio aggiuntivi. Allungare i tempi di viaggio avrebbe un impatto negativo sui costi per l'equipaggio e sulla qualità di vita dell'equipaggio stesso. Mentre le imbarcazioni autonome potrebbero realizzare trasporti lenti senza problemi legati ai fattori umani, rendendo al contempo il trasporto marittimo più rispettoso dell'ambiente. Va inoltre detto che il Comitato per la sicurezza marittima (*Maritime Safety Committee*, MSC) nel giugno 2019 ha approvato le linee guida provvisorie per le prove sulle navi autonome marittime di superficie (*Maritime Autonomous Surface Ships*, MASS), il che conferma che il tema della guida autonoma in ambito navale è oggetto di grande attenzione. Le linee guida affermano che le prove dovrebbero essere condotte in modo tale da garantire un buon livello di sicurezza e di protezione per l'ambiente, identificando opportunamente i rischi e mettendo in atto misure per ridurre i rischi al minimo possibile.

### Analisi del documento CE Orientations e STRIA

*Connected and automated transport* è una delle sette *Road Map* indicate come priorità nella STRIA (EU's *Strategic Transport Research and Innovation Agenda*). Le analisi riportate nel seguito si riferiscono alla versione aprile 2019 del documento europeo.

La STRIA condivide con il presente documento gli obiettivi strategici di contesto alla base dello sviluppo della mobilità automatizzata e connessa. In particolare, sono esplicitamente e direttamente condivisi: il ruolo dell'automazione nei riguardi della sicurezza stradale, della efficienza del deflusso e del funzionamento delle reti di traffico, di una diversa qualità della vita per i cittadini che utilizzano i sistemi di trasporto e per i sistemi urbani nel loro complesso e, soprattutto, il ruolo particolarmente rilevante della mobilità e dei servizi di trasporto automatizzati e connessi come *driver* per lo sviluppo economico e la competitività. Tali obiettivi strategici corrispondono ai *policy objective* della STRIA elencati come: *reduction of the number and the impacts of road accidents by supporting and gradually substituting the human driver; decrease of congestion by effective use of available road capacity and increased homogeneous traffic flow; reduction of land use in cities thanks to increased use of shared vehicles and, consequently, more attractive cities for pedestrians and vulnerable road users; creation of new jobs and competitiveness, making Europe a world leader in fully automated and connected mobility systems and services.*

Con riferimento alle differenze tra il presente documento e, in particolare, l'Articolazione A5, e la STRIA è il caso anzitutto di notare che il *policy objective* STRIA "reduction of emissions due to higher energy efficiency" è traggurato nel presente documento all'interno dell'Articolazione A4 anziché dell'Articolazione A5. I *policy objective* "access to mobility for all by providing inclusive individual transport means, particularly to disabled and elderly people with reduced mobility" e "Increase of transport precision and comfort and more effective use of time during travelling" sembrano conseguenze naturali dello sviluppo della guida autonoma e connessa e non sembra quindi opportuno porli come obiettivi strategici, risultando automaticamente realizzati dallo sviluppo delle tecnologie e dei servizi.

Si noti inoltre come la STRIA declina gli obiettivi in 8 *thematic areas*, a loro volta articolate in un totale di 23 *actions*.

Alcune di queste *actions* sono tipiche di un livello comunitario che non è opportuno sovrapporre con quello nazionale. Ci si riferisce, a titolo di esempio, alla identificazione degli ODD (*Operational Design Domain*) all'interno dei quali definire le regole di comportamento dei sistemi di guida automatica.

Alcune delle *thematic areas* (e delle relative azioni) risultano orientate allo sviluppo o avanzamento in tecnologie abilitanti; si ritiene che la ricerca su questi aspetti possa essere più utilmente lasciata alle parti di PNR che se ne



occupano esplicitamente. In particolare, ci si riferisce a tematiche quali *in-vehicle enablers* (principalmente dedicate allo sviluppo di sensori e di metodologie robuste e sicure da un punto di vista informatico per i sistemi di bordo) oppure *big data and artificial intelligence* (le cui applicazioni si ritengono implicite nello sviluppo delle soluzioni di guida automatica e, con riferimento agli avanzamenti più generali, che trovano una migliore collocazione nei capitoli a ciò dedicati del PNR).

La tematica delle *physical and digital infrastructure & secure connectivity* è trattata all'interno del sotto-ambito dedicato alla mobilità sostenibile con riferimento all'Articolazione 2, dedicata alle infrastrutture di trasporto. La tematica della *vehicle validation* è esplicitamente considerata sia in questo documento che nella STRIA, con declinazioni sostanzialmente sovrapponibili. La tematica degli *shared, connected and automated mobility services for people and goods* è anche essa considerata in maniera esplicita e sovrapponibile in entrambi i documenti.

### Tematiche di particolare interesse (attuale o in prospettiva) per il Paese

Alla luce delle analisi di contesto e dell'analisi delle ricerche in corso e del loro stato di avanzamento, nonché di considerazioni sullo stato di maturità tecnologica delle principali tecnologie collegate alla mobilità automatizzata e connessa, si ritiene di potere identificare le tematiche di particolare interesse come segue:

- a) tecnologie e soluzioni di sicurezza attiva e preventiva;
- b) sicurezza dei veicoli del trasporto pubblico e del trasporto pesante;
- c) mobilità a crescente automazione (verso la guida autonoma), inclusi sistemi di TPL ad alta automazione per il trasporto flessibile di persone e cose;
- d) modellazione del comportamento degli utenti in presenza di nuove tecnologie e forme di mobilità;
- e) ottimizzazione/controllo della mobilità e del deflusso in reti di traffico a crescente automazione e connessione;
- f) veicoli semi-autonomi e autonomi per il trasporto pubblico;
- g) *testing*, validazione, omologazione di veicoli e reti a crescente automazione (laboratori, *proving ground*, strade pubbliche – tecnologie, strumenti ed aspetti normativi);
- h) veicoli autonomi non terrestri per la mobilità di persone e trasporto delle merci;
- i) cybersecurity delle soluzioni di guida autonoma e connessa.

#### a) Tecnologie e soluzioni di sicurezza attiva e preventiva

La tematica è finalizzata a studiare l'impatto in termini di utilizzo di sistemi ADAS dello sviluppo di tecnologie di sensori e di logiche di controllo sempre più efficienti e meno costose.

Occorre sviluppare e validare strumenti in grado di valutare schemi di ampliamento della obbligatorietà di soluzioni ADAS e/o di incentivazione/sussidio alla diffusione. Sono richiesti modelli in grado di valutare i comportamenti dei viaggiatori in termini di scelte di mobilità e viaggio in funzione della disponibilità di mercato e del costo di veicoli con sistemi avanzati di assistenza alla guida, nonché di stimare e valutare il rapporto costi/benefici derivante dalla estensione dell'obbligo di adozione e/o dal sovvenzionamento/incentivazione finalizzato alla diffusione.

Da un punto di vista della ingegneria di veicolo e della progettazione ed integrazione di prodotto è necessario realizzare avanzamenti nella direzione della *virtual testing* delle soluzioni; occorre dimostrare la validità di opportune *toll-chain* per la progettazione e validazione di prodotto in grado di applicare un approccio olistico (integrazione tra logiche di controllo/assistenza, rappresentazione della dinamica del veicolo, delle infrastrutture, del traffico della comunicazione V2X).

Ulteriori aspetti discriminanti della ricerca in campo ADAS sono: la considerazione della dispersione dei comportamenti e dell'interazione di diversi guidatori, rappresentativi dell'assortimento reale della popolazione italiana, eventualmente divisa per aree geografiche e/o per segmenti di utenza, ivi comprese le persone anziane o con esigenze speciali; l'integrazione tra i sistemi ADAS ed i sistemi di più avanzata automazione della guida, in una logica di affidamento ai primi delle funzioni di intervento di emergenza e sicurezza; lo sviluppo di logiche di controllo ed assistenza alla guida in grado, a parità di sicurezza, di avere anche effetti positivi in termini di deflusso di traffico.



Un'area di applicazione dei veicoli ad alta automazione (Livello 4 SAE) riguarda i veicoli specializzati per il TPL, capaci di circolare in aree riservate quali le ZTL, a bassa velocità e in sicurezza, per il trasporto flessibile di persone e cose. Sperimentazioni iniziali sono in atto: occorre che le sperimentazioni e le dimostrazioni concrete vengano proseguite e potenziate.

#### **b) Sicurezza dei veicoli del trasporto pubblico e del trasporto pesante**

Questa tematica di ricerca prevede la realizzazione di Field Operational Test (FOT) per l'analisi degli effetti sulla sicurezza di soluzioni ADAS per flotte commerciali, di veicoli pesanti e di veicoli per il TPL e ricerche a carattere prenormativo per una roadmap di ampliamento delle soluzioni obbligatorie.

Le azioni sono tese a: verificare l'impatto sulla sicurezza dei sistemi di assistenza alla guida di prevista nuova introduzione obbligatoria dal 2022; verificare opportunità e convenienza di nuove prescrizioni obbligatorie e di normative più stringenti per la sicurezza dei mezzi di trasporto pubblico che si trovano ad operare in ambienti complessi come quelli cittadini

#### **c) Mobilità a crescente automazione (verso la guida autonoma), inclusi sistemi di TPL ad alta automazione per il trasporto flessibile di persone e cose**

Questa tematica di ricerca si riferisce allo sviluppo di sistemi di automazione, non solo dal punto di vista della guida ma anche della fruizione automatizzata di sistemi di mobilità complessi. La ricerca deve essere in grado di dimostrare gli effetti su rete dell'automazione della mobilità e/o di sviluppare prodotti e servizi in grado di introdurre nei sistemi di mobilità livelli di automazione crescente. Gli aspetti da considerare comprendono: lo sviluppo di logiche di automazione (robuste rispetto alla scarsa prevedibilità delle condizioni di traffico e deflusso); l'integrazione a bordo veicolo delle logiche e lo sviluppo di soluzioni integrate a livello di veicolo, la gestione di flotte automatiche di veicoli e la ottimizzazione dei servizi, l'integrazione tra sistemi di automazione della guida e sistemi di instradamento e navigazione individuale/personale, l'integrazione tra flotte automatizzate e servizi non automatizzati di trasporto, l'automazione dei nodi di *park-and-ride*, di interscambio modale, di *ride-sharing* e *bike sharing*, ecc.

Afferiscono a questa tematica i sistemi di supporto alle decisioni che, dal punto di vista del decisore pubblico o privato, permettano di predire lo stato di sistemi e reti di trasporto automatizzate nonché di trattare in simulazione e valutare gli effetti di percorsi di integrazione/convergenza tra automazione della mobilità, economia dello sharing e sviluppo di soluzioni MaaS (*Mobility as a Service*).

L'ulteriore sviluppo e la diffusione di sistemi di *platooning* rientrano in questa area tematica.

#### **d) Modellazione del comportamento degli utenti in presenza di nuove tecnologie e forme di mobilità**

La diffusione di nuove tecnologie/forme di mobilità potrà portare a problemi sia legati all'accettazione che alla (inaspettata) reazione da parte degli utenti. È possibile che possa nascere una fisiologica iniziale riluttanza verso una nuova e così diversa tecnologia (come osservato in altri settori tecnico-scientifici) che andrà prima studiata e poi "accompagnata" nel transitorio. Inoltre, la circolazione contemporanea di veicoli a differente livello d'automazione potrà portare a una crescita degli incidenti minori legati alla reazione degli utenti nei confronti di veicoli autonomi/infrastrutture connesse. Nasce l'esigenza della modellazione degli user behaviors nell'ambito delle nuove tecnologie/forme di mobilità, al fine di prevedere e quindi anticipare (e governare) sia l'eventuale riluttanza verso queste nuove tecnologie, sia gli eventuali (oggi inaspettati) comportamenti inattesi e/o pericolosi (es. non razionali) da parte degli utenti.

#### **e) Ottimizzazione/controllo della mobilità e del deflusso in reti di traffico a crescente automazione e connessione**

Questa tematica di ricerca riferisce alla possibilità di utilizzare la automazione e connessione dei veicoli allo scopo di controllare le condizioni di deflusso sui rami delle reti e/o lo stato complessivo di una intera rete di traffico veicolare. Le soluzioni prospettate devono tenere conto della varietà del parco veicolare circolante, tipicamente tale da



determinare condizioni di *mixed-traffic* con la coesistenza di veicoli a diversi livelli di automazione. Le soluzioni devono tenere conto della soddisfazione degli utenti del sistema, in maniera da contemperare condizioni di ottimizzazione del traffico e delle reti con condizioni di massimizzazione della utilità individuale dei viaggiatori. Le soluzioni devono riferire esplicitamente alla possibilità di controllare in maniera centralizzata, distribuita o mista singoli veicoli o insiemi di veicoli. Le soluzioni possono essere sviluppate su reti locali (es. singole intersezioni o porzioni di reti più ampie) o su area vasta. Le soluzioni devono tenere conto dell'integrazione con sistemi di controllo del traffico tradizionali (es.: sistemi di semaforizzazione) e della possibilità di utilizzare le comunicazioni tra veicoli, tra veicoli e infrastrutture e dei veicoli verso il *cloud*.

Le ricerche possono utilmente occuparsi anche degli aspetti tecnologici relativi alla realizzabilità delle soluzioni e degli aspetti legati all'implementazione pratica, agli aspetti legali ed ai profili di responsabilità su rete, anche con riferimento a considerazioni di sicurezza ed incidentalità.

Rientra in questa tematica lo sviluppo e diffusione di piattaforme per servizi di tipo C-ITS (*Cooperative – Intelligent Transportation Systems*) che superino le sperimentazioni al momento soprattutto tecnologiche e finalizzate al *testing* delle tecnologie di comunicazione, per esplorare la messa a punto di soluzioni in grado di realizzare il *deployment* di servizi.

#### f) Veicoli semi-autonomi e autonomi per il trasporto pubblico

In considerazione della particolare struttura organizzativa, degli interessi e delle opportunità economiche in gioco e delle condizioni di deflusso su rete secondo itinerari fissi, a tratti protetti e comunque noti a priori (anche ove pianificati in maniera adattiva), i sistemi di trasporto pubblico potrebbero essere i primi ad essere interessati da una piena maturità delle soluzioni di mobilità automatizzata. La ricerca in questo settore deve essere focalizzata sullo sviluppo di veicoli, di sistemi di controllo ed automazione, di modelli d'uso e di strumenti modellistici ed operativi per l'inserimento dei veicoli e delle soluzioni automatizzate in esercizio (produzione del servizio). Gli aspetti relativi al dimensionamento dei servizi devono essere tenuti in conto, così come quelli relativi all'effetto dell'automazione in termini di vantaggi per gli utenti, miglioramento della *user experience*, variazione dei tempi di viaggio, modifiche delle accessibilità attive e passive delle aree interessate, effetto sulla soddisfazione dei viaggiatori, attrattività e probabilità di scelte e gradimento del servizio, variazione dei costi di produzione e vendita del servizio, ecc. La fattibilità delle soluzioni deve essere dimostrata almeno in simulazione e con approcci di *virtual validation* che tengano conto in maniera olistica di tutte le dimensioni possibili (veicolo, logica di controllo, servizio, esercizio, scelta ed utilizzo da parte degli utenti, tempi di spostamento, ecc.).

#### g) Testing, validazione, omologazione di veicoli e reti a crescente automazione (laboratori, proving ground, strade pubbliche – tecnologie, strumenti ed aspetti normativi)

Il percorso d'innovazione che porta le soluzioni sui veicoli e poi da questi sulle strade e poi ancora all'interno dei sistemi di mobilità è tutto da esplorare; molta ricerca deve essere dedicata alle modalità di *testing* e di validazione in ambienti di mobilità complessi, fino ad arrivare alle tematiche relative ai metodi, agli strumenti ed alle norme tecniche di prova ed omologazione di veicoli a guida autonoma ed agli aspetti legislativi, regolatori ed assicurativi relativi agli schemi di responsabilità da applicare in condizioni di incidenti e danni a cose e persone in caso di veicoli autonomi e connessi. Mucha ricerca deve essere dedicata all'integrazione delle soluzioni tecnologiche all'interno dei prodotti industriali, alle modalità di progettazione di tale integrazione e alle modalità di *testing* e di validazione, fino ad arrivare alle tematiche di prova ed omologazione. Occorre predisporre strumenti metodologici e operativi per: definire le modalità di costruzione di scenari di validazione/*testing* per le soluzioni integrate di guida autonoma; identificare casi di uso rappresentativi e caratterizzare parametricamente le condizioni di *testing*; individuare le metodologie di progettazione degli esperimenti e controllare la complessità combinatoria; sperimentare e definire campi di utilizzo per modalità diverse di validazione, confrontando tecniche "per scenario" rispetto a tecniche "per simulazione continua", permettendo di assicurare l'esplorazione delle condizioni significative di *testing* ai fini della valutazione della sicurezza e dell'efficienza rispetto al deflusso; identificare gli indicatori di risultato (prestazione dei sistemi e valutazione delle soluzioni); progettare strumenti integrati di *testing* in grado di utilizzare nel campo più opportuno ambienti virtuali e modelli, ambienti controllati, ambienti protetti, ambienti reali e *living labs*; sviluppare metodologie



che permettano di tenere conto in fase di progettazione/validazione delle reazioni dei “guidatori” umani, sia per risolvere le problematiche connesse con le fasi di non completa automazione, sia per risolvere le condizioni di presenza nelle correnti di traffico di veicoli automatizzati e manuali (o comunque con grado di automazione disomogeneo – condizioni di *mixed-traffic*).

#### h) Veicoli autonomi non terrestri per la mobilità di persone e trasporto delle merci

Questa tematica di ricerca è relativa allo sviluppo di veicoli (non terrestri) e di sistemi, complessi e isolati (es. navi da trasporto merci e passeggeri), alla realizzazione di studi e prototipi (sensori, attuatori e orchestratori), alla definizione di aspetti di regolamentazione e, infine, ove possibile, alla sperimentazione sul campo. La tematica comprende le ricerche necessarie in termini di raccolta, gestione, ottimizzazione e impiego nell’ambito di strumenti di diagnostica, supporto alle decisioni, e di ottimizzazione dei processi di big data a bordo di navi in navigazione, fuori dalle aree di coperture di rete e in diverse condizioni di connessione terra-bordo.

#### i) Cybersecurity delle soluzioni di guida autonoma e connessa

L’analisi delle funzionalità e della capacità di connettività relativamente agli aspetti di cybersecurity potranno produrre soluzioni innovative in questo ambito, rendendo la guida autonoma e connessa veramente praticabile. I risultati produrranno informazioni su requisiti di sicurezza e protezione, costi per la cybersecurity, costi di manutenzione e mantenimento dei dispositivi di sicurezza. La tematica deve essere trattata coerentemente e sinergicamente con l’area “*Sicurezza dei sistemi sociali*” dell’ambito tematico “*Cybersecurity*” (Articolazione 2 “*Sicurezza dei sistemi cyber-fisici e delle infrastrutture di rete*”<sup>43</sup>).

### Articolazione trasversale. Cross-cutting actions

In parallelo con le articolazioni di carattere verticale, caratterizzate da obiettivi definiti e relative metodologie e problematiche, sono individuabili diversi temi di carattere trasversale, comuni a più delle articolazioni già definite, ed in molti casi di interesse anche per altre linee del PNR. Tra questi, vanno menzionati tutti quelli che impattano sulla strutturazione di reti ed infrastrutture di ricerca, laboratori nazionali, grandi progetti interdisciplinari e progetti pilota, nonché quelli collegati al “Capitale umano” in termini di organizzazione e formazione, sulla vasta area del trasferimento tecnologico e dell’innovazione nelle sue varie accezioni (brevetti, *Open Innovation*, *start-up*, *spin-off*, ...), e sul terreno dell’etica.

Inoltre, in considerazione dell’elevata dinamicità delle trasformazioni in atto nel settore della mobilità sostenibile, è necessario che il Programma Nazionale di Ricerca sia basato sull’attuazione di bandi tematici per i centri di ricerca e l’università con una più sostanziale e periodica forma di finanziamento per la ricerca di base e applicata. L’intera procedura che porta dalla pubblicazione di un bando al finanziamento dei progetti vincenti dovrebbe ricalcare i passi dell’analogica procedura seguita dalla Commissione Europea; si fa particolare riferimento alla gestione della valutazione (in una sola fase), all’assenza di contrattazione e soprattutto al concetto europeo del “*time to grant*”, ossia la garanzia del tempo massimo che può intercorrere dalla data di scadenza di un bando e la data della firma del contratto per i progetti ammessi al finanziamento. Inoltre, sarebbe opportuno aprire la partecipazione ai progetti anche a soggetti non italiani, senza beneficio economico per gli stessi. Infine, la periodicità di pubblicazione dei bandi e i relativi budget dovrebbero essere noti a priori e con adeguato anticipo, ancora in analogia con il sistema europeo della ricerca.

Le crossing-cutting actions dovrebbero essere orientate verso quattro obiettivi fondamentali:

- a) promozione di iniziative di ricerca e sviluppo precompetitivo (RA – *Research Actions*) finalizzate ad ampliare e diffondere l’innovazione;
- b) realizzazione infrastrutture di ricerca concentrate e a rete (RI – *Research Infrastructures*);

<sup>43</sup> Si rinvia a quanto riportato nel *Libro Bianco* prodotto nel 2018 dal Cybersecurity National Lab nell’ambito delle attività del CINI: <https://www.consortio-cini.it/images/Libro-Bianco-2018.pdf>.



- c) crescita di competenze e capitale umano (RC – *Research Competences*);
- d) coordinamento dell'azione istituzionale nel settore e promozione dell'applicazione e diffusione dell'innovazione (RD – *Research Deployment*).

### RA – Research Actions trasversali

L'obiettivo è perseguito attraverso azioni di finanziamento di grandi Progetti-Obiettivo Nazionali e trasversali (sul modello delle MOIP) in settori strategici per la mobilità del futuro. I bandi devono prevedere la realizzazione di attività di ricerca di base e industriale ed essere indirizzati ad aggregazioni di soggetti di ricerca in reti ampie e diffuse territorialmente, in grado di adottare approcci cooperativi ed aperti alla produzione di conoscenza ed innovazione e con il coinvolgimento del mondo industriale e delle pubbliche amministrazioni in funzione di sperimentazione e sviluppo pre-commerciale e pre-competitivo.

Ci si attende almeno una call nazionale su base competitiva per ogni anno, con una significativa riserva finanziaria per attività di promozione di progetti o parti di progetti presentati da giovani ricercatori. Si ritiene essenziale assicurare una dotazione finanziaria che permetta un tasso di successo nella presentazione e finanziamento di proposte non inferiore ai tassi medi tipicamente riscontrati nella programmazione Horizon 2020.

I progetti devono comprendere azioni relative ad almeno 3 delle 5 articolazioni del sottomobilità della mobilità sostenibile. I progetti devono essere orientati al risultato e permettere di raggiungere, nel loro complesso, i seguenti due obiettivi:

- diffusione di piattaforme e servizi MaaS in almeno 5 aree metropolitane italiane e 10 territori a vocazione turistica, con utilizzo da parte di almeno il 10% della popolazione interessata;
- progetti per l'accessibilità e l'inclusione delle aree a domanda debole.

### RI – Research Infrastructures

L'obiettivo è perseguito attraverso la realizzazione di infrastrutture di ricerca e la creazione di una rete di laboratori congiunti pubblico-privati per il trasferimento tecnologico. Le azioni sono:

1. Istituire *Joint-Research-Labs* (JRL) sulle cinque tematiche/articolazioni della mobilità sostenibile, intesi come completamento ed integrazione funzionale di laboratori di ricerca e sperimentazione esistenti in università e centri di ricerca pubblica con laboratori di innovazione e sviluppo esistenti in grandi, medie e piccole aziende ed in centri di ricerca privati; i JRL sono immaginati con funzione di servizio verso il tessuto aziendale, economico e istituzionale, realizzando modelli aperti di accesso alle competenze ed attrezzature in essi contenuti; il supporto finanziario è da dedicare in piccola parte ad infrastrutture aggiuntive ed attrezzature per la messa in rete e completamento dei laboratori esistenti e in parte più consistente orientato al supporto di competenze e risorse umane necessarie per il funzionamento dei JRL (ricercatori a tempo determinato di tipo A e B, tecnici laureati di elevata professionalità, ecc.);
2. Finanziare bandi per il potenziamento infrastrutturale, finalizzati alla promozione dell'insediamento in Italia di nuove infrastrutture di ricerca a prevalente natura pubblica ed al collegamento con la rete dei JRL;
3. Realizzare "*Living Lab*", per abilitare la sperimentazione di tecnologie di frontiera e di modelli di accettabilità per l'utente, in contesti operativi, con il coinvolgimento di tutti gli attori chiave (cittadini, operatori di trasporto pubblico e privato, merci e passeggeri) e verificando integrabilità e interoperabilità con infrastrutture e dati esistenti;
4. Realizzare un Centro di Competenza Nazionale per la guida connessa e autonoma, collegato con i JRL realizzati con riferimento all'articolazione della mobilità automatizzata e connessa e in grado di accedere ed utilizzare in maniera organica i Living Lab per la sperimentazione di soluzioni innovative e per la prova in vivo – oltre che in laboratorio e in sede protetta – di soluzioni di automazione e connessione. Dovranno anche essere esplorate e proposte, con il coinvolgimento delle Istituzioni competenti (es.: Ministero Infrastrutture e Trasporti e sue articolazioni), soluzioni per la verifica delle prestazioni e della sicurezza dei veicoli autonomi.



Si auspica una dotazione finanziaria che permetta la realizzazione di laboratori, centri, infrastrutture e reti di infrastrutture in grado di competere a livello europeo e globale. Con attenzione alla domanda di mobilità si suggerisce la realizzazione di un archivio/infrastruttura informativa congiunta delle fonti primarie di dati sulla mobilità e il relativo impatto ambientale raccolti da Ministeri, Istat, enti di ricerca, Enti Territoriali e Locali, attori privati. Più in generale, si auspica che le infrastrutture di ricerca siano a servizio della comunità scientifica interdisciplinare per la mobilità sostenibile e di piattaforme di cooperazione, favorendo lo sviluppo di banche dati accessibili e integrate sulla mobilità e di tecniche di *Big data analytics*.

## RC – Research Competences

In Italia esiste una forte carenza di capitale umano con preparazione tecnico-scientifica e per il 30% delle imprese italiane operanti nell'ambito della mobilità questo rappresenta il principale ostacolo all'innovazione<sup>44</sup>, ben al di sopra della media UE e con evidenti ricadute negative sul Paese. È quindi necessario mettere in atto meccanismi di formazione e accompagnamento del ricercatore e del tecnologo lungo tutte le diverse fasi del suo lavoro, potenziando la sua autonomia progettuale, stimolandone l'intraprendenza e il pensiero imprenditoriale, spingendolo a comprendere e a comunicare l'impatto della sua ricerca sulla società.

Un ampio set d'azioni strategiche è individuabile, per formare, potenziare, e attrarre i migliori ricercatori, rendendoli protagonisti dell'innovazione e del trasferimento di conoscenza dal sistema della ricerca alla società nel suo complesso.

L'obiettivo è perseguito con il finanziamento della crescita di competenze e capitale umano attraverso le seguenti azioni:

- finanziamento di corsi di dottorato nazionali nell'ambito delle 5 tematiche esposte; (attivazione di almeno 5 cicli triennali di dottorato per almeno 30 borse di dottorato a ciclo in varie sedi universitarie geograficamente distribuite sul territorio nazionale); una parte non trascurabile dell'attività di tali dottorandi dovrebbe svolgersi nei JRL;
- potenziamento e supporto di ricercatori italiani che intendono partecipare a bandi ERC con proposte nell'ambito delle tematiche della mobilità sostenibile (finanziamento di *voucher* per l'acquisto di servizi di agenzie selezionate e qualificate di promozione e facilitazione dell'accesso alla ricerca finanziata su base competitiva) e creare le condizioni affinché un numero crescente dei vincitori nei bandi dell'ERC vengano (o rimangano) a svolgere la loro ricerca nelle università o negli EPR italiani;
- finanziamento degli strumenti per il rientro dall'estero di docenti e ricercatori attivi nelle sei tematiche individuate (almeno 10 posizioni/anno per 5 anni);
- finanziamento della mobilità nazionale di docenti e ricercatori finalizzata a favorire la creazione di poli di ricerca specializzati sulle 5 Articolazioni proposte nel presente documento;
- sviluppare strumenti per agevolare l'ingresso di dottori di ricerca nell'industria (*Doctoral placement*); anche attraverso agevolazioni fiscali, presso aziende e *start-up* l'inserimento nel proprio organico di ricercatori e dottori di ricerca;
- verificare il potenziale di trasferibilità industriale delle idee e della conoscenza sviluppata dai ricercatori italiani, attraverso lo strumento del *Proof of concept*;
- potenziare e semplificare gli strumenti per le "chiamate dirette" di ricercatori e professori all'estero, favorendone un ingresso (o un rientro) nelle Università o EPR;
- promuovere finanziamenti destinati a docenti e ricercatori con consolidata esperienza nella conduzione di programmi di ricerca nazionali o internazionali nell'ambito delle tematiche della mobilità sostenibile, per consolidare gruppi particolarmente creativi nella scelta dei temi di ricerca o negli approcci metodologici e aderenti ai principi della ricerca responsabile.

Ulteriori azioni al livello di formazione del capitale umano sono:

---

<sup>44</sup> JRC *Technical Report 2019*, JRC116565, doi:10.2760/581596.



- potenziare l’offerta in ambito Alta Formazione, rafforzandola sugli aspetti di interdisciplinarietà, intersectorialità e internazionalizzazione, al fine di incrementare la mobilità e attrarre i migliori ricercatori da altri paesi;
- promuovere la trasversalità dei gruppi di ricerca e dei singoli ricercatori verso studi interdisciplinari che superino i confini dei “Settori scientifico-disciplinari”: questo è particolarmente importante in considerazione del progresso e dei grandi cambiamenti che caratterizzano la mobilità (ICT, Impresa 4.0, automazione, elettrificazione, cambiamenti nei comportamenti di trasporto e sociali);
- aumentare l’interazione tra Università ed industria con l’erogazione di moduli didattici tenuti da esperti dell’industria, anche prevedendo finanziamenti ad hoc;
- potenziare l’offerta di lauree professionalizzanti e inter-settoriali nei settori dell’ingegneria, dell’energia e dei trasporti;
- rendere più stretto il rapporto scuola/università e industria per accelerare la maturazione dei giovani ed il contatto con il mondo lavorativo: gli strumenti possono essere l’apprendistato formativo, seminari, visite aziendali, laboratori congiunti università industria (JRL – Joint-Research-Labs) e svolgimento di progetti ad alto contenuto tecnologico da parte degli studenti universitari;
- sostenere la formazione tecnica aziendale orientata ai dipendenti delle industrie del settore mobilità, per integrare conoscenze strategiche rispetto alle nuove tecnologie e aumentare il grado di consapevolezza rispetto all’evoluzione del settore (i.e., Formazione Corporate, anche “a richiesta”);
- promuovere attività di orientamento volte a studenti delle scuole secondarie per favorire la “public awareness” verso la mobilità sostenibile e le corrispondenti traiettorie di ricerca.

### RD – Research Deployment

L’obiettivo è perseguito attraverso azioni condivise con altri dicasteri (principalmente Sviluppo Economico e Infrastrutture e Trasporti, Ambiente); le azioni comprendono:

1. forme di defiscalizzazione per le aziende che investano in ricerca e che favoriscano un *turn over* di personale in tale settore;
2. finanziamento della partecipazione delle istituzioni e di gruppi di esperti nazionali ai tavoli di lavoro comunitari e internazionali sulle tematiche della mobilità sostenibile (es.: STRIA, C-ITS platform, ecc.);
3. finanziamento di strumenti quali il *Precommercial Procurement* e gli Appalti Pubblici di Innovazione e realizzazione di *living-lab* finalizzati al *deployment* di soluzioni nell’ambito dei temi della mobilità sostenibile;
4. promuovere la diffusione della cultura della mobilità sostenibile e la coscienza del necessario aggiornamento di competenze esistenti, con l’obiettivo di sviluppare una nuova generazione di professionisti della mobilità capace di conseguire i nuovi paradigmi del settore e di aggiornare le competenze di quanti già attivi nel settore (long-life learning).

Tutte queste ipotesi dovranno essere realizzate attraverso un efficace coordinamento delle competenze e una periodica interconnessione tra i Dicasteri, le istituzioni scientifiche nazionali e il tessuto industriale, mediante l’istituzione di commissioni interdisciplinari e network tematici, consentendo la realizzazione di programmi di *capacity building* con una forte impronta interdisciplinare.

Ulteriori azioni sono necessarie in termini di trasferimento di conoscenze e di crescita della cultura e della competenza nel settore. La rapida evoluzione degli scenari connessi alla mobilità sostenibile e l’integrazione crescente tra ricerca e applicazioni industriali rendono urgente un cambio di passo sul fronte del trasferimento tecnologico, da attuare in più direzioni. In questo contesto il recente completamento del processo di formazione dei *Cluster Tecnologici Nazionali*, potenziali punti di incontro tra domanda ed offerta d’innovazione, contribuisce a creare le condizioni per migliorare il coordinamento delle politiche di sostegno alla ricerca industriale e della collaborazione pubblico-privato. Obiettivi quali l’avanzamento della conoscenza e il trasferimento tecnologico potranno essere raggiunti nel:



- diffondere la cultura della protezione della proprietà intellettuale (IPR) a tutti i livelli della formazione scolastica (non solo tecnico-scientifica) e universitaria (non solo economica e ingegneristica) e nell'industria (specie per le PMI), per portare il paese ad allinearsi ai principali competitor internazionali;
- formare competenze complementari per la gestione di progetti complessi;
- creare partenariati nazionali ampi in grado di sensibilizzare il sistema industriale, quello della ricerca e della formazione, sviluppando specifici piani di investimento;
- coordinare e promuovere la partecipazione ai bandi di finanziamento europeo;
- allineare/coordinare le diverse forme di finanziamento riducendo la frammentazione, prevedendo azioni di governance per i diversi strumenti che garantiscano le linee di indirizzo, coordinamento, monitoraggio e valutazione di impatto delle politiche;
- formare attitudini all'auto-imprenditorialità (*spin-off* e *start-up* innovative) attraverso moduli di insegnamento trasversali nelle università e nei corsi di dottorato, non esclusivamente per l'ambito economico e ingegneristico;
- consolidare e pubblicizzare il ruolo dell'Anagrafe Nazionale delle Ricerche prevedendo l'accesso e la divulgazione dei risultati delle ricerche verso il sistema industriale e la società, per sensibilizzare l'opinione pubblica sul contributo della ricerca e sull'utilizzo delle risorse pubbliche;
- favorire e supportare *spin-off* e *start-up* innovative come vettori del trasferimento tecnologico, anche attraverso l'organizzazione di eventi formativi e divulgativi e l'incontro con potenziali finanziatori privati;
- supportare la partecipazione all'elaborazione delle normative nazionali ed europee in ambito di certificazione ed omologazione per favorire il trasferimento tecnologico di innovazioni sui veicoli e sulle flotte esistenti;
- promuovere la partecipazione attiva alla costituzione di strumenti come i "Living Lab", per abilitare la sperimentazione di tecnologie di frontiera e di modelli di accettabilità per l'utente, in contesti operativi, con il coinvolgimento di tutti gli attori chiave (cittadini, operatori di trasporto pubblico e privato, merci e passeggeri) e verificando integrabilità e interoperabilità con infrastrutture e dati esistenti;
- favorire misure come gli Appalti Pubblici di Innovazione in grado, da un lato, di rafforzare la collaborazione pubblico-privata nello sviluppo di soluzioni innovative e, dall'altro, di stimolare l'innalzamento/evoluzione della domanda pubblica di innovazione;
- supportare la partecipazione ai *Joint-Research-Labs* (JRL);
- promuovere la partecipazione ai grandi progetti grandi Progetti-Obiettivo Nazionali e trasversali.



## Analisi dei livelli di TRL delle ricerche in corso per le articolazioni individuate

### ARTICOLAZIONE 1

Tecnologie e ambiti di lavoro da valutare		Fascia di MATURITÀ iniziale			Fascia di MATURITÀ intermedia			Fascia di MATURITÀ avanzata			Livelli di capacità (ambito non tecnologico)		
		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9	di analisi e comprensione dei fenomeni	di validazione su dati sperimentali (metodi e tecniche comprovate)	di applicazione a casi reali
<b>domanda di mobilità: analisi delle scelte modali</b>	Analisi dei costi e dell'elasticità della domanda di trasporto e degli effetti di sostituzione												X
	Analisi sulla percezione dei costi di trasporto										X		
	Analisi degli effetti di valori, atteggiamenti ed abitudini sulle scelte modali										X		
	Analisi degli effetti dei cambiamenti di contesto (struttura urbana ed ambiente costruito, culture locali, politiche) nelle trasformazioni modali											X	
<b>domanda di mobilità: auto-dipendenza</b>	analisi dell'autodipendenza e la sua relazione con l'aumento dell'uso del suolo e dei consumi energetici										X		
	analisi dei vantaggi di club e rete per l'autodipendenza										X		
	analisi dell'automobilità											X	



<b>domanda di mobilità: relazione tra mobilità, accessibilità e rischi di esclusione sociale</b>	analisi del capitale di mobilità (motilità)				X		
	analisi delle relazioni tra dinamiche socio-demografiche e domanda di mobilità (invecchiamento, ...)				X		
	analisi dell'effetto combinato delle variabili strutturali e individuali nei processi di esclusione sociale legati alla mobilità e ai trasporti					X	
Domanda di mobilità: politiche e pianificazione per la mobilità sostenibile a livello urbano e metropolitano							X (casi pilota)
Tecnologie e soluzioni data-driven e model-based nel monitoraggio e governo della mobilità				X			X
Tecnologie e soluzioni data-driven e model-based per lo sviluppo di servizi di mobilità flessibili e puntuali				X			X
Tecnologie e soluzioni data-driven e model-based per la mobilità di persone anziane e persone con disabilità.			X			X	
Tecnologie e soluzioni data-driven e model-based per la valutazione dell'impatto della mobilità in caso di emergenze sanitarie su scala globale		X			X		



## ARTICOLAZIONE 2

Tecnologie e ambiti di lavoro da valutare	Fascia di MATURITÀ									Livelli di capacità (ambito non tecnologico)		
	iniziale			intermedia			avanzata			di analisi e comprensione dei fenomeni	di validazione su dati sperimentali (metodi e tecniche comprovate)	di applicazione a casi reali
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9			
Progettazione integrata delle infrastrutture e ottimizzazione dei sistemi infrastrutturali esistenti (utilizzo di nuove tecnologie e nuovi modelli di progettazione e simulazione)					X							
Infrastrutture a ridotto impatto ambientale: progettazione, manutenzione e utilizzo		X										
Gestione del rischio infrastrutturale dovuto allo stato di invecchiamento e manutenzione					X							
Resilienza dei sistemi e reti infrastrutturali e protezione rispetto agli eventi estremi		X										
Trasformazione digitale delle infrastrutture e smart infrastructures		X										
Adeguamento tecnologico e funzionale dei terminali e nodi di trasporto e logistici		X										
Cooperative-Intelligent Transportation Systems					X							
Mobility as a Service come strumento per pianificazione e controllo della mobilità					X							
Freight and Logistics as a Service		X										



### ARTICOLAZIONE 3

Tecnologie e ambiti di lavoro da valutare		Fascia di MATURITÀ iniziale			Fascia di MATURITÀ intermedia			Fascia di MATURITÀ avanzata			Livelli di capacità (ambito non tecnologico)		
		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9	di analisi e comprensione dei fenomeni	di validazione su dati sperimentali (metodi e tecniche comprovate)	di applicazione a casi reali
Efficienza, qualità e sicurezza della mobilità collettiva	Sicurezza e attenzione alla salute nei sistemi di trasporto integrando le tecnologie della guida autonoma, di sanificazione e l'interconnessione di mezzi e infrastrutture.					X							
	Sistemi predittivi/adattativi di pianificazione, misura, monitoraggio di sistemi di trasporto pubblico (elaborazione in tempo reale dei dati e interazione tra utenti)					X							
	Sistemi per il tracciamento, l'identificazione e la memorizzazione delle informazioni sull'utilizzo e le preferenze degli utenti per i sistemi di trasporto.					X							
	Trasporto condiviso, intermodalità, multimodalità, interconnessione					X							
	Modelli di business alternativi e contesti legislativi e di regolazione											X	
	Nuovi modelli di business e innovazioni per la sostenibilità (economica, sociale, ambientale) nel Trasporto Pubblico											X	
	Ricerca su forme innovative di trasporto a chiamata per le aree a domanda debole (extra-urbane, rurali)								X			X	
Sistemi di trasporto	Sviluppo di modelli e sistemi per il rilevamento delle abitudini di uso e la											X	



condiviso	previsione di uso di flotte di veicoli elettrici condivisi per determinate domande di spostamento e casi d'uso.						
	Modelli previsionali basati sulla domanda per l'ottimizzazione della allocazione geografica delle diverse tecnologie di infrastruttura di ricarica dei veicoli elettrici a seconda dei diversi casi d'uso, a livello di città, regione, stato.					X	
	Ricerca su domanda e offerta di servizi di sharing mobility per tipo di contesto territoriale (urbano/non urbano).			X		X	
	Livello di integrazione dei servizi di sharing nei sistemi di trasporto			X	X		
Sistemi di micromobilità, camminabilità e ciclabilità	Intermodalità dei trasporti con utilizzo di mezzi elettrici leggeri e a pedalata assistita (monopattini, biciclette, scooter, trike, quad, pedoni elettrici...).				X		
	Livello di integrazione dei servizi di micromobilità nei sistemi di trasporto (applicazioni di supporto, gestione e organizzazione dei flussi di traffico, corsie dedicate, zone protette)				X		
	Ricerca sulle percezioni e componenti soggettive della mobilità attiva (camminabilità e ciclabilità)				X		
	Design urbano e delle infrastrutture per la mobilità attiva, con caratteristiche di inclusività, accessibilità, sicurezza					X	
	Ricadute socio-economiche, sanitarie e ambientali della mobilità attiva, anche con attenzione alle destinazioni turistiche					X	
Servizi MaaS, integrazione, intermodalità	Innovazioni tecnologiche, con riferimento alle soluzioni che rendono fruibile, attrattiva, competitiva e sostenibile (economicamente, ambientalmente,		X				



	socialmente) la MaaS						
	Aspetti di regolazione della MaaS con riferimento alla concessione/autorizzazione di servizi						X
	Definizione degli standard per la realizzazione di piattaforme per l'integrazione e l'ottimizzazione di servizi MaaS		X				
	Strumenti per la modellizzazione dell'offerta, della domanda e della interazione domanda/offerta e del caricamento di reti e servizi in contesti MaaS				X		
Sistemi di mobilità turistica sostenibile	Ricerca sull'intermodalità, interconnessione e multimodalità per i sistemi di mobilità turistica (dimensione e tipologia di propulsione dei mezzi: terra, acqua, aria).			X			
	Ricerca su forme di mobilità turistica innovative e caratterizzanti per i territori (in termini di attrattività, design "made in Italy" e legame alla cultural heritage).			X			X
	Sistemi di mobilità nautica elettrica per le vie d'acqua interne, costiera e verso le isole.		X				
	Livello di integrazione della mobilità turistica nei sistemi di trasporto pubblico, in termini di modalità organizzativa, di mezzi e di infrastrutture			X	X		
	Ricerca sull'accessibilità sociale dei sistemi di mobilità turistica						X



## ARTICOLAZIONE 4

Tecnologie e ambiti di lavoro da valutare	Fascia di Maturità									Livelli di capacità (ambito non tecnologico)		
	iniziale			intermedia			avanzata			di analisi e comprensione dei fenomeni	di validazione su dati sperimentali (metodi e tecniche comprovate)	di applicazione a casi reali
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9			
Biocombustibili, e-fuels e vettori energetici green e clean		X										
Nuovi materiali e nuove tecnologie per batterie ad alta capacità, celle a combustibile, e altri sistemi di accumulo di energia per il settore di mobilità e trasporto		X										
Metodologie di analisi, co-simulazione e physical modeling (MIL, SI, VHIL)		X										
Metodologie per la gestione ottimale di sistemi multi-energy		X										
Metodologie di Life Cycle Management, SWOT, PESTE e Costi Benefici		X										
Sistemi di sicurezza attiva per la riduzione della massa e del fabbisogno energetico dei veicoli.		X										
Piattaforme multimodali e multifunzionali per la mobilità e il trasporto specializzate per le diverse applicazioni (aereo, navale, ferroviario, stradale, off-roads)					X							
Propulsori e sistemi di propulsione con tecnologia ibrida, elettrica e idrogeno					X							
Veicoli e reti per la micromobilità e per altre applicazioni speciali					X							
Tecnologie e sistemi per la gestione e la ricarica rapida delle batterie					X							
Sistemi innovativi di generazione, trasporto e stoccaggio dell'idrogeno					X							
Sistemi multi-energy per integrare infrastrutture, reti, tecnologie e mezzi per la mobilità					X							
Sistemi e tecnologie per la riconversione ecologica dei veicoli					X							
Potenziamento e sviluppo delle infrastrutture di ricarica delle batterie e di distribuzione dell'idrogeno								X				
Testing, dimostrazione, certificazione e preindustrializzazione prototipi								X				



## ARTICOLAZIONE 5

Tecnologie e ambiti di lavoro da valutare		Fascia di MATURITÀ iniziale			Fascia di MATURITÀ intermedia			Fascia di MATURITÀ avanzata			Livelli di capacità (ambito non tecnologico)		
		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9	di analisi e comprensione dei fenomeni	di validazione su dati sperimentali (metodi e tecniche comprovate)	di applicazione a casi reali
Veicoli terrestri intelligenti e guida autonoma	ADAS (Advanced Driving Assistance Systems)					X							
	Veicoli terrestri a guida autonoma		X										
	Aspetti etici e di responsabilità della guida autonoma		X										
Trasporto connesso, cooperativo e automatizzato	Vehicle platooning					X							
	Controllo del traffico e del deflusso attraverso veicoli automatizzati/connessi		X										
Interazione e comunicazione tra veicoli terrestri e tra veicoli e infrastrutture	Tecnologie e soluzioni DSRC per il V2X							X					
	Tecnologie e soluzioni C-V2X e 5G		X										
	Soluzioni e servizi C-ITS					X							
Mobilità autonoma e connessa per la nautica	Aspetti tecnologici		X										
	Aspetti relativi all'impatto sulla logistica e sulla mobilità		X										



## 5.2 Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento

La Terra è un sistema complesso e dinamico, con diverse componenti che interagiscono fra loro: atmosfera, oceano, superficie terrestre, criosfera e biosfera (l'insieme degli organismi animali e vegetali), e il cui principale motore è l'energia del Sole. Comprendere la sua evoluzione, e quindi il suo clima sia passato e presente, che futuro, richiede un approccio inter-disciplinare, che parta dai processi fondamentali chimico-fisici e biologici ed arrivi ad includere la società e la maggior parte delle attività umane, che lo stanno modificando in maniera sostanziale.

Diverse componenti del sistema climatico terrestre stanno subendo cambiamenti di dimensioni e velocità che vanno ben oltre ciò che può essere attribuito alla variabilità climatica naturale. Questi cambiamenti includono un aumento della temperatura media globale, la diminuzione della massa e dell'estensione dei ghiacciai, l'aumento del livello del mare, l'aumento del contenuto di calore dell'oceano, cambiamenti del sistema idrologico ed eventi meteorologici estremi.

Questi cambiamenti, divenuti particolarmente importanti dalla metà del XX secolo, non hanno precedenti alla scala di milioni di anni precedenti: ad esempio, dal 2016 la concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera ha costantemente superato le 400 parti per milione (ppm), un valore che si stima non fosse mai stato raggiunto se non 2.5 milioni di anni fa. Lo stesso aumento della temperatura si stima non sia mai stato così rapido e così esteso geograficamente come osservato dopo la seconda guerra mondiale. Questo ha portato all'evoluzione del concetto di Antropocene, una nuova era geologica nella quale l'influenza degli effetti antropici sul sistema Terra costituisce il principale fattore forzante.

La pressione antropica sul sistema climatico è dovuta a diversi fattori, fra i quali le sempre crescenti emissioni di gas serra dalle diverse sorgenti antropiche e l'aumento della riflettività terrestre dovuto all'emissione di aerosol.

La conoscenza delle caratteristiche del sistema climatico terrestre è enormemente cresciuta negli ultimi decenni, particolarmente dagli anni '90, che segnano tra l'altro l'inizio della serie dei rapporti dell' "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC), a riconoscimento del fatto che il problema esiste, impatta su tutte le comunità, e va affrontato. Gli ultimi 20 anni hanno inoltre visto enormi progressi nella comprensione dei processi fisico-chimici e nella loro inclusione nei modelli climatici, che sono stati perfezionati con l'aumento significativo della risoluzione spaziale e l'inclusione di sempre più accurati processi fisici e biogeochimici che hanno un effetto sul sistema climatico.

Basandoci sugli ultimi Rapporti di IPCC, si può affermare che:

- il riscaldamento del sistema climatico terrestre è inequivocabile;
- appare chiara l'influenza antropica sul sistema climatico terrestre, e le attività umane sono la causa principale del cambiamento in atto;
- limitare il riscaldamento climatico necessita una riduzione dell'emissione di gas serra rapida e massiva, che porti a raggiungere l'obiettivo di 'zero emissioni nette' di gas serra il più presto possibile.

L'Accordo della "Conference of the Parties" (COP) di Parigi nel 2015 ha posto le basi per un'azione a livello globale per contenere l'aumento della temperatura media globale "ben al di sotto di 2 °C rispetto al periodo pre-industriale e di mettere in campo tutte le possibili strategie per limitare l'aumento della temperatura al di sotto di 1.5 °C rispetto al periodo pre-industriale, riconoscendo che questo ridurrebbe in modo significativo i rischi dovuti al cambiamento climatico". È stato valutato infatti che i rischi per l'uomo e per l'ambiente sono molto più elevati nel caso di un aumento della temperatura media globale di 2 °C rispetto ad un aumento contenuto in 1.5 °.

Queste affermazioni, contenute nel Rapporto IPCC "Global Warming of 1.5 °C", esprimono chiaramente la necessità di un intervento rapido per le azioni di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico.

I "Sustainable Development Goals" (SDGs) adottati nell'ambito della nuova Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile sollecitano i Paesi a "intraprendere coraggiosi progetti di trasformazione che sono urgentemente necessari per avviare il mondo su un percorso di sostenibilità e resilienza". I SDGs sono in tutto 17 e bilanciano le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: economica, sociale ed ambientale. Il cambiamento climatico è il tema specifico



dello SDG 13: “*misure urgenti per contrastare il cambiamento climatico ed i suoi impatti*”; tuttavia sono molti gli SDGs che sono intrinsecamente interconnessi alla sfida di mitigare e adattarsi al cambiamento climatico.

La necessità di dare risposte che la società traduce in scelte operative impone alla scienza del clima la difficile sfida di conciliare il rigore scientifico e la responsabilità con la richiesta di fornire risposte urgenti, possibilmente con un linguaggio essenziale.

Gli effetti del cambiamento climatico sull'ambiente, sui servizi che l'ambiente fornisce (“*ecosystem services*”) e quindi sulla società umana (inclusa la salute), rendono la climatologia una scienza chiamata a dare risposte alla società e a coinvolgere competenze interdisciplinari non ristrette all'ambito delle scienze naturali, ma che coinvolgano anche competenze nell'ambito delle scienze economiche e sociali, le scienze urbane e del territorio.

Un approccio troppo settoriale costituisce purtroppo una barriera al progresso scientifico e alla capacità di offrire risposte adeguate alla sfida climatica. Il superamento delle barriere disciplinari, spesso caratterizzate da approcci diversi, linguaggi diversi e culture diverse, è pertanto una sfida particolarmente importante nel nostro Paese, dove l'Accademia, e la Scienza in generale, sono fortemente organizzate e governate su base strettamente disciplinare. Occorre cambiare approccio.

È necessario che a tutti i livelli della pianificazione, finanziamento, esecuzione e disseminazione dei risultati, gli attori coinvolti: scienziati, Università ed Enti di Ricerca, Istituzioni responsabili del finanziamento della ricerca si impegnino a sviluppare e ad operare secondo meccanismi che favoriscano nuove idee ed approcci interdisciplinari. Con questa motivazione i prossimi capitoli sono organizzati secondo quelli che sono gli obiettivi operativi ricordando per ciascuno di questi quelle che sono le discipline coinvolte.

Nel capitolo 2 si ricorda il contesto internazionale della ricerca sul clima ed il ruolo svolto dall'Italia. Nel capitolo 3 si discute l'utilizzo di osservazioni e modelli del sistema Terra per fare proiezioni climatiche e studi di attribuzione. Nel capitolo 4 si analizzano gli impatti attuali e futuri (rischi) del cambiamento climatico su gli ecosistemi naturali, i sistemi di insediamento (edifici, infrastrutture, ecc.) e sulla società nel suo insieme. Nel capitolo 5 si ricordano le attività umane che sono causa del cambiamento climatico e che possono essere oggetto di misure di mitigazione. Nel capitolo 6 si evidenziano le attività di adattamento necessarie per prevenire e limitare i danni o cogliere opportunità in seguito a impatti climatici. Nei capitoli 7 ed 8 si analizza il quadro nazionale rispettivamente della ricerca e dell'educazione nel campo della nuova area di competenza rappresentata dalla climatologia. Infine alcune considerazioni conclusive sono raccolte nel capitolo 9.

In maniera ampiamente condivisa è stato adottato un metodo di lavoro che ha individuato grandi temi caratterizzati da livelli gerarchici confrontabili - rappresentativi dell'interdisciplinarietà, di un approccio multiculturale e di coerenti convergenze scientifiche - inclusivi dei sottosistemi sottesi pur se non esplicitamente enunciati.

## Contesto internazionale

### La dimensione internazionale e l'attività Europea

Il Cambiamento Climatico è un problema globale che deve essere affrontato con azioni di mitigazione altrettanto globali, cioè adottate a livello internazionale. Anche le osservazioni scientifiche e lo sviluppo di nuove tecnologie richiedono un intervento internazionale per raggiungere un impegno logistico adeguato e favorire la definizione di strategie condivise.

È pertanto fondamentale discutere le iniziative nazionali della ricerca sul Cambiamento Climatico tenendo presente il quadro delle attività internazionali, che sono discusse in questo capitolo.

La Commissione Europea ha adottato un programma di lavoro in cui definisce gli interventi che metterà in atto nel corso dell'anno 2020 per trasformare gli orientamenti politici della Presidente Ursula von der Leyen in risultati tangibili per i cittadini, le imprese e la società europei. Il motore centrale di questo primo programma di lavoro è la volontà di cogliere appieno le opportunità offerte dalla duplice transizione ecologica e digitale. Il programma è articolato in 6 macroobiettivi e 43 obiettivi strategici con la finalità di avviare la transizione verso un'Europa equa,



digitale e a impatto climatico zero. Nel 2020, termine poi slittato nel 2021, la Commissione europea inizierà a tradurre le sei tematiche in iniziative concrete che saranno poi negoziate e attuate in cooperazione con il Parlamento europeo, gli Stati membri e altri partner. Il “Fondo verde per il clima” delle Nazioni Unite, che ha come obiettivo quello di sostenere economicamente i paesi in via di sviluppo ad adattarsi ai cambiamenti del clima attraverso progetti e piani nazionali di medio periodo, avrebbe dovuto garantire 100 miliardi di dollari (circa 91 miliardi di euro) l'anno fino al 2020. L'Unione europea è ad oggi il maggior finanziatore del fondo con 14,5 miliardi di euro già erogati al 2014.

Dal 1992, e sempre di più nel nuovo secolo a causa del susseguirsi di anni sempre più caldi e di eventi estremi sempre più intensi e frequenti, i problemi climatici sono diventati un argomento trasversale presente in tutte le iniziative sia di ricerca e innovazione che di politica generale. Se prendiamo il nascente programma “*Horizon Europe*” si vede che il Clima è presente nel Pillar 2, “*Global Challenges*”, ma poi lo troviamo anche nelle “*Missions*”. Dove un'intera missione, “*Adaptation to climate change including societal transformation*” è dedicata all'adattamento ai cambiamenti climatici, ma è difficile immaginare che le altre: “*Climate-neutral and smart cities, Healthy oceans, seas, coastal and inland waters, Soil health and food*” – possano prescindere o ignorare i cambiamenti climatici futuri. Inoltre importanti iniziative di innovazione come le “*Knowledge and Innovation Communities*” (KIC) dello “*European Institute of Technology*” (EIT) sono dedicate ai cambiamenti climatici o ad iniziative di innovazione e stimolo di nuovi mercati e settori economici, come il progetto “*Destination Earth*” che viene sviluppato congiuntamente da “*DG – Connect*” e dalla “*European Space Agency*” (ESA). Tutti questi sforzi confluiranno nel patto climatico europeo, che vedrà il coinvolgimento di attori ad ogni livello – regioni, comunità locali, società civile, scuole, industria e privati. L'Unione Europea svolgerà inoltre un ruolo di guida nei negoziati internazionali in vista della COP26 di Glasgow (spostata al 2021). La Commissione presenterà iniziative volte ad affrontare la perdita di biodiversità e, attraverso la strategia “dai campi alla tavola”, ad aiutare gli agricoltori nel fornire in modo più sostenibile alimenti di qualità elevata, economicamente accessibili e sicuri. I cambiamenti climatici rappresentano una delle maggiori sfide del prossimo secolo e il loro impatto è una delle priorità per la tutela della salute pubblica. I rischi sanitari potenzialmente associati al clima che cambia dovrebbero ricevere maggiore attenzione e, anche se la ricerca nel settore sta aumentando, le risposte al fenomeno sono ancora inadeguate.

### Le collaborazioni internazionali dell'Italia

La ricerca climatica deve poter utilizzare prodotti complessi ed impegnativi dal punto di vista logistico, quali osservazioni estese nel tempo e nello spazio e verifiche e validazioni incrociate fra modelli complessi, che sono possibili solo a livello internazionale.

Un esempio emblematico è quello delle osservazioni dallo spazio che hanno dato, e continueranno nel futuro a dare, un importante contributo alla comprensione del sistema Terra in generale e del clima in particolare. Importanti per la comunità italiana che studia il clima sono i satelliti di tipo meteorologico sviluppati da ESA per conto di EUMETSAT (“*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*”), e alcuni satelliti di tipo “*Explorer*”, realizzati da ESA per la ricerca di esplorativa di processi non accessibili con osservazioni in situ, e di tipo “*Sentinel*” del programma Copernicus, sviluppati da ESA in collaborazione con la Comunità Europea (ulteriori approfondimenti su questo tema sono contenuti nell'Ambito “Aerospazio”). Tutti programmi che vedono la messa in campo di risorse cospicue internazionali con un significativo contributo italiano. Le osservazioni dallo spazio si integrano poi, per validazione e calibrazione reciproca e per tipo di copertura geografica, con le reti osservative a terra a cui l'Italia contribuisce con strutture importanti.

Dal punto di vista della modellistica, l'Italia manca di iniziative nazionali e la sua capacità di sviluppare competenze in questo campo dipende dalla partecipazione a Consorzi Internazionali.

Tra questi consorzi, ricordiamo EC-Earth (“*European Community Earth system model*”), il consorzio che, partendo dal modello globale di “*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*” (ECMWF), ha generato una versione utilizzabile per generare proiezioni climatiche a lungo termine (1-100 anni). Ricordiamo anche il Consorzio NEMO, creato per sviluppare un modello 3-dimensionale dinamico dell'oceano, ed uno schema di assimilazione dati variazionali per inizializzare le integrazioni temporali. A livello di studi di clima regionale, ricordiamo il progetto



CORDEX (*“Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment”*) del *“World Climate Research Program/World Meteorological Organization”* (WCRP/WMO), che ha come scopo quello di avanzare e coordinare lo sviluppo di sistemi di estrapolazione che ci aiutino a stimare le variazioni del clima a livello regionale e locale. Ricordiamo infine due consorzi di sviluppo americani, WRF (*“Weather Research and Forecasting model”*) nel campo della modellistica a scala regionale, e CESM (*“Community Earth System Model”*) della modellistica globale dei modelli accoppiati. I gruppi di ricerca italiani che partecipano a questi consorzi hanno massa critica limitata, insufficiente, e molto raramente hanno posizioni di leadership e coordinamento.

Nel campo più generale della ricerca sul clima, numerosi sono invece i network costruiti negli anni dalle istituzioni italiane nell’ambito dei Progetti Quadro Europei con gli istituti di ricerca esteri che hanno conquistato una leadership internazionale in ambito climatico.

Esistono inoltre istituzioni sovranazionali dedicate ai problemi meteo-climatici, come ECMWF (il Centro Europeo di Previsioni a Medio Termine) ed EUMETSAT, e delle aggregazioni a livello europeo che prevedono collaborazioni intorno a tematiche che spesso comprendono attività relative al cambiamento climatico. Un esempio è quello di Alleanza U7+ (<https://www.u7alliance.org>), coordinata da Science PO e nata sotto l’egida del Presidente Macron, in qualità di coordinatore del Summit del G7 con l’adesione di 48 Atenei internazionali (<https://www.u7alliance.org/partners/> tra cui le Università di Cambridge, London School of Economics, Columbia University e per l’Italia Napoli Federico II, la Sapienza, Statale di Milano e Bocconi). L’obiettivo dell’Alleanza U7+ per un mondo più equo e solidale vede fra i temi portanti quello della transizione climatico/energetica e digitale dei campus incrementando l’efficienza energetica e la riduzione di emissioni di gas serra, nonché le attività di formazione, ricerca e terza missione, nel campo della transizione energetica e del superamento delle disuguaglianze. Ricordiamo inoltre le *“Joint Programming Initiatives”*, fra le quali in particolare JPI Climate e JPI-Ocean, in cui le nazioni della Unione Europea concordano su base volontaria di affrontare alcune importanti sfide sociali. Un altro esempio è quello dell’Istituto Europeo sull’Economia e l’Ambiente (European Institute on Economics and the Environment, EIEE), nato nel 2019 dalla collaborazione tra il *“think tank”* statunitense *“Resources for the Future”* e il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici. Il nuovo centro europeo si occuperà dei problemi della transizione, di come affrontare i cambiamenti climatici garantendo benessere e sviluppo sostenibile per le generazioni attuali e future ed è formato da una cinquantina di ricercatori provenienti da 13 nazionalità (Italia, Germania, Francia, Olanda, Portogallo, USA, Bolivia, Bangladesh, India, Iran, Corea del Sud, Cina, Belgio) (Antonio Navarra, comunicazione privata, 2020). Una iniziativa simile è nata dalle Scuole Universitarie Federate (Scuola Superiore Normale e Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa, e Scuola Superiore IUSS di Pavia), che hanno creato un nuovo *“Centre for Climate Change Studies and Sustainable Actions”* (3CSA), che sta disegnando una nuova Scuola di dottorato nazionale sullo Sviluppo Sostenibile e i Cambiamenti Climatici, che partirà con il primo ciclo nell’anno accademico 2021/2022.

Esiste pertanto una tangibile partecipazione della ricerca italiana al contesto internazionale che ci consente l’accesso ad informazioni e competenze importanti. Tuttavia, il ruolo proattivo svolto dall’Italia a livello internazionale è ancora debole rispetto al contributo finanziario dato alle organizzazioni internazionali (questo è vero in particolare nel caso delle attività spaziali). Per un maggiore ritorno nazionale sarebbe opportuno un bilanciamento dell’investimento nazionale con quelli internazionali. Non è possibile pensare ad un ruolo importante, anche in termini di ritorni finanziari, nelle collaborazioni internazionali senza un sistema nazionale competitivo, autorevole, e sostenuto in termini di risorse umane e investimenti.

## Osservazioni, studio dei processi e modellistica del sistema Terra

Conoscere lo stato del sistema Terra, passato, attuale, e futuro, è fondamentale per individuare le strategie e le azioni migliori di mitigazione e di adattamento al cambiamento climatico.



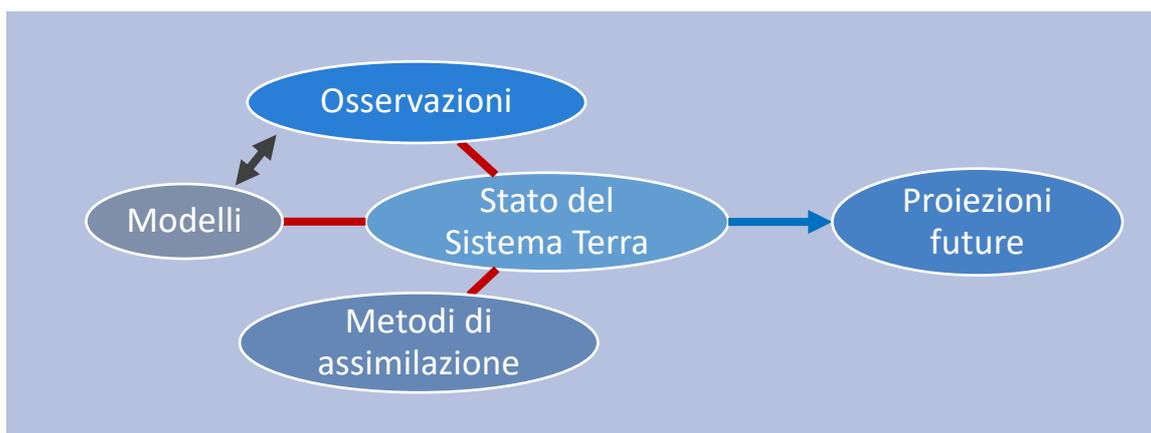


Fig. 3 L'utilizzo integrato di osservazioni, modelli, e metodi di assimilazione dati, permette di ricostruire il clima passato e generare proiezioni future. Le osservazioni permettono di diagnosticare i modelli.

La conoscenza dello stato del sistema Terra si basa su osservazioni, sullo studio dei processi, sullo sviluppo di modelli che simulino il più realisticamente possibile i processi che determinano l'evoluzione del clima, e su metodi di assimilazione dati. Per il passato, diverse tecniche vengono utilizzate per ricostruirlo: metodi diretti per i periodi più recenti e metodi indiretti (che portano allo studio di problemi inversi, particolarmente impegnativi in quanto in genere "matematicamente mal posti") per il lontano passato. Metodi probabilistici che includono termini stocastici permettono di stimare l'incertezza dello stato del sistema Terra, sia del passato che del futuro, e quindi di conoscere in maniera più affidabile l'evoluzione del clima.

Le osservazioni sono fondamentali per comprendere i processi chimico-fisici, disegnare schemi di parametrizzazione e diagnosticare la qualità dei modelli. L'utilizzo combinato di osservazioni e modelli permette di comprendere i meccanismi che regolano il clima. Codici di inversione sono fondamentali per tradurre variabili misurate dagli strumenti osservativi in variabili che caratterizzano il clima. I metodi di assimilazione dati, integrando osservazioni e modelli con opportuni processi di ottimizzazione, sono essenziali per ricostruire lo stato e l'evoluzione spaziotemporale del sistema Terra, utilizzando in maniera ottimale osservazioni prese da strumenti diversi che coprono in maniera non-omogenea, sia geograficamente che nel tempo, il sistema Terra.

Nelle sezioni seguenti, si riportano alcune considerazioni sui temi: (a) Osservazioni del sistema Terra, (b) Modelli del sistema Terra, (c) Metodi di assimilazione, (d) generazione di data-set fisico-chimici per lo studio del clima, (e) studi di attribuzione e (f) prognostica.

### a) Osservazioni del sistema Terra

Ricostruire l'evoluzione del clima passato è un problema complesso perché i sistemi di osservazione sono cambiati nel tempo. Mentre oggi la maggior parte delle osservazioni provengono da satelliti, prima degli anni 1970 tali dati non esistevano. Ricostruzioni del clima dei secoli scorsi e del paleo-clima si basano inoltre su carotaggi dei ghiacci, analisi della struttura della vegetazione, analisi della composizione dei sedimenti e delle rocce, analisi di reperti archeologici, che vanno a combinarsi con metodi ricostruttivi sia teorici che numerici. Particolare interesse ha la questione della scelta degli indicatori più adatti per la misurazione, anche in rapporto a modelli riferiti a scale diverse. È infatti tramite una giusta combinazione di dati misurati e tecniche analitiche che si può determinare più efficacemente grandezze che è impossibile osservare direttamente. Per il periodo storico (a partire da circa 3000 anni fa) un'altra fonte di informazione è costituita da archivi e documenti del passato. L'evoluzione del sistema osservativo continuerà: ci si aspetta che nuovi strumenti saranno in grado di offrire osservazioni sempre più accurate e/o nuove. Le misure di telerilevamento da satellite forniranno osservazioni con copertura globale, ma avranno bisogno di misure dirette fatte con strumentazione in situ per la loro calibrazione e validazione. Per questo sarà importante continuare a mantenere e potenziare la complementarità tra le diverse piattaforme osservative.

La comunità internazionale ha identificato un gruppo di parametri fisici, chimici e biologici che caratterizzano in maniera globale il clima, le "Essential Climate Variables" (ECV). L'osservazione per lunghi periodi di questi



parametri a livello globale è fondamentale per determinare la variabilità del sistema climatico. Particolarmente importante è la valutazione della variabilità nelle regioni esposte ai cambiamenti più veloci, tra cui la regione Mediterranea, le zone montagnose e le aree polari regioni. Tuttavia, non ci si può limitare alle ECVs: la complessità dei processi che coinvolgono gli ecosistemi e le loro emissioni in atmosfera, od il ciclo del carbonio tra i sedimenti, il permafrost e nella zona critica dei suoli, presuppongono l'osservazione di una diversità di parametri chimici, fisici e biologici che non si limitano alle ECV. Il contesto delle osservazioni della Terra per la ricerca sui processi e per lo sviluppo di reti di monitoraggio per nuovi parametri è dato dalle infrastrutture europee di ricerca (ICOS, ACTRIS, DANUBIUS-RI, ecc.). La comprensione quantitativa dei processi alla base di importanti feedback climatici che coinvolgono simultaneamente diverse scale spaziali, come nel caso della formazione delle nubi o della fusione di ghiaccio e neve, presuppone lo sviluppo di nuovi approcci osservativi multi-piattaforma e multi-frequenza ed una profonda conoscenza multidisciplinare. Per lo studio e la comprensione del ciclo dell'acqua è fondamentale arricchire la componente osservativa della superficie terrestre (contenuto di umidità del suolo, evapo-traspirazione, piante e vegetazione, acque nel sottosuolo, copertura nevosa e ghiacciai). Una determinazione accurata delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo è fondamentali per lo studio e la comprensione di fenomeni estremi (siccità, o alluvioni), e di come essi vengano simulati nei modelli.

Lo sviluppo, e la continuità di funzionamento, di siti osservativi ben equipaggiati dedicati allo studio del clima, che soddisfino requisiti di continuità, accuratezza e tracciabilità a scale di riferimento internazionali, costituisce una delle sfide da affrontare.

Nelle università e nei centri di ricerca italiani vengono svolte ricerche sullo sviluppo di nuovi sensori per l'osservazione della Terra, sulla ricostruzione di serie storiche/statistiche del clima e sulla comprensione dei processi che sono alla base del clima. Gruppi di ricerca sono coinvolti nella definizione di nuove missioni e di nuovi strumenti da installare su piattaforme future ed in campagne d'osservazione nella regione Mediterranea e nelle aree polari.

## b) Modelli del sistema Terra

Modelli di diversa complessità vengono utilizzati per studiare il clima, dai più complessi, essenziali per ricostruire il clima passato e generare le proiezioni del clima futuro (incluso le integrazioni utilizzate dall' "Intergovernmental Panel on Climate Change", IPCC), a quelli più semplici, utilissimi per capire il ruolo di processi specifici ed interazioni tra componenti del sistema Terra:

- **Modelli complessi accoppiati** – Simulano i processi principali delle componenti del sistema Terra; vengono utilizzati per studiare il clima sia a livello globale che regionale, e per studiare l'impatto sul clima delle variazioni delle forzanti antropogeniche.
- **Modelli semplificati** – Simulano solo processi e/o interazioni tra alcune componenti del sistema Terra, per individuare le relazioni di causa-effetto e la tele-connessione ed inter-dipendenza tra fenomeni che occorrono in diverse area della Terra.
- **Modelli di Bilancio Energetico** - Sono utilizzati come strumenti di interpolazione ed estrapolazione per combinare i risultati delle simulazioni dei modelli complessi accoppiati.

I modelli complessi sono gli unici strumenti a nostra disposizione per capire come parti del sistema Terra interagiscono, e come evolverà il clima futuro. È fondamentale promuovere gli studi volti a comprendere i processi, a migliorare schemi di parametrizzazione esistenti, e/o a disegnare schemi in grado di simulare processi rilevanti per lo studio del clima non ancora inclusi nei modelli. Studi volti alla riscrittura dei codici numerici vanno potenziati, per rendere l'integrazione numerica più efficiente, così da rendere compatibili con le potenze di calcolo disponibili simulazioni che includano i meccanismi rilevanti di interazione e retroazione tra le diverse componenti climatiche, e che utilizzino griglie più fini.

Modelli globali vengono affiancati da modelli a scala regionale, con una risoluzione più alta di quelli globali, per riuscire a descrivere più accuratamente i processi a scala piccola che determinano il clima locale, e quindi rispondere alla richiesta di informazioni a questa scala. Idealmente, occorrerebbe essere in grado di utilizzare un'alta risoluzione a livello globale, dato che le variazioni climatiche a scala regionale e quelle a scala globale sono legate da effetti di



retro-azione. Ma dato che ciò non è possibile oggi, i modelli a scala regionale ad alta risoluzione vengono utilizzati per fornire quei dettagli a scala locale indotti da variazioni a grande scala. Solo con maggiori investimenti in super-calcolo si potrebbe riuscire ad utilizzare alte risoluzioni ( $\sim 1$  km di passo griglia) anche a scala globale.

La regione mediterranea è una delle aree più sensibili al cambiamento climatico, dove l'alta densità di popolazione in aree fortemente urbanizzate, e l'intenso sfruttamento antropico sollecitano con urgenza la messa a punto di misure gestionali programmate ed efficaci. Per questo motivo, e per la varietà e complessità di processi che caratterizzano la regione e ne fanno uno straordinario laboratorio naturale, nel corso degli anni si sono costituite collaborazioni di ricerca internazionali che organizzano iniziative concordate per l'avanzamento delle conoscenze scientifiche e delle capacità modellistiche relative a quest'area. All'interno del "*Coordinated Regional climate Downscaling Experiment*" (CORDEX) e del programma CLIVAR ("*Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change*"), la regione europea allargata ad includere l'intero bacino mediterraneo è stata riconosciuta come rilevante per la ricerca globale, tanto da meritare nel tempo due sezioni dedicate, Med-CORDEX e MedCLIVAR.

È importante che la stima del clima (sia passato che futuro) venga effettuata utilizzando approcci probabilistici in grado di fornire stime affidabili dell'incertezza. Se pensiamo, ad esempio, al clima passato, è chiaro che la conoscenza del clima degli ultimi 50 anni è più accurata rispetto a quella del clima della prima metà del XX secolo, o del paleoclima. Solo se si è in grado di stimare in maniera affidabile l'incertezza delle diverse ricostruzioni, si possono trarre conclusioni corrette sull'evoluzione del clima. Anche le proiezioni future devono includere una stima dell'incertezza, essenziale per valutare la probabilità di eventi estremi, o i tempi di ritorno di fenomeni rari a grande impatto. L'uso di grandi insiemi di realizzazioni di simulazioni, che includono sia modelli che scenari forzanti diversi, permettono di stimare le principali fonti di incertezza.

Vista l'importanza strategica di avere competenze ad alto livello in questo settore, è fondamentale colmare la debolezza esistente. Data la convergenza in atto tra i modelli complessi per lo studio de clima e per la meteorologia, avere competenze maggiori in questo campo permetterebbe all'Italia di giocare un ruolo maggiore in entrambi i contesti. Vista l'esposizione dell'Italia al cambiamento climatico, e l'impatto sempre più evidente di eventi estremi ad esso associato a causa delle debolezze del suo territorio, occorrerebbe investire maggiormente in questo settore per sviluppare competenze molto più avanzate, e dotarsi di strumenti all'avanguardia per gestire il rischio meteo/climatico.

### c) Metodi di assimilazione

Sistemi di assimilazione dati sono fondamentali per determinare lo stato delle variabili fisiche e chimiche che caratterizzano lo stato del sistema Terra su un grigliato regolare, generando quelle che vengono chiamate ri-analisi. Dati in questi formati aiutano sia a ricostruire serie storiche che coprono l'intero pianeta e non solo le località dove sono disponibili osservazioni, che ad inizializzare i modelli accoppiati utilizzati per produrre previsioni decadal e proiezioni multi-decadali. È da notare che gli stessi sistemi di assimilazione utilizzati per generare ri-analisi, possono essere utilizzati per generare le condizioni iniziali per le previsioni meteorologiche. Inoltre, visto che sistemi di assimilazione dati geofisici posso essere generalizzati ed impiegati in altri campi, sarebbe opportuno sviluppare competenze avanzate in questo settore.

Nelle università e nei centri di ricerca italiani, in generale si utilizzano sistemi di assimilazione realizzati da altri gruppi, mentre raramente si hanno le competenze per svilupparli. Solo nel campo dell'oceanografia, l'Italia ha dato un contributo di qualità allo sviluppo del sistema di assimilazione dati legato al modello di oceano NEMO sviluppato da un consorzio Europeo. È strategicamente importante colmare questa debolezza: solo così l'Italia potrebbe utilizzare maggiormente i dati che vengono generati, ad esempio, dai satelliti "*Sentinels*" del progetto Copernicus e dai satelliti "*Explorers*" della "*European Space Agency*" (ESA).

### d) Generazione di data-set fisico-chimici per lo studio del clima

Ri-analisi climatologiche sono data-set importantissimi sia per studiare il clima passato, che per diagnosticare la qualità dei modelli complessi. Ad oggi, esistono tre ri-analisi globali dell'intero sistema Terra e che coprono almeno tutto il XX secolo, e varie ri-analisi regionali che coprono diverse regioni del globo per periodi molto più brevi.



Queste ri-analisi regionali vengono prodotte innestando modelli ad area limitata a più alta risoluzione in quelle globali, per risolvere in maniera più realistica dettagli quali il contrasto terra-mare, o i rilievi orografici. Molti data-set di ri-analisi globali e regionali possono essere consultati liberamente presso il sito del progetto Europeo “*Copernicus Climate Change Service*” (C3S). Oggi, le ri-analisi sono generate con sistemi di assimilazione con accoppiamenti ‘deboli’, che includono schemi semplificati dell’interazione tra processi fisici e chimici di diverse componenti (ad esempio l’oceano e l’atmosfera). La tendenza, per migliorare la qualità delle stime e renderle più integrate, è di sviluppare ‘ri-analisi accoppiate’, basate su modelli accoppiati.

In Italia, a scala globale esistono competenze molto limitate nella generazione di ri-analisi. Solo per la componente oceano, un centro di ricerca italiano è parte di un consorzio che ha generato, e genera ri-analisi dello stato dell’oceano, sia a scala globale che a scala regionale ad alta risoluzione. Per la componente atmosfera e le variabili superficiali a scala regionale, in Italia sono stati completati studi basati sull’innesto di modelli regionali in ri-analisi globali, per generare ri-analisi ad alta risoluzione, ma senza assimilare dati locali ad alta risoluzione. L’assimilazione di questi dati ad alta risoluzione è essenziale per sfruttare al meglio il valore aggiunto di ri-analisi regionali ad alta risoluzione. In generale, come per i modelli e i sistemi di assimilazione dati, la ricerca in questo settore andrebbe potenziata, per riuscire a generare data-sets essenziali per studiare l’evoluzione del clima con, in particolare, un’alta risoluzione sull’area Mediterranea.

#### e) Studi di attribuzione

Gli studi di attribuzione mirano a rispondere alla domanda di quali sono le cause dei fenomeni osservati e, nel caso di fenomeni che sono il risultato di numerose concause, determinare quale è stato il contributo della singola causa. L’attribuzione del cambiamento climatico dell’ultimo secolo principalmente all’attività umana è un pilastro portante per dimostrare la necessità di azioni di mitigazione che portino al più presto ad una de-carbonizzazione delle attività umane. Anche se questa conclusione è condivisa dalla stragrande maggioranza della comunità scientifica, si nota che rimane un problema di comunicazione e di convinzione degli “*stakeholders*” (i politici in primis): un potenziamento degli studi di attribuzione potrebbe aiutare in questa direzione.

Studi di attribuzione aiutano a stimare il contributo relativo al riscaldamento dovuto a variazioni naturali, quali eruzioni vulcaniche o variazioni nella circolazione oceanica globale, o alla continua crescita delle emissioni dei gas serra legate alle attività umane. A livello regionale, visto che il cambiamento climatico viene percepito come una variazione nella frequenza degli eventi estremi, studi di attribuzione hanno particolare valore nel comunicare l’impatto del cambiamento climatico al pubblico generale. Altri tipi di studi di attribuzione volti all’identificazione delle sorgenti naturali ed antropiche dei gas clima alteranti vengono basati su un approccio misto, che include sia reti di osservatori nazionali di fondo dei gas serra che modelli inversi, da analizzare sia dal punto di vista teorico che numerico e prendendo in considerazione non solo scale planetarie o continentali ma anche regionali e locali. In questa categoria di studi, rientrano anche lavori che ambiscono a calcolare il contributo di diverse attività umane alle emissioni di gas clima alteranti. Ad esempio, il tema dell’impatto dei fenomeni climatici nelle aree urbanizzate, in quelle costiere e interne, nonché nei territori richiede di individuare linee di ricerca tese a efficaci processi di riqualificazione urbana ed edilizia, considerando che per le città nelle loro componenti insediative, di mobilità e infrastrutturali, i più recenti dati indicano che, nella media planetaria, esse consumano circa il 70% dell’energia ed emettono circa il 60% di gas serra.

In Italia, studi di attribuzione vengono svolti in qualche istituto di ricerca e/o università, in particolare per eventi estremi che caratterizzano l’area mediterranea. Tali studi si basano su integrazioni di modelli sviluppati da altri, che vengono integrati nel tempo in configurazioni diverse, a seconda degli obiettivi delle ricerche.

#### f) Prognostica

Con attività prognostica si intende l’integrazione numerica di modelli per stimare l’evoluzione del clima nei prossimi decenni. Mentre per il futuro più vicino che copre i primi 10 anni si parla di previsioni inter-annuali e/o decadal, per il futuro più lontano si parla di proiezioni, per mettere in evidenza il fatto che su queste scale temporali è dominante il ruolo dei campi forzanti, legati agli scenari futuri delle emissioni dei gas serra. Un esempio sono le integrazioni CMIP



(“*Coupled Model Intercomparison Project*”), generate con modelli accoppiati dai centri più all’avanguardia al mondo e contributi fondamentali dei rapporti IPCC. Un altro esempio sono le generazioni di scenari regionali ad alta risoluzione, generati innestando modelli regionali nelle proiezioni globali. Generare proiezioni ‘affidabili’ implica essere in grado di simulare le possibili sorgenti di incertezza nelle proiezioni, legate agli scenari utilizzati nelle integrazioni, alle incertezze dei modelli, e alla variabilità interna del sistema Terra. Per stimare tale incertezza, le integrazioni temporali vengono effettuate con sistemi probabilistici, basati su metodi ad insieme che includono molteplici integrazioni numeriche. Per contribuire a tale area di ricerca, occorre sviluppare competenze sia teoriche che applicative su come disegnare sistemi probabilistici (ad insieme e/o alternativi) in grado di generare previsioni/proiezioni affidabili in senso probabilistico.

Anche se le proiezioni a scala locale sono più incerte che quelle a scala globale, occorre tenere conto che c’è molta richiesta di questo tipo di informazioni, ad esempio per pianificare la struttura, i principi insediativi e i processi metabolici degli edifici e delle città future, per bilanciare la domanda e l’offerta di risorse quale l’acqua, o per ridisegnare l’agricoltura. L’innesto di modelli ad area limitata ad alta risoluzione, e a cascata modelli urbani e/o agro-biologici possono aiutare a fornire queste informazioni. Fondamentale è effettuare questi studi applicando metodi probabilistici che forniscano stime affidabili dell’incertezza. Sviluppare competenze nello sviluppo di modelli accoppiati che stimino l’impatto locale e settoriale, economico-sociale, è essenziale per pianificare strategie di adattamento e mitigazione. Modelli fisico-economici permettono di studiare l’impatto delle azioni/non-azioni di mitigazione e/o adattamento; modelli fisico-sociali permettono di capire le dinamiche delle migrazioni. Visto che l’Italia è uno dei paesi più esposti all’impatto del cambiamento climatico, potenziare le competenze nello sviluppo dei modelli prognostici accoppiati fisico-chimici-economici-sociali è imperativo.

In Italia, ci sono alcuni gruppi di ricerca coinvolti nella generazione di proiezioni globali del sistema fisico, e contribuiscono alle integrazioni CMIP utilizzate per stilare i rapporti IPCC. Nelle proiezioni a scala regionale, un centro di ricerca internazionale localizzato in Italia è all’avanguardia e fornisce contributi fondamentali in tale campo. Nell’area dello sviluppo di modelli accoppiati fisico-economici, alcuni gruppi italiani hanno sviluppato modelli e contribuiscono alla ricerca della stima dell’impatto economico del cambiamento climatico.

## Impatti, rischi e vulnerabilità

Il cambiamento climatico e la più ampia crisi ecologica definita Antropocene stanno avendo conseguenze drammatiche sia sui sistemi bio-fisici sia sulle società e i loro membri. Sebbene gli impatti diretti del cambiamento climatico siano bio-fisici nella loro natura (erosione del suolo, desertificazione, perdita di bio-diversità e così via), sono poi importanti gli impatti indiretti vissuti nei contesti socio-economici come nuove scarsità o accelerazioni di situazioni già negative. Tali conseguenze sociali possono prendere le forme più disparate: perdita di habitat, migrazioni, carestie, conflitti, degrado di beni comuni, paure, stress collettivi, malattie, e così via. La recente stesura del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2017), conferma che gli effetti del cambiamento climatico saranno destinati ad aumentare nel tempo. Si propone quindi in questo capitolo di considerare in maniera possibilmente integrata – anche per rispondere a uno spirito di interdisciplinarietà che pervade la letteratura scientifica sul cambiamento climatico – gli impatti bio-fisici e quelli socio-economici.

Ulteriori approfondimenti su questo tema sono contenuti nell’Ambito “Sicurezza Strutture, Infrastrutture e Reti”.

### Impatti locali e globali e loro interdipendenze

I rischi climatici sono globali non solo perché si manifestano con impatti diffusi su tutto il pianeta, ma anche perché le interdipendenze generate dalla globalizzazione comportano la redistribuzione di diversi effetti. Questo implica complessità ed incertezze nel prevederne gli effetti deleteri. Il modo in cui i rischi si distribuiscono a livello globale dovrebbe anche servire a individuare e studiare gli eventi che causano i danni maggiori. Le proposte di ricerca e approfondimento si concentrano principalmente sugli impatti locali, ma questi non sono dovuti solo alle manifestazioni locali degli impatti diretti, ma anche alle manifestazioni diffuse degli impatti indiretti, come per esempio le migrazioni climatiche che, sebbene originatesi in altri continenti, avranno impatti su tutti i paesi del



pianeta. Sono inoltre un importante tema di ricerca le interazioni storicamente avvenute tra cambiamenti climatici e l'organizzazione sociale e produttiva, la cultura materiale e abitativa, e più in generale le configurazioni socioeconomiche delle società.

### Osservazione e previsione degli impatti

Gli impatti del cambiamento climatico possono essere sia osservati sia previsti. Nel caso delle osservazioni si utilizzano opportuni sistemi di monitoraggio finalizzati a raccogliere i dati relativi ai fenomeni analizzati. Tali dati vengono successivamente elaborati attraverso specifici indicatori che consentono la valutazione dell'andamento del fenomeno nel tempo. Gli indicatori possono essere inoltre combinati secondo opportuni algoritmi in indici sintetici, come ad esempio il *"Climate Risk Index"* o il *"Lifeyears Index o il Social Vulnerability Index"*, anche a fini previsionali. Nel caso della previsione gli strumenti di identificazione e valutazione dei rischi di impatti futuri, specialmente, come suggerito dall'IPCC, del modo in cui tali rischi cambiano in relazione alla dimensione del cambiamento climatico e in relazione agli investimenti – economici, politici e sociali - in adattamento, sono ancora soggetti a dibattito. I metodi di valutazione degli impatti appartengono a due approcci differenti. Da un lato vi è l'analisi *"top-down"* che fornisce informazioni sugli impatti plausibili tentando di rappresentare le differenti sorgenti di incertezza presenti nella catena di processi. Dall'altra vi sono gli approcci *"bottom-up"* che fondano la loro analisi sulla comprensione delle esistenti pressioni sul sistema: tra le vulnerabilità vengono quindi considerati anche i fattori non-climatici e non-fisici che esercitano pressioni sul sistema stesso come nel caso della povertà. I processi conoscitivi che permettono di "prevedere" sono tuttavia molto difficili. L'incertezza domina tutte le analisi previsionali di pericoli, rischi, vulnerabilità. In ogni caso, come ricordato dall'IPCC, mentre le scienze biofisiche dovrebbero stimare il rischio in termini materiali, ossia stimare le conseguenze materiali dell'interferenza umana con il sistema clima, le scienze sociali si dovrebbero occupare di stabilire il valore (socio-economico) del rischio e giudicare quanto possa essere dannoso sulla base dei valori sociali attribuiti a tali danni. Qui, gli approcci della scienza della sostenibilità, dei sistemi socio-ecologici e del pensiero della resilienza possono costituire un comune frame scientifico.

### Rischi

I rischi sono la componente ancora non attualizzata degli impatti, ossia gli impatti prevedibili. I rischi sono definiti dalla seguente formula:  $R = P \times V \times E$  (pericolo x vulnerabilità x esposizione), riassunta graficamente in figura 4.1. Il rischio di un evento che qualcuno o qualcosa subisce è proporzionale al pericolo, ossia alla probabilità che l'evento si verifichi e alla gravità del suo danno, alla vulnerabilità di chi subisce ed alla sua esposizione all'evento (vedi anche glossario in Appendice 1). Perciò, è la preliminare definizione dei pericoli (ossia la fonte generatrice del rischio) da affrontare che identifica la distribuzione (dei rischi) da correggere, le persone esposte da proteggere, e le vulnerabilità da combattere. La definizione e valutazione dei rischi sono sempre soggette a incertezze, carenza di conoscenza, dispute, conflitti, accettabilità, anche perché le componenti del rischio cambiano nel tempo e nello spazio.



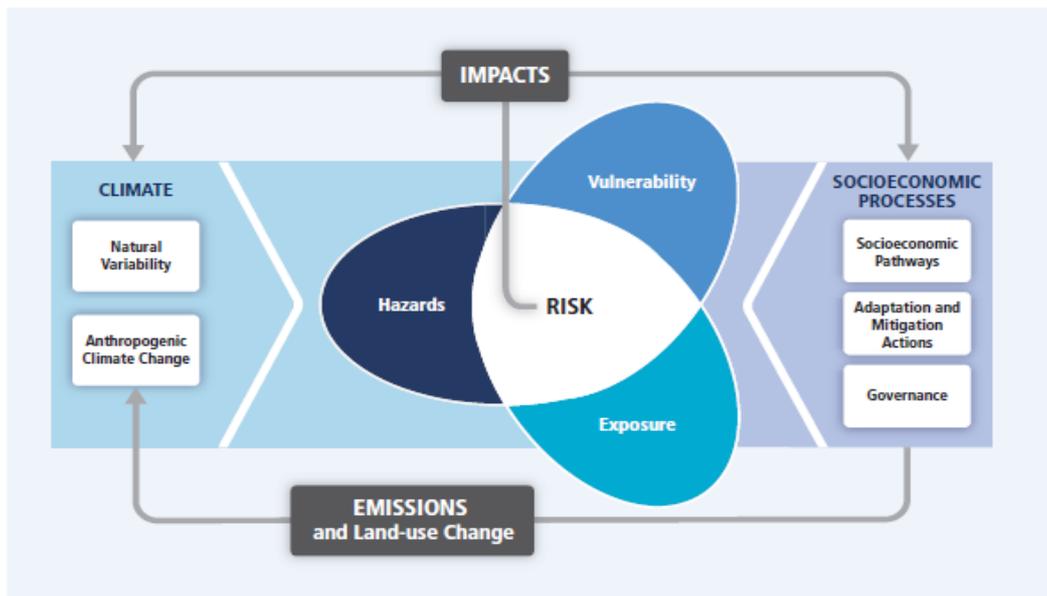


Fig. 4 Rischi bio-fisici

### Rischi bio-fisici

I rischi bio-fisici che il nostro paese dovrà affrontare nei prossimi decenni riguardano, come sottolineato dal (PNACC, 2017), la riduzione della qualità e della disponibilità di risorsa idrica, con particolare riferimento alla stagione estiva nelle regioni meridionali e nelle piccole isole; l'alterazione del regime idrogeologico, con conseguente aumento del rischio frane e alluvioni, in particolare nell'area del bacino del Po e nelle aree alpine e appenniniche; l'aumento dei fenomeni di erosione, inondazione costiera e desertificazione; un maggior rischio di incendi boschivi, in particolare nella zona alpina e nelle regioni insulari; l'incremento del rischio di perdita di specie e riduzione della biodiversità terrestre e marina, e dei servizi ecosistemici, compresa l'invasione di specie invasive. Inoltre, potrebbero verificarsi degrado, impatti fisici e perdita di sicurezza dei sistemi urbani e dei patrimoni costruiti derivanti da impatti di allagamento, tempeste di vento, ecc. (su coperture, piani terra, superfici urbane, parchi e spazi verdi); infine potrebbero verificarsi impatti sui sistemi infrastrutturali (infrastrutture urbane, linee di trasporto, infrastrutture verdi, sottoservizi, ecc.), sulle condizioni di sicurezza urbana ed elevato "discomfort" "indoor" e "outdoor" dovuto a ondate di calore, tempeste di vento, siccità.

### Rischi sociali ed economici

L'analisi dei rischi socio-economici non provenienti dal cambiamento climatico è da tempo materia di ricerca delle scienze sociali, economiche e mediche. Il cambiamento climatico determina nuovi impatti e rischi che entrano a far parte dell'agenda di ricerca di tali discipline. La più ampia che si va formando è quella medica che ritiene il cambiamento climatico in grado di suscitare gravi rischi per la salute. Il cambiamento climatico può influenzare l'evoluzione delle malattie trasmissibili e non, e l'incremento della mortalità/morbilità associata agli eventi estremi come ondate di calore, inondazioni, incendi, e patologie trasmesse dall'acqua e dagli alimenti. Tali minacce implicano l'aumento dei costi di protezione sociale e di welfare. Può inoltre presentare gravi minacce per il mantenimento e la sicurezza degli habitat urbani e rurali delle persone creando le condizioni per migrazioni più o meno forzate. Ovviamente nel caso dei rischi per gli habitat (urbani e rurali), la ricerca deve prendere in considerazione anche gli impatti che avvengono in zone differenti da quelle "nazionali" perché le conseguenze sono imprevedibili e globali. Il rischio climatico minaccia le sicurezze materiali delle società come quelle alimentare, energetica e idrica. La diminuzione della fertilità delle aree agricole, dell'attività ittica e dell'acquacoltura comporta l'aumento dei prezzi del cibo; eventi estremi e diminuzione della disponibilità d'acqua creano delle discontinuità nella produzione energetica e fanno aumentare le controversie tra utenti finali (usi domestici, energetici, agricoli, industriali). I rischi climatici minacciano l'economia da diverse prospettive: il turismo forse è la principale, insieme con la conservazione dei patrimoni culturali, penalizzati anche nelle possibilità di fruibilità e accessibilità. Vi è inoltre la grande sfida della



produzione industriale: l'aumento delle temperature e l'intermittenza della disponibilità di energia riduce la produttività degli impianti e del lavoro. Le catastrofi mettono a repentaglio la produzione creando disoccupazione e mettono in pericolo la stabilità delle strutture industriali. Infine, i rischi hanno una dimensione esplicitamente sociale, politica e istituzionale. Esistono differenti percezioni collettive dei rischi che sono mediate dalle posizioni sociali dei membri, dalle istituzioni e dalla cultura. La percezione del rischio influenza ed è influenzata dal modo in cui il rischio è comunicato, governato, gestito, definito a livello sociale, anche nelle sue forme più contraddittorie. Qui è centrale il concetto di "governance" del rischio, che si riferisce al bisogno di gestire, in presenza di molti attori individuali, collettivi e istituzionali, pubblici e privati, i problemi connessi alla riduzione dei rischi. Come suggerisce anche l'IPCC, la progettazione della "governance" climatica dipende da come esperti, individui e organizzazioni percepiscono e prendono in considerazione i rischi e le incertezze del clima. Nessun metodo formale può aiutare a superare il gap tra analisi e decisioni, ma solo un'opportuna comunicazione e opportuni processi di trasformazione socio-economica.

### Vulnerabilità

La vulnerabilità può essere riferita sia a sistemi bio-fisici, sia a sistemi socio-economici. Le vulnerabilità sono in questo caso interdipendenti: sistemi bio-fisici vulnerabili possono influenzare la vulnerabilità sociale così come un sistema sociale dinamico può ridurre le vulnerabilità dei sistemi bio-fisici. La vulnerabilità può essere definita come "la propensione di un sistema ad essere influenzato negativamente. Il concetto di vulnerabilità comprende una varietà di altri concetti ed elementi tra i quali la suscettibilità al danno e l'incapacità di far fronte o adattarsi ai cambiamenti climatici" (IPCC). Le vulnerabilità e le loro differenze sono generate da fattori non climatici e da disuguaglianze multidimensionali prodotte da processi di sviluppo ineguale. Queste differenze influenzano i differenziali di rischio del cambiamento climatico. Persone che sono socialmente, economicamente, culturalmente, politicamente, istituzionalmente marginalizzate sono significativamente vulnerabili al cambiamento climatico e anche a risposte di adattamento e mitigazione. Tali vulnerabilità non sono mono-causali, ma il prodotto di processi intersecanti provenienti da disuguaglianze di status e reddito, così come da processi di discriminazione basati sul genere, la classe, l'etnicità, l'età (IPCC, 2014).

#### Vulnerabilità bio-fisiche

Le vulnerabilità bio-fisiche sono materia di ricerca delle scienze naturali che da tempo si occupano dell'elevata fragilità idrogeologica dei territori, dei processi di erosione costiera, di desertificazione e degrado del territorio. Un altro cluster d'indagine può essere relativo ai fenomeni di urbanizzazione e sprawl urbano con consumo di suolo o eccessiva densità urbana, che implicano di conseguenza la vulnerabilità fisica del territorio e dei sistemi insediativi, alla scala urbana e degli edifici, per inadeguatezza delle caratteristiche tipo-morfologiche, costruttive e ambientali ai pericoli di ondata di calore, inondazioni, tempeste di vento, innalzamento del livello del mare. La vulnerabilità territoriale può comprendere anche quelle infrastrutture che presentano debolezze strutturali ed organizzative come le reti di telecomunicazioni, elettricità, trasporti, idriche, o le infrastrutture sanitarie, pubbliche e di sicurezza. Infine, presenza di ecosistemi fragili e sensibili al cambiamento climatico, già minacciati da altri fattori; gestione non sostenibile delle risorse (es. risorse idriche, territorio, ecc.) che le rende più suscettibili di subire conseguenze rispetto al cambiamento climatico.

#### Vulnerabilità socio-economiche

Qui facciamo riferimento essenzialmente alla necessità di sviluppare la ricerca sulle vulnerabilità socio-economiche che amplificano gli impatti del cambiamento climatico. La presenza di rilevanti disuguaglianze di salute, età, genere, reddito, etniche in relazione a protezione sociale, welfare, povertà (anche energetica) e disoccupazione, incidono sulle vulnerabilità fronte degli impatti da cambiamento climatico. Inoltre, facciamo riferimento a vulnerabilità sociali come la diffusa presenza in una società di insicurezze, paure, preoccupazioni, sfiducia sociale e istituzionale, disordine e anomia sociale, conflitti per le risorse, discriminazioni, degrado sociale. La percezione pubblica del cambiamento climatico è influenzata da diversi fattori (pregiudizi, ideologie, interessi), ma può cambiare di fronte all'esperienza e alle conseguenze del cambiamento climatico. In ogni caso tale percezione può generare atteggiamenti in grado di facilitare o rendere più difficile l'implementazione delle politiche climatiche. Dove sono presenti conflitti,



controversie, proteste è più difficile far fronte agli impatti del cambiamento climatico. Infine, ci preme qui sottolineare che quei paesi, regioni o città che presentano alti livelli di populismo, scetticismo scientifico e negazionismo climatico, sono molto più vulnerabili di fronte al cambiamento climatico perché non in grado di mobilitarsi per prevenirne gli impatti.

### Catastrofi e resilienza

Vi sono ancora molte controversie sulla possibilità di distinguere efficacemente i disastri naturali da quelli tecnologici, come è nel caso della recente pandemia (naturale) e del cambiamento climatico (tecnologico). Normalmente si ritiene che gli impatti sociali delle catastrofi tecnologiche siano più gravi di quelli delle catastrofi naturali. Questo perché, molti degli impatti più gravi sono associati non alla semplice distruzione fisica, ma all'ambiguità del danno. A differenza delle catastrofi naturali - che spesso portano alla nascita di una comunità «terapeutica» in grado di garantire spontaneamente assistenza alle vittime - le catastrofi tecnologiche tendono a essere seguite dall'emergere di comunità corrosive, spesso caratterizzate da conflitti e controversie il cui effetto è spesso quello di dividere la comunità e ritardare o impedire l'avvio del recupero. Inoltre, occorre ricordare come, di fronte ai lunghi elenchi di pericoli che ci fronteggiano, questi siano diventati, nella loro insolubilità, un elemento di sottofondo delle nostre preoccupazioni. I temi di ricerca che possono essere sviluppati in relazione ai modi di affrontare le catastrofi da cambiamento climatico sono numerosi, importanti e poco sviluppati:

- Il ruolo delle istituzioni e della società civile nella pianificazione delle strategie di prevenzione, gestione e protezione dalle catastrofi tenendo presenti aspetti etici e di equità.
- Strutture e processi normativi e di governance, compresi diritti umani, trasparenza, responsabilità, partecipazione;
- Modelli di conoscenza per le valutazioni di impatto multirischio pre-disastro e per il monitoraggio post-disastro.
- Sistemi di assicurazione contro i disastri: “*catastrophic bonds*”
- Capitale umano e capitale sociale ossia coesione sociale tra individui, organizzazioni della società civile, imprese e agenzie governative;
- Politiche e servizi sociali, come protezione sociale, servizi di salute preventiva e curativa, per aumentare la resilienza di fronte ai cambiamenti climatici;
- Epistemologie e differenti forme di dati e conoscenza, inclusi i saperi indigeni e quelli basati sulle pratiche (IPCC, 2021) per migliorare la comprensione e memoria sociale degli eventi catastrofici (definibili come approcci transdisciplinari).

Questo elenco rimanda alla definizione di resilienza e al suo quasi-opposto, il concetto di vulnerabilità. Per brevità, possiamo sostenere che, sebbene esista una stretta relazione tra vulnerabilità e resilienza, esse non sono le due facce della stessa medaglia. La creazione di comunità resilienti richiede uno sforzo organizzativo, economico e culturale che va oltre la semplice riduzione delle vulnerabilità.

## Mitigazione

I paesi sottoscrittori della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) hanno concordato, durante i lavori della COP (“*Conference of the Parties*”) di Parigi del 2015, di limitare al di sotto dei 2°C l'aumento della temperatura superficiale media globale rispetto al periodo pre-industriale. Per conseguire tale obiettivo, le emissioni globali di gas a effetto serra devono diminuire rapidamente, con l'obiettivo di raggiungere zero emissioni nette di gas serra entro il 2050.

Nel 2011, la Commissione Europea (CE) ha adottato una “*Roadmap*” al 2050 in cui mira a ridurre, entro tale data, le emissioni di gas serra dell'80 - 95% rispetto ai livelli del 1990. Ancor più di recente, il 28 novembre 2018, la CE ha presentato la sua visione strategica a lungo termine (“*Long Term Strategy*”) che punta alla realizzazione di una neutralità climatica entro il 2050. Per raggiungere questo scopo è necessario agire sul breve termine, con una riduzione annuale delle emissioni del 5%.



Inoltre, a seguito dell'entrata in vigore dell'Accordo di Parigi (2015), l'Unione Europea (UE) ha dato un'accelerazione ai suoi impegni, tanto da aggiornare il Pacchetto Energia e Clima 2030 e a richiedere a ciascun Paese membro l'elaborazione – secondo un format concordato dalla Commissione – di un proprio Piano Integrato Energia e Ambiente, dove si richiede l'analisi di 5 dimensioni: decarbonizzazione; efficienza e sicurezza energetica; mercato interno dell'energia; ricerca e innovazione; competitività.

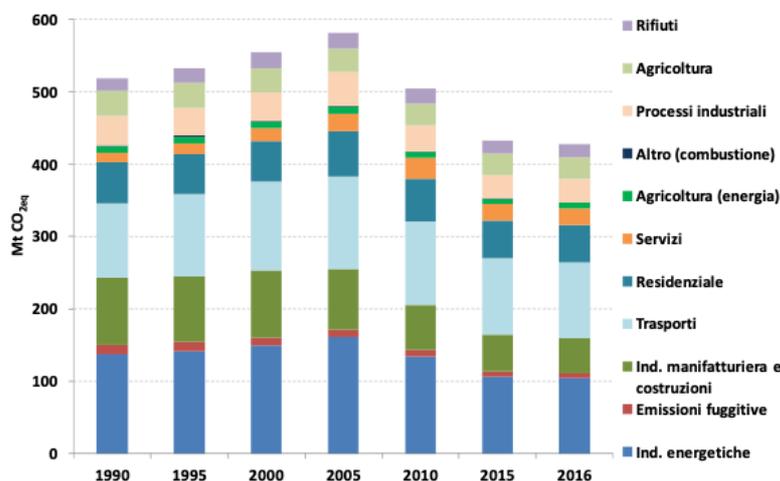


Fig. 5 Le emissioni di gas a effetto serra dell'Italia espresse in termini di CO<sub>2</sub> equivalenti per i diversi settori in anni recenti.

L'Italia ha pubblicato il 21 gennaio 2020 il proprio PNIEC definitivo, la cui elaborazione è stata formulata seguendo il processo di consultazione previsto e richiesto dal regolamento europeo, e che ha visto intervenire Regioni, Associazioni ed Enti locali. Il Piano prevede obiettivi di riduzione delle emissioni, target di sviluppo di fonti rinnovabili ed efficienza energetica impegnativi.

I suddetti obiettivi possono essere raggiunti solo agendo contemporaneamente, rapidamente e in modo consistente sulle emissioni in tutti i settori, con particolare riferimento a quelli più strettamente connessi alle principali fonti di gas serra: la combustione di carburanti fossili (carbone, petrolio e gas naturale) dovute alla generazione di energia elettrica, ai trasporti, al settore civile e industriale (CO<sub>2</sub>); l'agricoltura (CH<sub>4</sub>) e i cambiamenti nelle destinazioni d'uso del suolo, come per esempio la deforestazione (CO<sub>2</sub>); le discariche (CH<sub>4</sub>); l'uso di gas fluorurati di origine industriale. Le emissioni di gas a effetto serra nel nostro Paese sono illustrate, per settore, in Fig. 5.1 (fonte ISPRA 2018).

La priorità va data ad azioni che portino ad una riduzione delle emissioni di gas serra, tuttavia il ritardo con cui queste azioni si stanno sviluppando e l'urgenza del problema ingoano di prendere in considerazione anche azioni che portino alla rimozione dei gas serra dall'atmosfera tramite tecnologie raggruppate di Carbon Dioxide Removal (CDR), anche note con l'acronimo NET (Negative Emission Technologies). Ciò può avvenire in modo "naturale", per esempio attraverso la riforestazione e il ripristino degli ecosistemi degradati (boschi, paludi, praterie), in modo da potenziare i bacini naturali di stoccaggio della CO<sub>2</sub> (natural carbon sink), oppure con impianti CCS (Carbon Capture and Storage) da applicare alle centrali a combustibili fossili o alle bioenergie (si parla, in quest'ultimo caso, di BECCS, Bioenergy with Carbon Capture and Storage), fino ai NET Buildings e al ciclo dei materiali. Si tratta di tecnologie complesse, che presentano lati positivi e negativi e devono essere studiate e valutate attentamente.

I processi di mitigazione dovrebbero primariamente affrontare i drivers del cambiamento. Per diminuire le emissioni di gas serra occorre non solo ragionare sulle soluzioni tecniche relative ai differenti settori maggiormente impattanti, ma guardare anche ai meccanismi socio-economici che stanno dietro i processi di produzione di gas serra. Con questo approccio diventa quindi importante considerare: i) le relazioni tra cicli socio-economici (espansione, recessione, depressione, globalizzazione) ed emissioni di gas serra; ii) il "coupling" o "decoupling" tra PIL (prodotto interno lordo) pro-capite ed emissioni di gas serra; iii) l'intensità carbonica del PIL globale e delle nazioni; iv) l'"intensità



carbonica del benessere umano” (CIWB), che è il rapporto tra le emissioni pro-capite di gas serra e la misura del benessere umano; iv) la disparità nel consumo di energia, sia diretta che indiretta, che influenza la distribuzione dei benefici derivanti dal consumo di energia (i beni ad alta intensità energetica tendono a essere più elastici, portando a impronte energetiche più elevate per gli individui ad alto reddito; la quota di consumo della metà più povera della popolazione è inferiore al 20% delle impronte energetiche finali, che a sua volta è inferiore all’energia consumata dal 5% più ricca della popolazione); v) trend storici delle emissioni per paese e per settore economici.

Per individuare i drivers del cambiamento climatico occorre utilizzare delle metodologie di contabilità dei gas serra emessi e incorporati, ossia emissioni dirette e indirette, che circolano sulla base della movimentazione commerciale dei beni di consumo (ciclo mercantile dei gas serra). Alcune metodologie di contabilità carbonica sono le seguenti: “*Carbon Footprint*”, “*Material and Energy Flows Accounting*”; “*Life Cycle Analysis*” di prodotto e di processo; “*Input-output*” e metodo Namea; analisi energetica ed exergetica.

### Produzione di energia

La questione dell’energia o, più precisamente, il consumo energetico complessivo e la dipendenza dai combustibili fossili sono uno degli elementi chiave per riuscire a limitare il cambiamento climatico. C’è urgente necessità di ridurre le emissioni in atmosfera causate dall’uso dei combustibili fossili. Tanti sono i possibili ambiti d’intervento, dal miglioramento dell’efficienza delle forniture e della distribuzione, al passaggio alle energie rinnovabili (energia idroelettrica, solare, eolica, geotermale e bioenergia) ed energie rinnovabili avanzate (energia da moto ondoso e mareale, solare concentrato, e solare fotovoltaico), le applicazioni di CCS (“*Carbon Capture and Storage*”) come lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> o del carbonio in depositi alternativi all’atmosfera. (Ulteriori approfondimenti nell’Ambito “Energistica industriale”)

### Trasporti

I possibili interventi nel settore trasporti sono molteplici, fra cui: un miglioramento dell’efficienza dei veicoli e dei carburanti, diffusione di nuovi veicoli elettrici e ibridi avanzati (con batterie più potenti e affidabili) e utilizzo di combustibili alternativi per il trasporto aereo e navale; lo sviluppo dei biocarburanti (di seconda, terza e quarta generazione); la pianificazione urbanistica, i sistemi di trasporto pubblico e i trasporti non motorizzati (bicicletta, a piedi); la trasformazione modale dal trasporto su gomma al trasporto su rotaie e alla navigazione di costa e fluviale. I biocarburanti possono svolgere un ruolo importante nella mitigazione delle emissioni di gas serra. Si deve ovviamente puntare su quei biocarburanti prodotti con tecniche di produzione che non comportano sottrazione di terreno agricolo alla produzione alimentare o cambi di destinazione agricola; si tratta di prodotti ottenuti con altre tecniche e altre materie prime, per esempio legno e cellulosa, alghe o miscanto, un arbusto che può essere coltivato in terreni residuali. Il miglioramento della logistica e dello shift modale possono portare ad una riduzione del 20% delle emissioni del settore. L’avvento della pandemia, assieme al plausibile sviluppo del lavoro agile, avrà un notevole effetto sulle modalità di mobilità delle persone e delle merci. (Ulteriori approfondimenti nell’Ambito “Mobilità sostenibile”)

### Ambiente costruito

Le città e gli edifici hanno bisogno di una progettazione integrata, indirizzata alla creazione di eco-distretti urbani orientati alla mitigazione climatica e incentrata su una molteplicità di possibili interventi, quali: la minimizzazione dell’uso di risorse materiali ed energetiche; la riduzione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione invernale ed estiva tramite migliori isolamenti, il riscaldamento e il raffreddamento solare attivo e passivo, l’utilizzo di fluidi di refrigerazione alternativi; l’uso efficiente della risorsa acqua (“*storage*”, riciclo, ecc.); il “*deep retrofit*” tecnologico alla scala edilizia e urbana; l’applicazione di principi NZEB (“*Nearly Zero Energy Building*”); l’“*Active Buildings*” e l’autosufficienza energetica attraverso la produzione da fonti rinnovabili integrate negli edifici (BIPV, “*Building Integrated Photovoltaics*”) o a esse riferite, quali la geotermia; il controllo delle emissioni GAS SERRA nel ciclo di vita di edifici e infrastrutture (sistemi e componenti edilizi); l’utilizzo di tecnologie come i contatori intelligenti, che forniscono feedback e controllo, come pure il solare fotovoltaico integrato nelle costruzioni.



In senso più generale, è necessario riprogettare e riqualificare l'ambiente costruito attraverso nuovi modelli insediativi e principi di metabolismo territoriale, urbano ed edilizio, per la decarbonizzazione e l'efficienza energetica a scala edilizia (densità urbana, tracciati, efficienza energetica e riduzione delle emissioni; morfologia edilizia e urbana; tipologie edilizie e aggregati edilizi; soluzioni tecnologiche per edifici e spazi aperti; tecnologie innovative per sistemi e componenti edilizi e impiantistici; processi di riciclo e riuso a fine ciclo di vita) e l'integrazione di NBS ("*Nature Based Solutions*") in ambito urbano. È necessario creare una continuità delle reti infrastrutturali verdi e blu nella progettazione multi-scalare (per esempio, coperture e facciate verdi, "*greening*" urbano, de-impermeabilizzazione, ecc.). Tutti gli strumenti di pianificazione potrebbero diventare occasioni d'integrazione intersettoriale delle politiche per il clima; analogamente sia per i SIT (Sistemi Informativi Territoriali) che per altri processi d'intervento sui territori e sugli ambiti urbani potrebbero riguardare la distribuzione, la tipologia e lo stato di conservazione di beni culturali, archeologici, architettonici, ecc. per focalizzare le tematiche della mitigazione climatica. Questa riprogettazione deve puntare a un approccio partecipativo della cittadinanza e dei player locali, secondo una visione "*glocal*": operare per la tutela e la valorizzazione di identità, tradizioni e realtà locali, pur nel contesto della globalizzazione ("*Think global, act local*"). (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Energistica ambientale")

### Industria

Nel settore industriale occorre diminuire la domanda energetica dei settori energivori, dove circa il 40% delle emissioni può essere evitata dallo sviluppo dell'economia circolare. Il nuovo Piano di Azione dell'Economia Circolare evidenzia il grande apporto che la transizione circolare può offrire, sia come beneficio in termini di minori emissioni dei processi e sistemi produttivi più circolari (quali, per esempio, nuovi modelli di business tipo simbiosi industriale) sia in termini di assorbimenti di carbonio (per esempio, stoccaggio a lungo termine di carbonio nel legno da costruzione; riutilizzo e stoccaggio di carbonio in prodotti tramite la mineralizzazione nei materiali da costruzione). Sicuramente strumenti come la "*carbon footprint*", la diagnosi delle risorse combinata con la diagnosi energetica possono fornire un utile supporto nell'indirizzare una riconversione delle attività industriali verso modelli di produzione "*low carbon*" e circolari. Nel settore industriale, la simbiosi industriale è lo strumento innovativo più potente per ridurre emissioni e rifiuti e valorizzare gli scarti produttivi.

In questo settore è possibile sviluppare modalità e tecnologie (per esempio tramite l'automazione di processo) per un uso più efficiente delle apparecchiature elettriche, il recupero di energia e calore, il riciclo e la sostituzione dei materiali, il controllo delle emissioni di gas non CO<sub>2</sub>. Anche un adeguamento della logistica può fornire importanti contributi. L'innovazione di materiali e processi produttivi per la riduzione delle emissioni gas serra, con riferimento a settori industriali energivori e ad alto impatto (cemento, acciaio, ecc.) è certamente una delle priorità da perseguire, anche nel comparto delle costruzioni agendo su specifiche aree di intervento (cfr. documento MISE 2020: rifiuti da costruzione, materiali e componenti edilizi, progettazione e gestione delle costruzioni). (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Energistica industriale")

### Servizi idrici

Il settore dei servizi idrici, e in particolar modo il trattamento delle acque reflue, in Italia e nel mondo, è ancora largamente basato su modelli energeticamente poco efficienti. Il potenziale impatto in Italia risulta significativo, considerando che il solo ciclo idrico integrato (captazione e distribuzione dell'acqua potabile, collettamento e trattamento dei reflui) richiede operazioni particolarmente energivore che assorbono oltre il 2% dei consumi energetico nazionale. Sono necessarie dunque misure volte sia al risparmio idrico che all'efficienza energetica in tutti i settori di gestione delle risorse idriche al fine di ridurre la domanda di energia. Allo stesso modo, le acque reflue non trattate sono di per sé un'importante fonte di gas serra e l'utilizzo di appropriate tecnologie di trattamento delle acque reflue svolge un ruolo chiave in termini di riduzione delle emissioni di gas serra, con la potenzialità di trasformare i sistemi fognari e depurativi in produttori netti di energia e di risorse. Vista la rilevanza dell'energia termica contenuta nelle acque reflue, devono infine essere valutate le modalità di recupero ottimali di tale forma energetica o nella rete fognaria, tenendo conto dell'impatto sull'efficienza degli impianti di depurazione, o, in alternativa, dai reflui depurati in uscita dall'impianto.



## Agricoltura

L'agricoltura e il cambiamento climatico si caratterizzano per una complessa relazione di causa-effetto. Il settore agricolo, da un lato, genera rilevanti quantità di gas serra e, al contempo, ne subisce gli impatti derivanti dai complessi effetti sui processi alla base dei sistemi agricoli. L'aumento della concentrazione di GAS SERRA nell'atmosfera, l'incremento delle temperature, nonché modifiche nel regime delle precipitazioni e nella frequenza di fenomeni estremi hanno, infatti, ripercussioni sul volume, sulla qualità e sulla stabilità della produzione agricola e zootecnica, ma anche sull'ambiente naturale in cui si praticano le attività agricole. Ciò può portare all'abbandono di terreni agricoli svantaggiati dal punto di vista climatico in alcune parti dell'Europa meridionale. Il mutamento del clima, inoltre, incide sulla disponibilità di risorse idriche, sulla proliferazione di organismi nocivi, condizionando la produzione agricola. Peraltro, le ripercussioni del cambiamento climatico al di fuori dell'Europa può influenzare il prezzo, la quantità e la qualità dei prodotti agricoli e, di conseguenza, i modelli commerciali, che a loro volta possono influire sul reddito agricolo in Europa

Per quanto attiene specificatamente alla mitigazione, l'agricoltura e, in particolare, la zootecnia sono considerate fonti rilevanti di produzione di gas serra, principalmente metano, ammoniaca e protossido di azoto, determinate principalmente dalla gestione delle deiezioni animali (attraverso vari meccanismi e in varie fasi di gestione), dall'utilizzo dei fertilizzanti organici e di sintesi, dall'impiego di carburanti di origine fossile (gasolio a uso agricolo), dalla combustione delle biomasse. Si possono individuare svariate azioni mirate a ridurre le emissioni. Possiamo citare la copertura delle strutture di stoccaggio di liquami, l'applicazione di corrette modalità di spandimento dei liquami e l'interramento delle superfici di suolo oggetto dell'applicazione di fertilizzanti. Si possono citare ancora le buone pratiche agricole che consentono una riduzione del numero di operazioni agricole, fra cui i trattamenti fitosanitari, e tutte le pratiche di agricoltura conservativa. Nel bilancio del contributo dell'agricoltura alla emissione di gas serra sono anche da considerare tutte quelle tecniche agronomiche che aumentano la fissazione e lo stoccaggio del carbonio sia nei tessuti vegetali che nel suolo. Per esempio: tecniche di lavorazione del suolo; gestione dei residui colturali; utilizzo del biochar; cover crop, consociazioni, inerbimenti permanenti; avvicendamenti colturali e nuove coltivazioni. Un ruolo determinante nel favorire la resilienza delle colture e il conseguente minor utilizzo di input di produzione (prodotti fitosanitari e fertilizzanti di sintesi) lo gioca il microbioma del suolo, che va rafforzato attraverso l'utilizzo di consorzi microbici specifici per i territori oggetto di intervento. Anche il miglioramento genetico può contribuire, tramite la selezione genotipi più efficienti in questo senso. Tutte queste azioni contribuiscono al mantenimento degli agro-ecosistemi e alla fornitura di servizi ecosistemici in un senso molto più ampio del solo "climate regulation". È però necessario supportare gli agricoltori in questo cambiamento di pratiche colturali e di gestione del territorio attraverso meccanismi di PES (*"Payment of Ecosystem Services"*).

Si considera che il potenziale tecnico di mitigazione globale del settore agricolo ammonti a 1,5-4,0 Gt CO<sub>2</sub> eq./anno (giga tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente all'anno) entro il 2030, di cui l'89% risiede nel mantenimento e nell'incremento della capacità di assorbimento di carbonio organico all'interno dei terreni e della vegetazione e l'11% circa è atteso dalla riduzione delle emissioni. (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Tecnologie alimentari")

## Silvicoltura

Secondo l'IPCC, la protezione delle foreste e la riduzione del degrado forestale è l'opzione di mitigazione che ha il potenziale più elevato anche in termini di benefici ambientali e sociali (0,4-5,8 Gt CO<sub>2</sub>-eq/anno). Forestazione, riforestazione, gestione delle foreste, lotta alla deforestazione; raccolta del legname; uso dei prodotti silvicolture per la produzione di bioenergia, sono tutte parole chiave per gestire questo miglioramento. Le attività di rimboschimento dovrebbero peraltro essere associate a misure di protezione dagli incendi boschivi in aree a rischio. Dobbiamo anche considerare il miglioramento delle specie di alberi per aumentare la produttività di biomassa e l'assorbimento di carbonio senza penalizzare la biodiversità.

Anche le azioni relative ad agricoltura e silvicoltura devono rientrare in un progetto più ampio di disegno e gestione del territorio. Si tratta di un complesso di misure che deve necessariamente essere improntato alla sostenibilità: l'adozione su larga scala di piani di rimboschimento e la diffusione di colture bioenergetiche associate a sistemi colturali per la cattura e lo stoccaggio di carbonio potrebbe aumentare il rischio di competizione per l'uso della Terra.



Le produzioni di bioenergia su scala locale, come anche le attività di rimboschimento di aree degradate, possono portare notevoli benefici per il ripristino e restauro ambientale di zone marginali. (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Green technologies")

### Rifiuti

Le emissioni di gas serra prodotte dai rifiuti corrispondono a circa il 3% del totale delle emissioni. La quantità di emissioni dai rifiuti dipende da come vengono trattati. Per esempio, quando i rifiuti vengono smaltiti in discarica, il materiale organico nei rifiuti si decompone e produce gas. La riduzione e il riciclo dei rifiuti possono contribuire efficacemente alla mitigazione delle emissioni di gas serra. In linea con la gerarchia dei rifiuti, è indispensabile puntare sulla prevenzione dei rifiuti partendo dalla eco-progettazione dei prodotti in termini minore utilizzo delle risorse, allungamento della vita utile (riparabilità, aggiornabilità) e riciclabilità (tracciabilità, facilità di disassemblaggio, assenza di sostanze pericolose). Sempre in linea con la gerarchia dei rifiuti, si dovrebbe promuovere il riuso dei prodotti interi o di loro parti/componenti (dopo eventuale riparazione ed aggiornamento). Infine, nelle operazioni di riciclo si dovrebbe privilegiare il recupero dei materiali, mentre la valorizzazione energetica dovrebbe essere limitata solamente alla frazione di rifiuti che non è possibile riciclare. Particolare importanza rivestono i prodotti complessi a fine vita contenenti materie prime strategiche (Cobalto, Litio, Neodimio, Tantalio, ecc.), quali RAEE (Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche), batterie di accumulo, veicoli a fine uso ed altri. Le emissioni derivanti dalla produzione primaria di tali materie prime sono sicuramente molto superiori alle emissioni associate alle operazioni di riciclo (anche di due ordini di grandezza).

Già esiste un'ampia gamma di tecnologie mature ed efficienti che possono, nel contempo, fornire benefici sulla salute e sicurezza pubbliche, sulla protezione del suolo e la prevenzione dell'inquinamento, il recupero e la valorizzazione di materie prime e nutrienti. Mancano però impianti per il riciclo selettivo delle materie prime strategiche e occorrono investimenti in sviluppo tecnologico, soprattutto su tecnologie di processo basate su approccio prodotto centrico, e per la realizzazione di impianti sul territorio nazionale.

### Salute e benessere

Il settore sanitario può contribuire alla mitigazione riducendo le proprie emissioni, ma in particolare collaborando in modo interdisciplinare per progettare e attuare misure che riducano le emissioni di gas serra massimizzando i co-benefici per la salute. Tuttavia anche i singoli individui o le comunità possono contribuire alla mitigazione riducendo e/o modificando alcuni consumi. Si calcola che il cambiamento verso diete a basso consumo di carne e una maggiore componente vegetale e di fibre contribuisca a ridurre l'incidenza di molte malattie cardiovascolari ed abbia contemporaneamente un potenziale di mitigazione di 0,7-8,0 Gt CO<sub>2</sub> eq./anno. Anche adottando stili di vita più sani, come ad esempio con l'aumento dell'attività fisica e un minor uso dell'auto, si può contribuire a ridurre i gas serra e a migliorare la qualità dell'aria in ambiente urbano. (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Tecnologie per la salute").

### Nota conclusiva

In conclusione è necessario sottolineare che il successo degli interventi di mitigazione, in tutti i settori, non può però prescindere da cambiamenti dello stile di vita, delle tipologie culturali e dei comportamenti dei singoli. I programmi di educazione e formazione possono, per esempio, aiutare a superare le barriere all'accettazione delle misure per l'efficienza energetica degli edifici, a orientare le scelte dei cittadini, ad aumentare la domanda di trasporto pubblico e ridurre l'utilizzo della mobilità individuale, a limitare la mobilità per lavoro sfruttando telelavoro, smart working, co-working e portare a stili di guida più consoni; a modificare la logistica con un riequilibrio del trasporto di merci fra terrestre, aereo e marittimo. In linea con questo discorso, l'incentivazione di forme cooperative, gruppi d'acquisto, gruppi informali e comunità territoriali potrebbe dare impulso e moltiplicare l'effetto degli interventi migliorativi dei singoli. Anche la riduzione degli sprechi alimentari passa attraverso un cambiamento delle abitudini; la riduzione dei rifiuti alimentari e agricoli può ridurre le emissioni di 0,8-4,5 Gt CO<sub>2</sub> eq./anno.

Infine, deve essere compreso come rilanciare il ruolo della cooperazione internazionale in ambito di mitigazione del cambiamento climatico. Senza uno sforzo in questa direzione il raggiungimento degli obiettivi di Parigi sarebbe impossibile. In questo ambito, la Ricerca e il coinvolgimento delle Università e degli enti di ricerca è fondamentale per



portare le tecnologie adeguate nei paesi in via di sviluppo, valutando gli impatti di tali trasferimenti in termini di mitigazione ed altri indicatori di sostenibilità e contribuendo al supporto del sistema produttivo italiano in termini di internazionalizzazione.

## Adattamento

### Adattarsi al clima che cambia

L'adattamento climatico è finalizzato a ridurre le vulnerabilità prevenendo e limitando i danni o sfruttando possibili opportunità a valle di impatti climatici sull'ambiente naturale e antropizzato, sul sistema socioeconomico e sulla salute umana. [IPCC, *"Climate Change 2007 Synthesis Report"*, 2008].

Nell'ultimo decennio, nei documenti tecnico-scientifici internazionali e nazionali il concetto di adattamento climatico è stato progressivamente focalizzato sulla sua interazione con impatti, rischi, vulnerabilità e opportunità multisettoriali [IPCC, Quinto Rapporto del Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico AR5, 2014], mentre l'efficacia della sua azione è stata sempre più associata alla capacità di ridurre la vulnerabilità e incrementare la resilienza dei sistemi. Con l'approccio clima-adattivo, si è rimarcata l'opportunità di ricercare interazioni con lo sviluppo sostenibile e di perseguire esiti complementari e non divergenti fra adattamento e mitigazione, creando sinergie e risparmi economici nella maggior parte dei settori e nelle transizioni dei sistemi naturali e antropici verso scenari *"climate proof"* [IPCC, Report *"Global Warming of 1.5 °C"*, 2018].

Nell'evoluzione della sua accezione, il concetto di adattamento climatico ha così visto spostare il proprio baricentro dal prevalente livello strategico e di azioni pilota verso un sistema più strutturato in cui sono connessi impatti, vulnerabilità e azioni settoriali che interessano i principali settori di attività o di salvaguardia dell'ambiente naturale e antropico e delle componenti socioeconomiche, approdando ad azioni e progetti in cui sono previsti anche adeguati livelli di pianificazione e progressivi processi di *"downscaling"*. Questi ultimi sono i soli che possono consentire interventi appropriati con il riscontro di dati attendibili, il coinvolgimento delle comunità e adeguati processi di monitoraggio per comprendere l'effettivo raggiungimento degli esiti attesi.

Se l'adattamento riguarda lo sviluppo di concezioni innovative e durature degli assetti dell'ambiente naturale e antropico - ovvero la comprensione, la pianificazione e l'azione per prevenire gli impatti in primo luogo, minimizzarne gli effetti e affrontarne le conseguenze - i benefici si estendono oltre le perdite umane, naturali e materiali evitate, poiché presentano effetti socioeconomici altamente significativi, con efficaci rapporti costi-benefici [*"European Climate Pact"*, UE, 2020]. Per essere efficace, la maggior parte delle iniziative di adattamento richiede una visione e una strategia nazionale, ma attuazioni a livello regionale e locale [Commissione europea Energia, cambiamenti climatici, ambiente. Azione per il clima - Adattamento climatico, 2020] perseguendo l'obiettivo della rimozione di alcuni ostacoli economici, istituzionali e socioculturali che possano inibire la transizione. Nelle accezioni maggiormente condivise, l'adattamento deve infine predisporre non solo come azione di mantenimento o ripristino, ma attuarsi in chiave dinamica e resiliente di gestione, prevenzione e predisposizione dei sistemi ambientali (sistemi urbani, edilizi, infrastrutturali, dell'ambiente naturale) e socioeconomici nei confronti degli impatti climatici inquadrabili in specifici scenari.

Ogni forma di adattamento deve tener conto delle convergenze con i principi della sostenibilità a fronte della limitatezza delle risorse, adottando misure *win-win* che permettano di conseguire obiettivi congiunti con quelli della mitigazione o della riduzione dell'inquinamento ambientale, accanto a misure *"no-regret"*, che permettano di conseguire benefici indipendentemente dall'entità degli impatti. Vanno inoltre individuati gli elementi di conflitto (utilizzo non sostenibile delle risorse, distribuzione non equa dei benefici dell'adattamento, limitazione delle capacità di adattamento di alcuni settori) dovuti ad azioni di *"mal-adattamento"*, che non riducono efficacemente la vulnerabilità ma la aggravano riducendo la capacità di fronteggiare gli impatti del cambiamento climatico [SNAC - Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, 2015].



## Strategie generali, natura settoriale e condizioni locali dell'adattamento

Nella “Strategia dell’UE di adattamento ai Cambiamenti Climatici” (2013), è individuato l’obiettivo di promuovere da parte degli Stati membri l’adozione di strategie globali di adattamento e piani d’azione, sostenendo l’adattamento in settori vulnerabili attraverso un processo decisionale più consapevole [EEA, Adattamento al Cambiamento Climatico, 2016]. Nella strategia per l’adattamento climatico, nel nostro paese si sono avuti due passaggi importanti con l’approvazione della “Strategia Nazionale di adattamento ai Cambiamenti Climatici” (SNAC, 2015) e con la proposta del “Piano Nazionale di adattamento ai Cambiamenti Climatici” (PNACC, 2017), in attesa di approvazione. Con tali documenti si è introdotto l’aspetto della natura settoriale – distrettuale, regionale e locale - dell’adattamento, rispetto al quale è determinate conoscere e valutare impatti e vulnerabilità al fine di adottare strategie, azioni e interventi che prevengano o contengano i danni derivanti dall’impatto dei fenomeni climatici. Un elemento qualificante è caratterizzato dalla rilevanza attribuita allo sviluppo e al ruolo che la ricerca scientifica dovrà assumere per indirizzare efficaci azioni di adattamento accanto alle sinergie con la mitigazione e lo sviluppo sostenibile, nonché all’attuazione di strategie di comunicazione, alla gestione dei disastri, alla dimensione transnazionale.

I settori individuati sono i seguenti: risorse idriche; ambienti marini; ecosistemi e biodiversità in acque interne e di transizione; zone costiere; dissesto geologico, idrologico e idraulico; desertificazione, degrado del territorio e siccità; ecosistemi terrestri; foreste; agricoltura e produzione alimentare; pesca marittima; acquacoltura; turismo; insediamenti urbani; trasporti; industrie e infrastrutture pericolose; patrimonio culturale; energia; salute; industrie e infrastrutture pericolose. Strategie, azioni e interventi a livello nazionale e locale richiedono tuttavia una costante interazione in chiave intersettoriale con la ricerca di una convergenza di misure tecnologiche, misure basate sugli ecosistemi e misure che promuovano cambiamenti comportamentali e di stili di vita della società per l’adattamento a nuove condizioni ambientali [European Green Deal, 2020], agendo nella consapevolezza che investire risorse nell’adattamento climatico significa investire nella qualità di vita delle comunità secondo visioni di lungo periodo.

Per la risorsa “acqua” (dalle risorse idriche agli ambienti marini, alle acque interne e alle zone costiere) le prospettive della ricerca per l’adattamento devono essere orientate a misure finalizzate a rinnovare e rafforzare l’assetto normativo e pianificatorio, a migliorare la capacità gestionale, a proteggere e aumentare l’integrità ecologica e la resilienza degli ecosistemi acquatici. Ulteriori obiettivi possono essere individuati nella conservazione e protezione degli ambienti marini e della linea di costa, delle condizioni di qualità ecologica, della prevenzione o minimizzazione del danno connesso alla possibile perdita o riduzione di servizi ecosistemici.

Nel campo dell’assetto del territorio va sostenuto il ricorso a sistemi di monitoraggio e gestione per il contenimento dei fenomeni di dissesto geologico, idrologico e idraulico, anche nel contrasto ai fenomeni di desertificazione, degrado e siccità, agendo inoltre a favore della riduzione del compattamento e dell’impermeabilizzazione del suolo. Vanno contenuti il ruscellamento superficiale e i fenomeni di *pluvial flooding*, incrementando la stabilità dei versanti e la riduzione di erosione, smottamenti e frane. Il contrasto del dissesto del territorio deve procedere di pari passo con azioni ecosistemiche della conservazione della biodiversità. La nuova politica agricola comune della UE (PAC 2021-2027), punta sull’adattamento attraverso il miglioramento della gestione del suolo e dell’acqua e la promozione di tecnologie innovative che aumentino la resilienza delle piante coltivate, l’agricoltura e la zootecnica di precisione accanto alla promozione dell’inclusione sociale [“*Climate change impacts and adaptation in the agricultural sector in Europe*”, EEA Report No 4/2019]. Per il turismo e per i beni culturali sono previste misure di tipo “non tecnico” con campagne di comunicazione e conoscenza, sensibilizzazione ed educazione, rivolte sia agli operatori che ai turisti stessi e alla popolazione, nonché misure gestionali o di programmazione (come per esempio la destagionalizzazione) e misure tecniche con azioni di adattamento “*green/grey*” e di prevenzione dei danni ai manufatti fisici.

Negli insediamenti urbani azioni prioritarie riguardano il sostegno alle realtà urbane e ai comuni a dotarsi, con appropriati processi di “*downscaling*”, di strategie e piani di adattamento locali con l’attuazione di progetti dimostratori (applicabili attraverso una loro replicabilità diffusa). Vanno promosse le linee di ricerca su interventi sperimentali nelle aree urbane, periurbane e rurali, anche promuovendo iniziative di riqualificazione e “*retrofit*” per contenere gli impatti climatici in maniera sinergica, cioè progettando i sistemi integrati edifici, spazi aperti, verde urbano, infrastrutture e servizi, con la capacità di ridurre la vulnerabilità dei sistemi salvaguardando nel contempo servizi ecosistemici e biodiversità. Di interesse strategico sono gli interventi sperimentali di adattamento nelle



periferie e nei centri storici con riferimento all'innovazione nel campo del progetto urbano, degli edifici e degli spazi aperti in termini, per esempio, di comfort indoor e outdoor, di prestazioni termo-igrometriche, di fruibilità o di salute e sicurezza, includendo la riduzione della vulnerabilità sociale dovuta alle caratteristiche dell'ambiente costruito. Nella componente strategica e progettuale in campo ambientale, l'adattamento climatico in ambito urbano va attuato attraverso la transizione dei distretti urbani verso "eco-distretti", ampiamente sperimentati negli ultimi 20 anni nel contesto europeo, caratterizzati da innovative qualità ecosistemiche e di resilienza (interventi di adattamento relativi a densità edilizia, principi aggregativi, tipo-morfologia edilizia e urbana, tecnologie, sistemi e componenti edilizi e impiantistici, ecc.). L'integrazione dell'adattamento con obiettivi di mitigazione deve tendere a ridimensionare e rendere sostenibili gli interventi insediativi, edilizi e infrastrutturali, proteggendo e favorendo le condizioni di equilibrio degli ecosistemi.

Importante anche la difesa delle infrastrutture naturali e antropiche che costituiscono il patrimonio culturale del paese (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Patrimonio Culturale").

L'uso di infrastrutture verdi e soluzioni basate sulla natura (NBS, "*Nature Based Solutions*") per la pianificazione e riqualificazione territoriale o urbana ("*greening*" urbano, orti comuni, standard di bioedilizia) può fungere da misura di adattamento locale, con il miglioramento della salute e della qualità dell'aria, la riduzione dei fabbisogni energetici, l'incremento dell'habitat faunistico, degli spazi di socialità, riconnettendo aree naturali con i centri urbani. I servizi climatici hanno acquisito sempre maggiore importanza nei processi decisionali, anche in base al miglioramento della capacità predittiva dei modelli su cui si fondano, determinando informazioni aggiornate e affidabili sull'efficacia delle soluzioni nel caso di diverse condizioni climatiche. Nel delineare scenari di rischio e vulnerabilità combinati per i vari settori, tali servizi devono essere calibrati sulle esigenze degli utenti ed essere facilmente accessibili per aiutare la società a far fronte alla variabilità climatica, limitare i danni bio-fisici, economici e sociali causati dagli impatti e sviluppare e valutare le azioni di adattamento.

Nel campo dei trasporti vanno sviluppati gli aspetti di conoscenza e informazione, gestione e planning per le reti locali e nazionali, mentre in campo energetico emerge come prioritaria l'efficienza della gestione della distribuzione e della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento, promuovendo interventi di adattamento, sistematici e generalizzati, con particolare riferimento al comparto edilizio, atti alla riduzione dei fabbisogni di climatizzazione per la stagione invernale ed estiva.

Nel campo del benessere, della sicurezza e della salute umana, si è in presenza di fattori trasversali portatori di co-benefit nei programmi di adattamento e prevenzione, evidenziando la necessità di fornire priorità ai programmi per affrontare i rischi sanitari attuali e previsti (incluse le politiche), basandosi su un processo iterativo per il monitoraggio e la gestione degli "*hazards*". I fattori meteo-climatici agiscono, nella maggioranza dei casi, come amplificatori o mediatori sui rischi per la salute e il benessere. Con gli interventi di adattamento climatico si può agire sulla riduzione dell'onere delle malattie sensibili al clima e all'inquinamento, nonché sulla riduzione dell'effetto dei cambiamenti climatici sulla salute umana. Potrebbero acquisire un ruolo strategico l'individuazione e l'applicazione di incentivi a breve termine per modificare i comportamenti al fine di ridurre la vulnerabilità agli impatti sulla salute. Le risposte di adattamento climatico dell'ambiente naturale e antropico rappresentano un fattore di contrasto dell'aumento del rischio di malattie infettive da vettori, del rischio di allergie e malattie respiratorie, delle malattie veicolate dall'acqua o dall'aria. (Ulteriori approfondimenti nell'Ambito "Tecnologie per la salute").

### Ambiti per l'innovazione della ricerca sull'adattamento climatico

I punti di forza della ricerca nazionale sono individuabili in numerosi settori – si pensi a quello dell'ambiente e del territorio, degli ecosistemi, delle città e delle infrastrutture, delle componenti socioeconomiche, delle scienze agrarie e forestali, della sanità pubblica, ecc. – in cui sono state sviluppate conoscenze e capacità simulative e predittive anche attraverso l'utilizzo di banche dati e di sistemi informativi territoriali, di modellazione informativa, di approccio computazionale, di strumentazioni "*Internet of Things*" e di telerilevamento. Accanto alle modalità di intervento innovative, sono emersi anche dei limiti dovuti ad approcci prevalentemente settoriali, richiedendo di superare un gap nella capacità di recepimento delle più avanzate sperimentazioni europee nel campo dell'adattamento. Sviluppi della ricerca e divari di "*know-how*" da colmare si riscontrano in prassi, metodologie e soluzioni riferibili a settori che



devono ricercare interazioni e sviluppo comune, garantendo il potenziamento e l'incidenza delle azioni di disseminazione delle informazioni ai decisori, ai portatori di interesse, alle comunità.

Un rilevante approfondimento è richiesto per la formulazione di quadri di riferimento, modelli e strumenti alla scala distrettuale/regionale e locale a sostegno dei processi decisionali e della valutazione delle opportunità, delle opzioni e dei limiti dell'adattamento in diversi settori. Va verificata l'efficacia delle misure adottate con il monitoraggio e la valutazione integrata fra adattamento e rischi. Per l'analisi degli effetti combinati di eventi estremi e pericoli ambientali o naturali andrebbero approfonditi appropriati strumenti integrati per la valutazione delle implicazioni socioeconomiche a sostegno dell'avvertimento. Andrebbe maggiormente attuata la sperimentazione di processi di "data science", l'utilizzo di tecnologie abilitanti, di simulazione/modellizzazione informativa e piattaforme web (considerando reperibilità e qualità dei dati, affidabilità del processo della loro produzione/elaborazione, affidabilità delle fonti).

L'adattamento in campo agricolo-forestale e alimentare individua un campo di risposte efficaci in nuove condizioni di stress climatici attraverso azioni sui sistemi di produzione agricola (diversificazione, varietà più resistenti agli stress ambientali, modernizzazione di tecniche di aridocoltura e di gestione del suolo, ecc.), animale (aumento della produttività e del benessere animale con minore impiego di risorse alimentari, miglioramento dell'analisi delle fonti di inquinamento, ecc.), agroalimentare (miglioramento delle strategie per l'adattamento attraverso la gestione del rischio) valutando in ogni caso una gestione più sostenibile per il contrasto degli impatti sui diversi servizi ecosistemici e sulle loro implicazioni socioeconomiche. (Ulteriori approfondimenti negli Ambiti "Green technologies" e "Tecnologie alimentari")

Nell'ambito degli strumenti di supporto alle decisioni, la relazione costi/benefici delle diverse misure e i costi dell'inazione o del mancato adattamento vanno integrati con misure di gestione dell'adattamento, di "Disaster Risk Reduction" (DRR) e "Climate Change Adaptation" (CCA) in interventi che prevedano un approccio multirischio (la combinazione di rischi climatici e ambientali con quelli geofisici o sociali). Ciò evidenzia la necessità di prevedere lo studio di appropriate modalità di inclusione dei principi, delle azioni e delle misure di adattamento in piani e programmi nazionali, regionali e locali, orientando la spesa per opere pubbliche, soprattutto infrastrutturali e del patrimonio architettonico, attraverso la messa in sicurezza di quelle esistenti e il mantenimento della loro funzionalità.

Per l'adattamento alla scala territoriale, urbana ed edilizia è necessario agire anche su fattori quali concentrazione e densità ma anche inquinamento e altri impatti ambientali (come nel caso di epidemie), operando sulla riqualificazione dei contesti edificati attraverso l'incremento di "green infrastructure", "greening" urbano, "nature based solutions" e sistemi di "storm water management". La ricerca sull'adattamento dei sistemi insediativi vulnerabili al clima che cambia richiede processi di retrofit tecnologico e di progettazione ambientale per la riqualificazione dell'esistente in eco-quartieri resilienti e per l'applicazione di soluzioni di "adaptive design" per aggregati edilizi e spazi aperti. Altro elemento da considerare è la delocalizzazione di parti edificate e infrastrutturali in posizioni più sicure in previsione di impatti quali innalzamento del livello del mare, allagamenti, inondazioni. Per la misurazione e il monitoraggio degli interventi si evidenzia lo sviluppo di protocolli per un approccio alla progettazione architettonica integrata e bio-ecologica attraverso sistemi di punteggio e di indicatori e all'evoluzione dei criteri ambientali minimi (CAM) per le fasi di acquisto di prodotti e servizi.

L'adattamento va ripensato all'interno di un'economia circolare, con un approccio ai processi di produzione e consumo, alle forniture e ai cicli di vita di prodotti e sistemi adottando alla scala locale pratiche di partecipazione, co-design e planning per l'"environmental justice" e il trattamento di conflitti e difesa dei diritti alla vivibilità degli ambienti urbani. Attuando strategie di "common-sense" e "capacity building", nonché di lotta a disuguaglianze, differenziazione sociale e processi di esclusione, l'adattamento interessa la valorizzazione del capitale umano e sociale, la coesione sociale, l'organizzazione delle comunità, le politiche e i servizi sociali, le azioni di salute preventiva e curativa e la gestione delle migrazioni climatiche.

Nella prevenzione delle emergenze, si presentano come campi interessanti sia quello delle misure assicurative, sia quelli di allarme rapido e di ricerca sulla resilienza sanitaria nelle azioni e programmi di adattamento per ridurre i rischi per la salute. Strumenti politici efficaci favoriscono una migliore gestione delle risorse, eliminando le incoerenze, lo spostamento di capitali privati e gli effetti negativi nelle ricadute. Le economie "blue" e "green" hanno



una forte relazione con l'adattamento per riconvertire stili di vita e modelli economici in maniera da ridurre vulnerabilità ed esposizione di patrimoni, servizi e persone, riducendo le disuguaglianze. Andrebbe studiato in che modo l'economia blu possa alleviare le pressioni sull'uso delle risorse terrestri e contribuire a raggiungere gli obiettivi di sviluppo a lungo termine nell'UE, valutando possibili sinergie e identificando obiettivi di politica comune. Analogamente, la "green economy" può interessare l'adattamento a partire da condizioni di vita e consumo, circolarità ed efficienza dei processi in relazione alla protezione da impatti e danni.

## Ricerca

Le attività di ricerca sui temi 'cambiamento climatico, mitigazione ed adattamento' svolte dalle Università e dai Centri di Ricerca Nazionali sono molteplici e includono attività osservative e modellistiche, in grado, in alcuni casi, di competere a livello internazionale in termini di qualità dei prodotti della ricerca. Tuttavia, a causa della multidisciplinarietà dei temi, esiste una notevole frammentazione fra i Centri di Ricerca (CNR, ENEA, CMCC, ISPRA, ASI, ARPA, INGV e regionali) e una sostanziale debolezza del tessuto universitario dove il mancato riconoscimento disciplinare è un ostacolo per l'adeguamento alla crescente domanda. Nel panorama degli atenei italiani non esiste un dipartimento di scienze del clima o scienze atmosferiche o meteorologia in grado di vantare attività di ricerca con massa critica significativa. Questa debolezza e frammentazione sono parzialmente compensate dalla costituzione di reti osservative con basi sul territorio italiano, in siti strategici all'estero e piattaforme mobili. Anche attraverso la rete osservativa e i relativi database, che rappresentano un patrimonio importante per la caratterizzazione del clima attuale e per lo studio del clima passato, la comunità nazionale ha realizzato esperimenti ed ha partecipato a campagne di misura intensive internazionali finalizzate a studiare nel dettaglio processi specifici cruciali per il clima. Inoltre, sono state sviluppate delle notevoli competenze dal punto di vista delle analisi di dati satellitari, sviluppo ed utilizzo di modelli climatici a diverse scale da quella globale a quella regionale e per diverse applicazioni che vanno dalla ricostruzione del clima passato, alle previsioni meteorologiche e alle proiezioni climatiche future. Infine, diverse esperienze riguardano le applicazioni di modelli per la valutazione degli impatti del clima sugli ambienti costruiti, la salute, gli ecosistemi, l'economia.

La ricerca deve tenere conto delle peculiarità nazionali rispetto al territorio europeo. Il territorio italiano è infatti particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici non solo perché l'area del Mediterraneo è una delle zone più sensibili al riscaldamento globale, ma anche per una serie di specificità quali: la configurazione del reticolo idrografico, la straordinaria estensione della linea di costa (7.500 km) vulnerabile alle variazioni del livello del mare ed ai regimi di precipitazione, le estese regioni montane (alpina ed appenninica) e i relativi ecosistemi, suscettibili alla perdita di ghiacciai e di copertura nevosa (il 35% del territorio nazionale è costituito da aree di montagna). Importante è completare l'inserimento dei sistemi osservativi gestiti dalle Università nelle infrastrutture o network di respiro internazionale (ICOS, ACTRIS, Osservatori WMO ecc.) in modo da realizzare un unico sistema integrato di monitoraggio per il Mediterraneo.

Infine essendo l'Italia 'la porta dell'Europa' per il continente africano in cui gli effetti del cambiamento climatico, già presenti, possono diventare devastanti, i temi delle migrazioni climatiche, dell'inclusione sociale sono delle priorità di ricerca maggiori che in altri paesi europei.

## Esigenze

Le molteplici interazioni tra le quattro sfere del sistema Terra, la complessità delle problematiche indotte del cambiamento climatico, la trasversalità delle tematiche della mitigazione e dell'adattamento, richiedono competenze transdisciplinari che abbracciano quasi tutti i settori: fisica dell'atmosfera, climatologia, chimica, biologia, architettura, medicina, matematica, informatica, economia, sociologia, ingegneria, geologia, psicologia, filosofia. Questi aspetti spingono nella direzione di programmi di ricerca interdisciplinari in grado di coinvolgere settori di ricerca anche storicamente distanti al fine di affrontare le diverse problematiche in maniera complessiva ed esaustiva.

Per consentire al sistema della ricerca italiana sul clima di essere proattivo a livello europeo ed internazionale bisogna incentivare e finanziare progetti di ricerca di ampia portata. Solo in questo modo si può contribuire alla comprensione



delle questioni fondamentali del sistema climatico più dibattute e non ancora completamente comprese, ed inoltre si possono favorire le collaborazioni tra le diverse università così da mettere a sistema le competenze distribuite sui diversi atenei.

Il “Green Deal”, lanciato nel dicembre 2019 dalla Commissione Europea per rivoluzionare le strategie di crescita e trasformare l’Europa in un’economia efficiente sotto il profilo delle risorse ha obiettivi ambiziosi che richiedono una spinta della ricerca sia di base che tecnologica in termini di comprensione del sistema climatico, nuove tecnologie, sperimentazione di nuovi approcci. Tutto ciò può essere realizzato attraverso il lancio di programmi di ricerca strategici, coordinati e dedicati con obiettivi concreti e tangibili. I due pilastri affinché i programmi di ricerca permettano di produrre risultati sono infrastrutture e capitale umano. In Italia il numero dei ricercatori per abitante è tra i più bassi al mondo, circa 4 per mille abitanti, la metà della media europea, molto meno della metà di Francia, Germania, Inghilterra. Altro problema cronico del sistema della ricerca italiano è l’età media dei ricercatori; infatti il Focus del MIUR sul personale docente del 2019 fotografa una situazione per quanto riguarda l’età media dei docenti degli atenei, tra le più alte nel panorama europeo, con 59 anni dei professori ordinari, ai 52 anni dei professori associati e 47 anni dei ricercatori. Nei centri di ricerca, ad esempio il CNR, l’età media dei ricercatori è circa 50 anni. Le ricerche sul clima sono tra le più recenti, per natura richiedono dinamicità, innovazione che possono venire da una iniezione di giovani ricercatori da sostenere con bandi competitivi in grado di far emergere e sostenere le eccellenze sin dalle prime fasi della carriera sullo stile ERC, Marie Curie, con chiamata diretta dei vincitori. Esperienze passate come i bandi FIRB e Montalcini, finalizzati allo studio del cambiamento climatico, possono essere lo strumento efficace per aumentare il numero dei ricercatori ed abbassarne l’età media.

## Criticità

Le criticità italiane nelle ricerche sulle tematiche del clima riguardano la generale frammentarietà, che sebbene favorisca l’accesso a competenze multidisciplinari espone l’attività nazionale al rischio di duplicazioni e di inefficienza, ed il sottodimensionamento del sistema formativo universitario.

Altra problematica è la poca collaborazione tra enti di ricerca ed università. Una più stretta collaborazione tra i centri di ricerca nazionali e le università è fondamentale per realizzare progetti di ricerca ambiziosi, per migliorare la formazione di nuovi ricercatori e per favorire la creazione di gruppi di ricerca di dimensioni e con le diverse competenze in grado di proporre e condurre progetti di ricerca che possano effettivamente incidere e far avanzare le conoscenze del sistema climatico, migliorare gli approcci e proporre soluzioni innovative dal punto di vista tecnologico, economico, sociale nei campi della mitigazione ed adattamento al cambiamento climatico. Esperienze positive in altre nazioni di osmosi tra centri di ricerca ed università attraverso cattedre e posizioni di ricercatore cofinanziate, possono rappresentare per le ricerche sul clima un elemento propulsivo molto importante. Esempi come il “*National Center for Atmospheric Science*” (NCAS), in Inghilterra che favorisce la collaborazione tra centri di ricerca e diverse università con finanziamenti su tematiche e posizioni di ricerca specifici, non trovano un equivalente in Italia per le scienze del clima. In Italia per le scienze dei materiali e la ricerca tecnologia è stato fondato l’Istituto Italiano di Tecnologie (IIT) con una sede centrale ed 11 centri di ricerca sparsi in altrettanti atenei e 2 all’estero. Vista la complessità delle sfide riguardanti il cambiamento climatico, la mitigazione e l’adattamento, un modello IIT per gli studi sul clima potrebbe rappresentare un volano per la ricerca mettendo a sistema e potenziando i vari gruppi attivi nel settore, molto spesso sottodimensionati. Un altro aspetto che rende la ricerca in alcuni paesi europei più competitiva di quella italiana è l’esistenza di agenzie nazionali che finanziano progetti di ricerca, come ad esempio il “*Natural Environment Research Council*” (NERC) sempre in Inghilterra, per cui parallelamente ai progetti europei vi sono attività finanziate internamente che sono un importante strumento di promozione della partecipazione internazionale. L’Agenzia Nazionale della Ricerca seppur non tematica come il NERC, se venisse finalizzata, sarebbe auspicabile che includesse una sezione dedicata per le scienze del clima.



## Formazione

I corsi di studio universitari di primo e secondo livello sono definiti dal DM 270/04 del 22 ottobre 2004, in termini di classi di laurea triennale e magistrale. Le classi di laurea triennali sono 43, mentre quelle magistrali 94, ma nessuna di queste nella denominazione contempla le parole ‘clima’, ‘atmosfera’, ‘mitigazione’ o ‘adattamento’. Questa mancanza è una chiara evidenza di come le tematiche delle scienze atmosferiche e del cambiamento climatico non trovino una collocazione autonoma in un corso di laurea triennale, e compaiano solo in qualche caso particolare, in curricula o piani di studio. Per quanto riguarda le lauree magistrali manca una specifica classe di laurea, ed esiste solo un numero limitato di percorsi specifici, che si occupano di tematiche legate al clima, nelle lauree magistrali in Fisica (LM-17), Ingegneria per l’ambientale ed il territorio (LM-35), Pianificazione territoriale urbanistica e ambientale (LM-48), Scienze e tecnologia per l’ambiente e il territorio (LM-75). Nella tabella 8.1 sono dettagliate le lauree triennali con piani di studio ed indirizzi di scienze dell’atmosfera, meteorologia e clima.

Una ricognizione, sicuramente non completa, delle lauree magistrali attive sul territorio nazionale nelle tematiche della Fisica, Scienze Atmosferiche e/o clima, vede solo tre corsi di laurea specifici, che possono rilasciare ai suoi laureati l’attestato di formazione base di Meteorologo/Meteorologist ai sensi della “*World Meteorological Organization*” (WMO) (Tabella 8.2), vi sono poi corsi magistrali che prevedono diversi curricula, percorsi o piani di studio, alcuni dei quali inerenti, atmosfera, clima, meteorologia (Tabella 8.3).

L’Università Degli Studi di Napoli ‘Parthenope’ e l’Università del Salento, offrono il Master di II livello in Meteorologia e Oceanografia Fisica a cui possono accedere laureati magistrali di materie scientifiche e fornisce l’attestazione di Meteorologo ai sensi della WMO.

I corsi di dottorato di ricerca fanno riferimento a settori scientifico disciplinari ed aree CUN per cui, rispetto agli schemi più rigidi dei corsi di laurea, vi è più flessibilità nella loro istituzione ed allo stesso tempo è più difficile una ricognizione. Ciononostante i corsi specifici inerenti le scienze dell’atmosfera, clima, mitigazione ed adattamento sono molto limitati. Da una analisi del sito ufficiale del MUR<sup>45</sup> per il ciclo XXXV (anno accademico 2019-2020; vedi tabella 8.4):

- Con le parole chiave ‘atmosfera’, ‘climatic’, ‘adattamento’, nel titolo non esiste tra gli atenei italiani un dottorato;
- Con la parola chiave ‘clima’ nel titolo, sono presenti due corsi (Tabella 8.4);
- Con la parola chiave ‘mitigazione’, è attivo solo il dottorato di ricerca dell’Università di Catania in Valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali (area CUN 08).

Naturalmente non possiamo escludere che ci siano dei dottorati di ricerca che, seppur non presente nella dicitura, prevedono attività formativa e di ricerca nelle tematiche delle scienze atmosferiche e quelle del cambiamento climatico, mitigazione ed adattamento.

Nell’ambito dei corsi di dottorato è da segnalare la proposta di istituire a partire dal 37° ciclo di una Scuola Nazionale di Dottorato in Sviluppo Sostenibile e Cambiamenti Climatici da parte della Scuola Superiore IUSS di Pavia ed approvata dal MUR a dicembre 2019 con circa 50 borse a ciclo cofinanziare dal MUR stesso.

## Auspici

Le sfide del cambiamento climatico richiedono nuove energie nel settore della ricerca, sviluppo tecnologico, educazione che hanno come punto fondante la formazione che nei corsi di laurea raggiungono il culmine della specializzazione. Pertanto è auspicabile l’istituzione di una classe specifica, anche se non monotematica, che possa essere identificata nella formazione sia di primo livello che di secondo livello di esperti di cambiamento climatico, adattamento e mitigazione. Il CUN dovrebbe tenere conto di questa esigenza nell’ambito della riforma delle classi di laurea triennali e magistrali, avviato qualche anno fa e non ancora conclusa.

<sup>45</sup> <https://cercauniversita.cineca.it//php5/dottorati/cerca.php>



L'interdisciplinarietà e la collaborazione fra i vari attori delle scienze climatiche potrebbero inoltre essere promosse con lo sviluppo di corsi di laurea triennali e magistrali interateneo, in collaborazione con enti di ricerca, internazionali con doppio titolo, sui temi del cambiamento climatico. Occorrono finanziamenti specifici per borse di dottorato, con call nazionale (PON, POC) su temi vincolati al clima, impatti (salute, ecosistemi, aree urbane), adattamento e mitigazione.

**Tabella 1.** Lauree triennali con curricula o piani di studio con indirizzo in scienze atmosferiche e clima

Università	Corso di Laurea	Percorso
Roma Tor Vergata	Fisica	Curriculum in Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia
Milano	Fisica, Scienze e Politiche Ambientali, in Scienze Naturali	Piani di studio con un orientamento in scienze atmosferiche e del clima
Napoli 'Parthenope'	Scienze Nautiche, Aeronautiche e Meteo-Oceanografiche	Piano di studio in atmosfera e meteorologia

**Tabella 2.** Lauree magistrali attive sul territorio nazionale specifiche nelle tematiche della fisica, scienze atmosferiche e/o clima che possono rilasciare ai suoi laureati, che possono rilasciare ai suoi laureati l'attestato di formazione base di Meteorologo/Meteorologist ai sensi della WMO:

Università	Corso di Laurea
Bologna	Fisica del Sistema
Trento e Università di Innsbruck in Austria	Laurea Magistrale doppio titolo in Environmental Meteorology
Roma Sapienza e l'Università degli Studi dell'Aquila	Atmospheric Science and Technology, interateneo e multidisciplinare tra fisica e ingegneria

**Tabella 3.** Lauree magistrali con curricula o piani di studio con indirizzo in scienze atmosferiche e clima

Università	Corso di Laurea	Percorso
Pisa	Scienze Ambientali	Curriculum in scienze dell'Atmosfera e Meteorologia
Roma Tre	Fisica	Curriculum in Fisica Terrestre e dell'ambiente
Basilicata	Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio	Piano di studi ad indirizzo atmosferico
Milano	Fisica, Environmental Change and Global Sustainability, Scienze della Terra, Scienze per lo Studio e la Conservazione dei Beni Culturali, Biogeoscienze: analisi degli ecosistemi e comunicazione delle scienze	Piani di studio sulle tematiche della meteorologia e clima
Napoli 'Parthenope'	Scienze e Tecnologie della Navigazione	Piano di studi ad indirizzo atmosferico

**Tabella 4.** Dottorati di ricerca contenenti la parola chiave 'clima' nella denominazione

Università	Corso di Dottorato	Aree CUN
Bologna	Il futuro della Terra, cambiamenti climatici e sfide sociali	02; 03; 04; 05; 07; 08; 09; 11; 12; 13; 14
"Ca' Foscari" di Venezia e CMCC	Scienza e gestione dei cambiamenti climatici	03; 04; 05; 09; 11; 13



## Conclusioni

Il cambiamento climatico è il problema più serio ed urgente da affrontare per garantire che le generazioni future abbiano accesso alle stesse opportunità delle generazioni passate. È un problema che ha molte dimensioni e che va affrontato nella sua complessità.

Il clima è sempre cambiato su tempi geologici, ma ora sta cambiando con una intensità e velocità mai osservate prima, principalmente a causa delle emissioni di agenti clima alteranti derivanti dalle attività umane. Come abbiamo osservato nei precedenti capitoli, pur essendo un fenomeno globale il cambiamento del clima manifesta le proprie conseguenze a livello locale e regionale. Locali e regionali sono anche le misure di adattamento e mitigazione richieste per raggiungere l'obiettivo di zero emissioni nette di agenti climalteranti. Il cambiamento climatico è, purtroppo, un acceleratore di molte delle problematiche oggetto dei “*Sustainable Development Goals*” (SDGs) e mette a serio rischio qualità e quantità delle risorse naturali, gli ecosistemi, nonché il benessere e la sopravvivenza dell'uomo e delle società. Ne consegue un quadro di complessità e di urgenza che impone un dialogo intenso fra differenti competenze scientifiche e tra queste e la politica, intesa sia come agenzie internazionali sia come governi nazionali e locali.

È purtroppo un dato di fatto che gli interventi di mitigazione decisi con gli accordi internazionali delle “*Conference of the Parties*” (COP) delle Nazioni Unite non hanno ottenuto risultati sufficienti sia per compromessi al ribasso sia per la mancata adesione dei maggiori paesi. In breve, le emissioni globali di gas serra continuano ad aumentare e una loro significativa riduzione appare ancora lontana. Le ragioni di tale impasse risiedono nel fatto che la riduzione delle emissioni tocca moltissimi interessi, ed è quindi più facile da parte dei politici prendere decisioni vaghe, con obiettivi procrastinati nel tempo. Al contrario, occorrono iniziative immediate più incisive e politiche più coraggiose di respiro sistemico.

Ma è difficile nel contesto globale dell'economia-mondo e dell'ecologia-mondo disaccoppiare crescita economica ed emissioni di gas serra. La riluttanza da parte di compagnie petrolifere e del carbone, governi, settori sociali e imprenditoriali di mettere in campo misure di riduzione delle emissioni mostra la radicale dipendenza del sistema globale di produzione e consumo di beni dai combustibili fossili. Di fronte alle interdipendenze delle dinamiche economiche ed energetiche planetarie, le esortazioni ad acquisire comportamenti più consoni in relazione al cambiamento climatico non sono sufficienti. Quello che sta emergendo è una specie di guerra non dichiarata tra quelle società che non intendono rinunciare ai propri livelli di benessere garantiti dall'energia fossile e coloro i quali subiscono le conseguenze del cambiamento climatico e non hanno risorse per farvi fronte con l'adattamento.

La posta in gioco non è più solo di natura bio-fisica, ma mostra quanto il cambiamento climatico sia legato a dinamiche di ingiustizia e disuguaglianze globali. Continuare ad emettere agenti climalteranti crea sempre più ingiustizie, poiché gli impatti delle conseguenze del cambiamento climatico sono molto più ampi e distruttivi per quelle popolazioni che non hanno le risorse sufficienti per promuovere politiche di adattamento. Riconoscere il cambiamento climatico come un problema di “*global commons*” –che pone il problema della gestione comune e collettiva dell'atmosfera, del suolo, delle foreste, degli oceani – è già un primo passo. Alcuni movimenti stanno proprio indicando la gestione globale e transgenerazionale del cambiamento climatico come una sfida di “*commons*”.

L'Europa sta svolgendo – pur confrontandosi con vari dilemmi e ambivalenze - un ruolo di leadership internazionale tracciando un percorso virtuoso che dovrebbe essere seguito a livello planetario, come nel caso dello “*European Green Deal*”. Pilastro portante del percorso europeo è una conoscenza scientifica rigorosa e responsabile, in grado di stimare e ridurre l'incertezza delle proiezioni future, di attribuire il giusto valore alle opportunità derivate dalla transizione energetica e climatica, di prevenire le numerose controversie che sono generate dalla posta in gioco e soprattutto in grado di comunicare l'urgenza del problema.

Il cambiamento climatico rende evidente quanto sia complessa la “*governance*” dei processi globali. Spesso dimentichiamo i rischi in assenza di una loro manifestazione reale, ma è molto forte la nostra domanda ai governi di difenderci quando ci accorgiamo delle loro concrete conseguenze. I rischi si possono manifestare con effetti locali o globali, con discontinuità improvvise (la pandemia COVID-19) o con effetti lenti ma inesorabili, come nel caso del cambiamento climatico. Questa lentezza nel manifestarsi fa sì che il cambiamento climatico – per quanto sia già fonte



di preoccupazioni e paure come dimostrato da diversi sondaggi di opinione pubblica - venga percepito come lontano e non immediatamente minaccioso. Tale sottovalutazione è peraltro dovuta proprio alle discontinuità, incertezze, imprevedibilità, invisibilità che caratterizzano i suoi impatti. Qui l'agire scientifico è fondamentale, perché è proprio la ricerca scientifica che colma i gap di conoscenza tra esperienza quotidiana del cambiamento climatico e valutazione plausibile dei suoi impatti, pur dovendo tenere in considerazione il sapere dei "profani", che acquista sempre più importanza come affermato dalla prospettiva della "citizen science". La scienza si trova nella condizione di contribuire a strappare il velo di ignoranza che avvolge il cambiamento climatico, di educare e promuovere approcci oggettivi basati sulla conoscenza.

Sta di fatto che le comunità della Terra sono già chiamate a convivere con fenomeni climatici intensi e con i loro effetti, da contrastare con azioni e processi che integrino misure di mitigazione climatica, sviluppo sostenibile e protezione delle vulnerabilità. La scienza deve supportare le scelte politiche necessarie per proteggere (nel senso di prevenire, ridurre danni) sia l'ambiente naturale, sia gli insediamenti e le popolazioni a rischio, la salute e il benessere, ma anche le economie e le attività produttive. Le scelte politiche devono a loro volta supportare le richieste della scienza, e rendere possibile uno sviluppo delle conoscenze e degli strumenti che ci permettono di individuare le azioni di mitigazione e adattamento più efficaci e giuste.

La pandemia nella quale siamo ancora coinvolti ha mostrato il limite delle strategie nazionali di fronte a problemi globali. Le iniziative nazionali sono importanti, ma spesso non sono sufficienti a proteggerci dagli effetti indiretti dei processi che avvengono nel resto del pianeta. È fondamentale pertanto che non solo i governi si assumano le proprie responsabilità, ma che si costruisca un tessuto "polcentrico" di collaborazione internazionale per il governo in comune del clima. Il pianeta è piccolo e la sua fruizione e la sua difesa non possono avere confini politici.

Il COVID-19 ha mostrato anche che una riduzione delle emissioni di gas climalteranti può portare ad enormi benefici in termini di qualità dell'aria, e quindi della salute dei cittadini. Tuttavia ridurre le emissioni in maniera giusta, senza causare impatti negativi sull'economia e la società non è semplice: occorre individuare le strategie giuste, che portino gradualmente ma in maniera ferma a una riduzione sostanziale (~5% l'anno) delle emissioni. La scienza può aiutare a trovare le azioni più efficaci per raggiungere tale obiettivo, disaccoppiando lo sviluppo socio-economico dall'aumento delle emissioni, e comunicare il fatto che se non si agisce l'ingiustizia sociale crescerà.

Ci si chiede se sarà necessario passare nuovamente attraverso una dolorosa crisi ecologica, economica e sociale per accelerare la transizione climatica e la de-carbonizzazione. Senza dubbio si tratta di dare impulsi e creare esperienze di de-carbonizzazione fin d'ora: dalla mobilità sostenibile alle soluzioni urbane "nature-based", dalla riduzione dei consumi alla promozione di comunità energetiche, da un'alimentazione centrata sulla carne a una basata sulle proteine vegetali. Tali azioni - per ora ancora limitate e in forma di nicchia - dovrebbero adombrare una riconversione complessiva in chiave di de-carbonizzazione dell'intero sistema paese. Ma le cure non possono essere peggiori del male che si vuole curare.

La *governance* globale del clima ha dimostrato finora tutti i suoi limiti nonostante l'impegno della ricerca e delle giovani generazioni. Tra l'altro è forse mancata una visione d'insieme della interconnessione tra la soluzione dei problemi e benefici derivati da tali interventi. Uno dei problemi centrali nelle strategie per combattere il riscaldamento globale è quello della difficile relazione tra azioni di mitigazione e adattamento. È chiaro che questi due versanti del problema vanno trattati congiuntamente. Ma l'equilibrio di impegni e risorse da riversare nei due ambiti è complicato da raggiungere.

Il contenimento degli effetti negativi del cambiamento climatico è possibile solo con una riduzione significativa delle emissioni. È questo lo strumento più efficace ed economicamente conveniente se applicato a livello globale, ma la sua attuazione risulta tutt'altro che di semplice applicazione per motivi economici, geopolitici, di equità tra paesi, ecc. Maggiore è il ritardo con cui si interviene e più drastiche diventeranno le misure d'intervento necessarie ad evitare gli effetti più gravi. Occorre tra l'altro prendere atto del ritardo con cui gli effetti si manifestano rispetto alle emissioni ed ormai quand'anche fossero implementate politiche di mitigazione estremamente severe, i sistemi vulnerabili rimarrebbero esposti alle variazioni climatiche già avviate. È per questo fondamentale abbinare agli interventi prioritari di mitigazione, l'attuazione di misure di adattamento realizzate a livello locale per riuscire a convivere con i cambiamenti che già stanno accadendo. L'efficacia e l'efficienza delle misure di adattamento dipendono in modo



critico dalla nostra capacità di prevedere l'evoluzione del clima su scala locale, di valutarne correttamente gli impatti e di sviluppare strumenti atti a ridurre l'esposizione e ad aumentare la resilienza. La scienza può aiutarci a migliorare tali capacità e a fornire informazioni sempre più accurate e affidabili.

Le considerazioni finora svolte evidenziano la centralità della lotta al cambiamento climatico come scenario-guida per la ricerca e la formazione (non solo scientifica) dei prossimi decenni. Questa è la più importante sfida che si prefigura nel prossimo futuro, e abbiamo bisogno di risorse per farvi fronte. Tale sfida è inoltre carica di valori etici e non solo pragmatici: le molteplici azioni necessarie per perseguire il benessere e la protezione delle comunità, costituiscono un fattore di orientamento delle scelte di sviluppo (energia, mobilità, sistemi insediativi, agricoltura e alimentazione, produzione industriale). L'indirizzo della Commissione Europea di una ricerca scientifica per la società spinge verso un programma di ricerca nazionale orientato verso soluzioni e applicazioni "giuste". È tuttavia principio generale che le ricadute positive per la società sono possibili solo se formulate da una ricerca che si avvale di una rete adeguata di strumenti, osservazioni, competenze e risorse.

## APPENDICE 1. Glossario

**Adattamento (al cambiamento climatico):** il processo di adeguamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di limitare o evitare danni e/o sfruttare le opportunità favorevoli. In alcuni sistemi naturali, l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti.

**Attribuzione:** con studi di attribuzione legati al cambiamento climatico, si intendono quegli studi mirati ad attribuire effetti, di solito già osservati (ad esempio, eventi estremi, o variazioni a scala globale di variabili climatiche, o emissioni di agenti clima alteranti), a cause. Ad esempio, studi di attribuzione vengono fatti per valutare se frequenza e intensità di eventi estremi, quali ondate di calore, siano maggiori nel clima attuale rispetto al clima dell'era pre-industriale. Altri tipi di studi di attribuzione stimano quale siano le cause principali del riscaldamento globale e sono alla base delle conclusioni di IPCC che le attività antropiche sono la causa principale del cambiamento climatico. Una terza categoria di studi di attribuzione, sono fatti per individuare quale siano le sorgenti e i pozzi degli agenti clima alteranti ed individuare politiche e strategie di mitigazione efficienti.

**Cambiamento climatico:** un cambiamento nello stato del clima che persiste per un periodo esteso, tipicamente decenni o più a lungo, e che può essere rilevato (ad esempio usando test statistici) da cambiamenti nella media e/o nella variabilità delle sue proprietà. I cambiamenti climatici possono avere origine da processi naturali interni o da forzanti esterne, quali modulazioni dei cicli solari, eruzioni vulcaniche e cambiamenti antropogenici persistenti della composizione dell'atmosfera o di uso del suolo. L'UNFCCC (*"United Nation Framework Convention on Climate Change"*) all'Art. 1 definisce il cambiamento climatico come: "un cambiamento del clima attribuibile direttamente o indirettamente all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si aggiunge alla variabilità naturale del clima osservata in periodi di tempo comparabili". L'UNFCCC fa quindi una distinzione tra i cambiamenti climatici imputabili alle attività umane che alterano la composizione dell'atmosfera e la variabilità del clima attribuibile a cause naturali.

**Esposizione:** la presenza di persone, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi, risorse, infrastrutture, funzioni economiche, sociali, beni culturali in luoghi che potrebbero essere influenzati negativamente.

**Giustizia climatica:** termine usato per definire il riscaldamento globale come una questione etica e politica, piuttosto che di natura puramente ambientale o fisica. I concetti di giustizia ambientale e sociale emergono in relazione agli effetti del cambiamento climatico quando questioni come l'uguaglianza, i diritti umani, i diritti collettivi sono confrontate con le responsabilità storiche del cambiamento.

**"Global commons":** è una espressione inglese utilizzata per descrivere domini di risorse internazionali, sovranazionali e globali di cui tutti devono poter liberamente usufruire. Il termine *"global commons"* viene in genere utilizzato per indicare le risorse naturali condivise della Terra, come gli oceani profondi, l'atmosfera, lo spazio e le regioni polari. La sfida principale dei *"global commons"* è la progettazione di sistemi di gestione in grado di affrontare la complessità dei molteplici interessi (pubblici e privati, soggetti a cambiamenti spesso imprevedibili, che vanno dal



livello locale a quello globale) che generano rivalità. Anche il clima, in quanto risultato di una certa composizione dell'atmosfera, può essere considerato un *global common*. Questa composizione mantiene il clima e, di conseguenza, la biosfera sulla Terra all'interno dei parametri ai quali ci siamo adattati e ai quali abbiamo adattato il nostro modo di vita, la cultura, le attività economiche. La composizione dei gas atmosferici e il suo effetto sulla biosfera e sull'uomo è una risorsa di cui tutti devono poter beneficiare. Tuttavia, l'atmosfera viene utilizzata come serbatoio per lo scarico delle emissioni, e rispetto a questo sorgono i problemi di rivalità tipici dei *"global commons"*.

**Impatti (del cambiamento climatico):** effetti sui sistemi naturali e umani (su vita, mezzi di sussistenza, salute, ecosistemi, economia, società, cultura, servizi, e infrastrutture) causati dal cambiamento climatico e dalle sue manifestazioni in termine di eventi meteorologici estremi. Gli impatti sono anche indicati come conseguenze e risultati di questi effetti. Gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi geofisici, incluse le alluvioni, le siccità e l'innalzamento del livello del mare, sono un sottoinsieme di impatti, denominati impatti fisici.

**Mitigazione (del cambiamento climatico):** qualsiasi intervento umano che intervenga sulle cause del cambiamento climatico riducendo le fonti di rilascio (sorgenti, *"sources"*) o rafforzando le fonti di assorbimento (pozzi, *"sinks"*) di agenti clima alteranti.

**Pericolosità:** il potenziale verificarsi di un evento fisico naturale o antropico o di un impatto fisico che può causare la perdita della vita, lesioni, o impatti sulla salute, così come danni e perdite a proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi e risorse ambientali.

**Previsione a lungo termine:** una previsione 'a lungo termine' è il risultato di una integrazione numerica di un modello del sistema Terra con l'obiettivo di prevedere l'evoluzione del clima su scala stagionale, interannuale o decadale. Si parla di previsione (e non di proiezione) perché, su queste scale temporali, le condizioni iniziali (almeno di qualche componente del sistema Terra) sono importanti e determinano l'evoluzione futura. Dal momento che l'evoluzione è sensibile sia ad incertezze delle condizioni iniziali che dei modelli, tali previsioni sono di natura probabilistica.

**Proiezione climatica:** una proiezione climatica è la risposta simulata del sistema climatico ad uno scenario di future emissioni o di concentrazioni di gas serra e aerosol, generalmente ricavata utilizzando i modelli climatici. In questo caso si parla di evoluzioni su scala temporale di decine di anni. Le proiezioni climatiche sono diverse dalle previsioni a lungo termine per il fatto che le condizioni iniziali non sono importanti, e lo stato futuro dipende dallo scenario di emissione/concentrazione/forzante radiativo utilizzato, a sua volta basato sulle ipotesi riguardanti, per esempio, i futuri sviluppi socio-economici e tecnologici che potrebbero essere realizzati o no. Anche in questo caso, per tenere conto delle incertezze degli scenari futuri e dei modelli, le proiezioni sono di natura probabilistica.

**Resilienza:** la capacità di un sistema sociale, economico o ambientale di far fronte a un evento pericoloso, o anomalie, rispondendo e riorganizzandosi in modo da preservare le sue funzioni essenziali, l'identità e la struttura, e da ritornare alle condizioni iniziali senza subire cambiamenti permanenti.

**Rischio:** le potenziali conseguenze in cui qualcosa di valore è in gioco e dove il risultato è incerto, riconoscendo la diversità dei valori. Il rischio tiene conto dell'effetto combinato della probabilità del verificarsi di eventi o andamenti pericolosi e degli impatti negativi che si avrebbero se questi eventi o andamenti si verificassero. In contesti diversi spesso si adottano definizioni quantitative leggermente diverse del rischio. Nel nostro contesto ci riferiamo al rischio come prodotto della pericolosità per la vulnerabilità e per l'esposizione.

**Variabilità climatica:** si riferisce alle variazioni di stato medio e di altre statistiche (come le deviazioni standard, il verificarsi di eventi estremi ecc.) del clima in tutte le scale spaziali e temporali al di là di quelle dei singoli eventi meteorologici. La variabilità può essere dovuta a processi naturali interni al sistema climatico (variabilità interna), o a variazioni dei forzanti esterni naturali o antropogenici (variabilità esterna).

**Vulnerabilità:** la propensione o la predisposizione degli elementi esposti a essere influenzati negativamente. Il termine comprende una varietà di concetti ed elementi, tra cui la sensibilità o suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e di adattarsi.

Rielaborazione e integrazione delle definizioni contenute in:



IPCC (2014) Annex II: Glossary [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and T. E. Bilir]. In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, et al. (eds) “*Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*”. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1757-1776.

## APPENDICE 2. Censimento delle ricerche in atto nell’ambito “Cambiamento climatico, mitigazione ed adattamento”

Anche se risulta impossibile effettuare un inventario dettagliato che include tutte le attività di ricerca ed educative svolte sui temi ‘cambiamento climatico, mitigazione ed adattamento’ nel breve tempo a disposizione della commissione, si è cercato di elencare alcune delle attività di gruppi di ricerca di cui eravamo a conoscenza. Questo censimento non va considerato esaustivo, ma solo una prima, parziale, mappatura, ottenuta in brevissimo tempo grazie ai contatti dei membri della Commissione.

Riportiamo di seguito le informazioni dei seguenti istituti fornite gentilmente da alcuni colleghi:

1. Università degli Studi di Milano (input da Prof. Maurizio Maugeri)
2. Università di Trento (input da Prof. Dino Zardi)
3. Università della Basilicata (input da Prof. Carmine Serio, Prof. Paolo Di Girolamo)
4. Scuola Superiore Sant’Anna Pisa (input da Prof. Roberto Buizza)
5. Scuola Normale Superiore di Pisa (input da Prof. Franco Flandoli)
6. Scuola Superiore IUSS Pavia (input da Prof. Mario Martina)
7. Università del Salento (input da Prof. Piero Lionello)
8. CETEMPS/Università dell’Aquila (input da Prof. Gianluca Redaelli)
9. La Sapienza Roma (input da Prof.ssa Annamaria Siani)
10. Università di Bologna (input da Prof. Nadia Pinardi e da Prof. Tiziano Maestri)
11. Università di Catania (input da Prof. Vincenzo Carbone)
12. Politecnico di Torino (Input da Jost van Hardenberg)
13. Università d’Annunzio Chieti-Pescara (Input da Prof. Piero Di Carlo)
14. Università Bicocca di Milano (input da Prof. Claudia Pasquero)
15. Università Cattolica di Brescia (input da Prof. Giacomo Gerosa)
16. Università Cattolica di Piacenza (input da Prof. Vittorio Rossi)
17. Università di Roma “Tor Vergata” (input da Prof. Piermarco Cannarsa)
18. Università Roma Tre (input da Prof. Elena Pettinelli)
19. Università di Torino (input Prof. Dario Padovan)
20. Università di Trieste (input Prof. Dario Padovan)
21. Università di Pisa (input Prof. Dario Padovan)
22. Università di Parma (input Prof. Dario Padovan)
23. Dipartimenti dell’area delle Scuole Politecniche di Ingegneria/Architettura (input Prof. Mario Losasso)
24. Centro Mediterraneo Cambiamenti Climatici CMCC (input da Dr Antonio Navarra)
25. International Centre for Theoretical Physics ICTP (input da Dr Filippo Giorgi)
26. CNR Dipartimento “Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l’Ambiente” (input Dr Fabio Trincardi e Dr.ssa Maria Cristina Facchini)
27. CNR-IGG Pisa (input da Dr Antonello Provenzale)
28. CNR-ISAC Bologna (input da Dr.ssa Susanna Corti, Dr Stefano Decesari, Dr.ssa Maria Cristina Facchini)
29. CNR-IIA (input da Dr. Antonello Pasini)
30. CNR Dipartimento “Ingegneria, ICT e tecnologie per l’energia e i trasporti”, IFAC (input da Dr Bruno Carli)
31. CNR Dipartimento “Scienze fisiche e tecnologie della materia”, INO (input da Dr Bruno Carli)
32. Consorzio LaMMA CNR (input da Dr Bernardo Gozzini)



33. ENEA (input Dr. Roberto Morabito)
34. INGV (input Prof. Carlo Doglioni)
35. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA (input Dr.ssa Francesca Giordano)
36. Istituto Superiore di Sanità, ISS (input da Dr.ssa Laura Mancini e Dr. ssa Luisa Minghetti)

Ringraziamo i colleghi che hanno avuto la pazienza di fornirci le informazioni e ci scusiamo per le inevitabili omissioni e per l'eterogeneità del formato in cui è raccolta.

La Tabella A riassume le principali aree a cui contribuiscono le ricerche che vengono svolte nelle Università' e nei centri di ricerca contattati, mentre le sezioni seguenti riportano informazioni più dettagliate.

<b>Tabella A</b>						
		<b>Osservazioni, ricostruzione clima</b>	<b>Dinamica, processi, modellistica</b>	<b>Mitigazione</b>	<b>Impatto e Adattamento</b>	<b>Attribuzione</b>
1	<b>U. Studi di Milano</b>	Y			Y	
2	<b>U. Trento</b>	Y	Y			
3	<b>U. Basilicata</b>	Y	Y			
4	<b>U. Scuola Superiore Sant'Anna</b>		Y		Y	
5	<b>U. Scuola Normale Superiore</b>		Y			
6	<b>U. Scuola Superiore IUSS</b>	Y			Y	
7	<b>U. Salento</b>				Y	
8	<b>CETEMPS/L'Aquila</b>	Y	Y	Y		
9	<b>U. La Sapienza Roma</b>	Y				
10	<b>U. Bologna</b>	Y	Y	Y		
11	<b>U. Napoli</b>		Y	Y	Y	
12	<b>U. Torino</b>			Y	Y	Y
13	<b>U. d'Annunzio Chieti- Pescara</b>	Y		Y	Y	
14	<b>U. Bicocca Milano</b>	Y	Y			
15	<b>U. Cattolica di Brescia</b>	Y	Y		Y	
16	<b>U. Roma Tre</b>	Y				
17	<b>U. Torino</b>			Y	Y	
18	<b>U. Trieste</b>				Y	
19	<b>U. Pisa</b>				Y	
20	<b>U. Parma</b>				Y	
21	<b>Dipartimenti Ingegneria/Architettura</b>	Y			Y	
22	<b>CMCC Bologna</b>	Y	Y			Y
23	<b>ICTP Trieste</b>	Y	Y		Y	



24	CNR Dipart. "Scienze del Sistema Terra e ..."	Y	Y	Y	Y	Y
25	CNR-IGG Pisa		Y		Y	
26	CNR-ISAC Bologna		Y			Y
27	CNR-IIA Roma					Y
28	CNR Dipart. "Ingegneria, ICT e tecnologie ..." IFAC	Y				
29	CNR Dipart. "Scienze fisiche e tecnologie ..." INO	Y				
30	Consorzio LaMMA/CNR	Y	Y			
31	ENEA	Y	Y		Y	Y
32	INGV	Y				
33	ISPRA	Y		Y	Y	
34	ISS				Y	
<b>Totale</b>		<b>21/33</b>	<b>16/33</b>	<b>8/33</b>	<b>19/33</b>	<b>6/33</b>

#### Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali

Presso l'Università degli Studi di Milano sono presenti ricerche nei seguenti ambiti:

- **Ricostruzione dell'evoluzione delle temperature e delle precipitazioni in Italia, nella regione alpina e nell'area mediterranea negli ultimi 200/250 anni:** studio dell'evoluzione dei valori normali e delle distribuzioni statistiche con particolare riferimento ai valori estremi. Problematica principale attuale: corretta sintesi tra le osservazioni dalle stazioni meccaniche e quelle dalle stazioni automatiche.
- **Sviluppo di metodologie volte a proiettare alla scala locale l'informazione climatica passata e presente:** costruzione di climatologie ad alta risoluzione e sovrapposizione delle stesse con corrispondenti campi di anomalie. L'obiettivo principale è quello di assegnare ad ogni punto del territorio nazionale sia un valore climatologico per le temperature e le precipitazioni che l'evoluzione delle stesse nel corso degli ultimi due secoli circa. Queste informazioni sono anche essenziali per un efficace downscaling degli scenari climatici futuri.
- **Ricostruzione e analisi di serie italiane di eliofanìa, radiazione solare, copertura nuvolosa e visibilità per gli ultimi sei/sette decenni:** lo studio di queste variabili è finalizzato a comprendere l'impatto delle forti variazioni di emissioni di inquinanti che si sono avute a partire dagli anni '50 del novecento. Queste forti variazioni hanno causato profondi cambiamenti nella trasparenza dell'atmosfera che lo studio di queste variabili meteorologiche consente di documentare e comprendere.
- **Valutazione dell'impatto della variabilità e dei cambiamenti del clima su una vasta gamma di settori** che includono il comparto energetico, quello agricolo e la gestione delle risorse idriche: questa attività di ricerca sfrutta la capacità di proiettare alla scala locale l'informazione climatica passata e presente e viene condotta in collaborazione di vari gruppi con competenze specifiche nei settori per i quali si vogliono documentare gli impatti.

Comportamento ed evoluzione della criosfera alpina nel contesto del global warming: questa attività si avvale anche di una estesa rete di sistemi di monitoraggio installati dal dipartimento di scienze e politiche ambientali su molti ghiacciai dell'area alpina.



### Università di Trento: attività e competenze in ambito clima e cambiamenti climatici, misure di mitigazione e adattamento

Presso l'Università di Trento, ed in particolare presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, sono attive da circa vent'anni iniziative in materia di ricerca scientifica connesse ai cambiamenti climatici, anche a supporto dell'adozione di piani e di azioni di mitigazione e adattamento da parte degli organi tecnici della pubblica amministrazione.

Tali attività includono la *valutazione di tendenze delle variabili climatiche mediante ricostruzione e analisi climatologica di serie storiche* da osservazioni meteorologiche strumentali, la partecipazione a progetti di sviluppo, *affinamento e utilizzo di modelli numerici previsionali*, lo sviluppo di parametrizzazioni in grado di valutare le modificazioni climatiche indotte dalle aree urbane e le possibili *strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*, *la valutazione climatologica delle risorse energetiche da fonti rinnovabili*.

A queste attività si sono recentemente aggiunte competenze sulla *dinamica del clima a scala globale*, volte a studiare le interazioni tra circolazioni atmosferiche alla larga scala ed il ciclo idrologico regionale e globale, valutare la loro rappresentazione in modelli climatici di diversa complessità e ridurre l'incertezza delle proiezioni dei futuri scenari climatici.

Sono inoltre attivi percorsi formativi curricolari, in particolare un corso di laurea e di laurea magistrale in ingegneria per l'ambiente e il territorio, e di più recente istituzione, un corso di laurea magistrale in meteorologia ambientale in partenariato con l'Università di Innsbruck (Austria).

Il Dipartimento di Sociologia e Ricerca Sociale dell'Università di Trento svolge ricerca nelle seguenti aree: Transizione energetica, alimentazione sostenibile, sviluppo sostenibile territoriale.

### Università della Basilicata: attività di ricerca del gruppo di Fisica dell'Atmosfera

L'attività di ricerca del gruppo di Fisica dell'Atmosfera dell'Università della Basilicata si rivolge soprattutto allo *sviluppo ed utilizzo di tecnologie satellitari* attive (tecnologie Lidar e Sar) e passive (spettrometri e/o interferometri di Fourier nell'infrarosso) *per le Osservazioni della Terra da satellite*. Le attività vengono svolte in collaborazione con le maggiori Agenzie Spaziali (NASA, NASDA, ESA, CNES, ASI) nell'ambito dei grandi progetti internazionali per il monitoraggio dell'Ambiente, analisi e mitigazione del rischio derivante dal cambiamento climatico.

In relazione allo sviluppo di nuove tecnologie satellitari, l'Unibas partecipa alla definizione del payload e obiettivi scientifici delle missioni:

- ESA\_FORUM: (<https://www.forum-ecg.eu/>) Far Infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring è una missione ESA a leadership italiana, con l'obiettivo di monitorare la banda rotazionale del vapore acqueo nel range spettrale 100-1100  $\text{cm}^{-1}$ . Tale banda spettrale governa i meccanismi di raffreddamento radiativo della media-alta tropopausa e, pertanto, è fondamentale per una migliore comprensione dell'effetto serra naturale del pianeta e delle relative forzanti antropiche. La missione fa parte del payload dell'Earth Explorer 9 dell'ESA, il cui lancio è previsto per il 2026
- IASI-NG: ([https://iasi-ng.cnes.fr/en/IASI-NG/GP\\_mission.htm](https://iasi-ng.cnes.fr/en/IASI-NG/GP_mission.htm)) Infrared Atmospheric Sounder Interferometer Next Generation è una missione in joint venture EUMETSAT-CNES, che ha quale scopo primario il miglioramento delle previsioni meteorologiche. Tuttavia, in virtù dell'elevata copertura e risoluzione spettrale dello strumento, può essere anche utilizzata per la chimica dell'atmosfera, ad es. ciclo del carbonio, e prodotti per la qualità dell'aria.

Da un punto di vista delle applicazioni, l'UNIBAS è presente nel contesto del miglioramento dell'utilizzo della piattaforma satellitare Europea per *lo studio di processi, fenomeni e/o problematiche* quali:

- ciclo del carbonio e stima della GPP
- rischio derivante dall'impatto dei cambiamenti climatici sull'assetto idrogeologico del territorio (movimenti lenti ed eventi estremi)



- stress della vegetazione e del suolo a seguito di onde calore
- assessment della qualità dell'aria, soprattutto in relazione a gas quali CO, NH<sub>3</sub> ed NO<sub>2</sub> che impattano principalmente sulla produzione di PM<sub>2.5</sub>
- sviluppo di indici vegetazionali ai fini di change detection e land cover

Da un punto di vista modellistico le problematiche di cui sopra vengono affrontate con l'ausilio di **tecniche di assimilazione** del tipo "data driven", in cui l'equazione dei *dati* è l'equazione di trasferimento radiativo, inizializzata, normalmente, sulla base delle analisi dell'ECMWF, mentre l'equazione di stato del processo in esame è spesso rappresentata da un modello statistico. La metodologia fa riferimento ai fondamentali del filtro di Kalman o alle sue varianti scalari e semplificative tipo il Kriging.

Presso il *Laboratorio Lidar* dell'Università della Basilicata è stato progettato e sviluppato sperimentale un sistema lidar di tipo Raman, denominato *BASIL*, in grado di realizzare misure con elevata accuratezza e risoluzione spazio-temporale (15 m/10 s) dei profili verticali del vapore acqueo e della temperatura in atmosfera e delle proprietà ottiche (coefficiente di backscattering, estinzione e depolarizzazione a diverse lunghezze d'onda) di aerosol, nubi e idrometeore. Nel Novembre 2012 il sistema lidar *BASIL* è entrato a far parte dell' "**International Network for the Detection of Atmospheric Composition Change**" (NDACC) nell'ambito del Global Atmosphere Watch (GAW) Program del World Meteorological Organization (WMO). NDACC è composto da circa 70 stazioni di telerilevamento (25 con sistemi lidar, UniBasilicata è uno di questi) distribuite su scala globale per la misura della temperatura, dei gas in traccia e del particolato in atmosfera. Le osservazioni sono finalizzate allo studio della **composizione atmosferica e dei "trend" a lungo termine della medesima**, ed alla comprensione dei loro impatti su troposfera, stratosfera e mesosfera e sul clima globale. Nell'ambito delle attività NDACC il sistema lidar *BASIL* è operato su base settimanale, con sessioni di misura ogni Giovedì dalle 12:00 locali e fino a due ore dopo il tramonto. *BASIL* è l'unico sistema lidar all'interno della rete NDACC che fornisce misurazioni simultanee e co-locate dei profili di umidità, temperatura ed aerosol, le cui misure siano state certificate per essere incluse nei "repository" NDACC per queste tre variabili accessibili alla comunità internazionale

### Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa – Centre for Climate Change Studies and Sustainable Actions (3CSA)

La Scuola Superiore Sant'Anna, con la Scuola Normale Superiore di Pisa e la Scuola Superiore IUSS di Pavia, hanno costituito il **Centro di Ricerca sui Cambiamenti Climatici e sullo Sviluppo Sostenibile** (in inglese, *Center for Climate Change studies and Sustainable Actions*, con acronimo 3CSA), per dare il loro contributo allo studio dei cambiamenti climatici, all'identificazione di azioni sostenibili che portino ad una mitigazione del loro impatto e alla definizione di strategie di adattamento.

L'obiettivo principale di 3CSA è di studiare il sistema Terra, perfezionare gli strumenti a disposizione per **identificare come stia evolvendo, analizzare l'impatto dei cambiamenti climatici, contribuire ad identificare azioni di mitigazione e di adattamento** con un approccio sistemico.

I temi di ricerca su cui il 3CSA per i primi anni di attività sono:

- 'CC, economics and risk management':
  - o Impatto economico dei cambiamenti climatici;
  - o Climate change, risk management, modelling and economics;
  - o Impatto sul sistema socio-economico e azioni di adattamento e mitigazione da parte delle imprese.
- 'CC impacts and adaptation for agriculture and environmental resources':
  - o Crops genetics and climate change;
  - o Rete di osservatori ambientali per monitorare l'impatto dei cambiamenti climatici;
  - o Adattamento ai cambiamenti climatici.
- 'New observation platforms and climate services':
  - o Novel method for mapping global Essential Climate Variable and dynamics through the integrated use of Copernicus data and services.
- 'The legal framework of climate change and climate action':



- Diritto internazionale e cambiamenti climatici;
- Diritto agro-alimentare e cambiamenti climatici.
- ‘Climate Change and Health’:
  - Health and Sustainability;
- ‘Mathematics and physics of the Earth-system, A.I. and huge data analysis’:
  - Stima dell’incertezza: nuove metodologie di calcolo delle probabilità, in particolare per eventi estremi, associati a sistemi stocastici in dimensione alta;
  - Mathematical modelling and physics of the Earth-system.
- ‘Philosophy: Epistemology and Ethics of Climate Change’:
  - Science, truth and knowledge: philosophy and climate change
  - Ethics of climate change as intergenerational justice.

Il centro 3CSA è coinvolto nella pianificazione e coordinamento della Scuola Nazionale di Dottorato sullo “Sviluppo Sostenibile e Cambiamento Climatico”, della Scuola Superiore IUSS di Pavia, che partirà nell’anno accademico 2021/2022.

### Scuola Normale Superiore, Pisa

La Scuola Normale Superiore (SNS), in collaborazione con la Scuola Superiore Sant’Anna e la Scuola Superiore IUSS di Pavia, collabora alle attività del Centro di Ricerca sui Cambiamenti Climatici e sullo Sviluppo Sostenibile (3CSA).

Il contributo principale della SNS riguarda l’ambito matematico e consiste per ora principalmente nello studio di problematiche di tipo fondazionale, sulla stima delle *probabilità e dell’incertezza in sistemi complessi quali il Sistema Terra*, con l’inizio di attività di collaborazione a progetti di natura più applicata.

Tra i temi di carattere fondazionale oggetto di ricerca citiamo:

- lo studio di nuove metodologie di calcolo delle *probabilità associate a sistemi di grandi dimensioni*, qui, a fianco di metodologie più classiche di tipo Monte Carlo, stiamo esaminando l’uso di metodi innovativi basati sulle equazioni di Fokker-Planck (e Kolmogorov) e sui path integrals (formula di Girsanov);
- l’identificazione di *modelli stocastici a dimensione ridotta*, si tratta di capire come introdurre in modo opportuno il rumore in modelli semplificati per ottenere risultati quantitativi simili a quelli di modelli più complessi, e quindi più ‘realistici’;
- lo studio di problematiche di sistemi dinamici, come la teoria della risposta lineare per sistemi stocastici e lo studio delle *probabilità di eventi estremi*.

Le possibilità di collaborazione, all’interno del 3CSA, per lo studio di problemi più applicati sono molteplici. Tra le altre citiamo lo studio, in collaborazione con un gruppo di Filosofia, di modelli ‘individual based’ per una *comprensione etico-matematica dei fenomeni migratori potenzialmente associati ai cambiamenti climatici*.

### Scuola Superiore IUSS Pavia

La Scuola Superiore IUSS Pavia è una delle Università che collaborano alle attività del Centro di Ricerca sui Cambiamenti Climatici e sullo Sviluppo Sostenibile (3CSA), assieme alla Scuola Superiore Sant’Anna e la Scuola Normale Superiore di Pisa. Il contributo principale dello IUSS riguarda lo studio delle variazioni della circolazione globale e delle statistiche degli eventi estremi, con una particolare attenzione alla gestione del rischio a loro associato (alluvioni, ondate di calore). IUSS si occupa anche di valutazione degli impatti economici dei cambiamenti climatici mediante l’utilizzo di *modelli climatici - economici accoppiati*. L’obiettivo è quello di migliorare l’attuale stato dell’arte sui modelli di questo tipo sia sotto il profilo di dominio/scala dei modelli e sia sotto l’aspetto dell’accuratezza della rappresentazione dei fenomeni fisici ed economici. IUSS lavora anche su temi legati alla *resilienza finanziaria dei paesi fragili*. A valle della valutazione degli impatti economici dei cambiamenti climatici vengono identificati i paesi che per livello di rischio e capacità di risposta, si troverebbero in difficoltà finanziarie. Per queste situazioni vengono individuati programmi finanziari ed assicurativi innovativi direttamente connessi con i modelli di valutazione del rischio che possano offrire un supporto finanziario e quindi aumentare la resilienza agli impatti climatici.



Sugli aspetti educativi, la Scuola IUSS coordina una Scuola di Dottorato Nazionale sullo Sviluppo Sostenibile e i Cambiamenti Climatici. La Scuola ha avuto il finanziamento dal MUR per organizzare due cicli, a partire dall'anno accademico 2021/2022.

### Università del Salento: laboratorio di climatologia

Il laboratorio di climatologia è parte del DiSTeBA (Università del Salento) e si occupa di ricerca sui cambiamenti climatici e i loro impatti. Il laboratorio opera in un contesto di collaborazioni internazionali e in collaborazione con il CMCC. Contribuisce alle attività dell'IPCC e dei progetti Medecc e MedClivar.

I temi trattati includono gli  **aumenti dei rischi posti dalle mareggiate sulle coste, includendo la sovrapposizione degli effetti all'aumento del livello medio del mare**, dei suoi livelli massimi (responsabili delle inondazioni costiere) e delle onde. I risultati hanno consentito di definire gli scenari di mareggiate future lungo le coste dell'intero Mediterraneo.

Le attività svolte comprendono inoltre lo studio delle  **probabilità di eventi meteo estremi**, quali precipitazioni intense e tornado. Nel primo caso, i risultati hanno consentito di individuare le variazioni future di alcuni indici che caratterizzano le precipitazioni estreme, nel secondo caso è stata quantificata la relazione fra la probabilità di occorrenza dei tornado e fattori meteo che ne favoriscano la formazione.

Sono inoltre stati svolti studi di  **impatti su ecosistemi marini** (sono state individuate le relazioni fra le mortalità di massa di organismi bentonici e i cambiamenti climatici in atto), siccità e periodi piovosi (definendone le future probabilità nella regione mediterranea). Le analisi si basano su metodi statistici e su un'attività di modellistica climatica ad alta risoluzione in collaborazione con il CMCC. Gli studi sono principalmente finalizzati alla definizione dell'informazione necessaria alle  **strategie di adattamento**, che, attualmente, in molti casi, dispongono di indicazioni non sufficientemente specifiche e informazioni di cui è necessario ridurre i margini di incertezza.

### Centro CETEMPS, Università dell'Aquila

Le ricerche in corso al CETEMPS sulle tematiche di "Cambiamenti climatici: mitigazione e adattamento" sono brevemente riconducibili a 3 filoni:

- **Rischio climatico in agricoltura:**
  - o Quantificazione e riduzione degli effetti del riscaldamento globale in ambito agricolo attraverso la realizzazione di un servizio climatico integrato a scala regionale sull'Abruzzo, con una base di dati da utilizzare per l'elaborazione e la finalizzazione della strategia di adattamento e mitigazione del rischio climatico in agricoltura. L'attività prevede l'utilizzo di indici agrometeorologici affiancato ad una previsione della disponibilità della risorsa idrica attraverso sistemi modellistici integrati, clima-meteo-idro, in grado di fornire questa informazione su tre orizzonti temporali: a breve (fino a 36-48 h), a medio (fino a 3-6 mesi) e a lungo (fine XXI sec) termine.
- **Cambiamenti climatici in area urbana:**
  - o Studi con modelli meteorologici (anche accoppiati con modelli d'onda e modelli idrologici) su scala urbana per l'identificazione delle aree a maggior suscettibilità da rischi connessi ai cambiamenti climatici (ondate di calore, precipitazioni intense, inondazioni). Lo scopo è di individuare i fattori più sensibili (land-use, caratteristiche degli edifici etc.) per la  **mitigazione di cambiamenti climatici e per poter progettare interventi di mitigazione e prevenzione del rischio meteo-climatico in realtà urbane** sulla base dei risultati di simulazioni su tempi lunghi a scala regionale. Area pilota: Pescara.
  - o Sviluppo e applicazione di modelli atmosferici e statistici ad alta risoluzione per modelli di impatto in aree urbane, utili alla riduzione degli effetti da ondate di calore, all'efficientamento energetico degli edifici, al miglioramento della qualità dell'aria e del comfort termico in ambiente aperto. Area pilota: Milano.
- **Studio dei trend di temperatura atmosferica in risposta all'aumento dei gas serra:**



- Sviluppo di metodologie innovative per la gestione dati e per la validazione di modelli numerici globali CCM (Chemistry-Climate Model).

### Università Sapienza Roma: un quarto di secolo di misure di ozono colonnare e dell'irradianza ultravioletta

Lo studio della *variabilità dell'ozono e della radiazione UV su varie scale di tempo, incluse quelle climatiche* presenta una doppia valenza, climatica e biologica:

- le variazioni di ozono possono inoltre influenzare potentemente il sistema climatico secondo due modalità ben distinte. L'ozono, infatti, può assorbire la radiazione solare in arrivo (effetto radiativo), e, al tempo stesso, assorbire/ emettere riflettere la radiazione infrarossa proveniente dal suolo (effetto serra). Di conseguenza un aumento/diminuzione nei livelli di ozono stratosferico o troposferico costituiscono un "forcing radiativo" al sistema climatico;
- le variazioni di ozono stratosferico su scale temporali sia brevi che lunghe possono ripercuotersi sull'intensità dei livelli di radiazione ultravioletta al suolo, e gli effetti biologici di tale radiazione sono tutt'altro che trascurabili. In assenza di opportuni filtri, infatti, essa interagisce frequentemente con le macromolecole presenti nelle cellule alterandone la struttura.

Gli obiettivi generali delle ricerche condotte e in via di svolgimento dal Gruppo di Ricerca G-MET di Sapienza Università di Roma in collaborazione con ARPA Valle d'Aosta sono:

- consolidamento e mantenimento delle *stazioni di spettrofotometria* e con controlli di qualità elevata dei dati ai livelli delle altre stazioni della rete Europea "EUropean BREWer" e del Global Atmospheric Watch;
- partecipazione dello spettrofotometro Brewer di Roma Sapienza insieme ad altri strumenti geofisici installati al Dipartimento di Fisica, del BAQUNIN (Boundary Layer Quality Using Network of Instruments) Super Site, per lo studio della *qualità aria*;
- studio della *deplezione dell'ozono atmosferico su scale spaziali e temporali appropriate a discriminare fra effetti antropici e climatici*;
- sorveglianza del *contenuto di O<sub>3</sub>* in atmosfera per verificare se i provvedimenti del Protocollo di Montreal e successivi emendamenti continuano ad essere efficaci e se gli scenari fornite dai modelli sono consistenti con le osservazioni;
- studio *dell'effetto degli aerosol assorbenti* al fine di migliorare la determinazione satellitare della radiazione UV in siti urbani come quello di Roma;
- partecipazione alla valutazione quadriennale dello stato dell'ozono e della radiazione UV su scala globale e come strumento di validazione per i prodotti satellitari e per le nuove tecniche di misura;
- studio della *variabilità dell'irradianza solare UV* nelle due stazioni di radiometria solare (urbano di Roma e montano della Valle d'Aosta) con differenti caratteristiche geo-ambientali e meteorologiche per approfondire le conoscenze sui meccanismi della variabilità della radiazione UV da parte dell'atmosfera, in particolare valutando l'impatto, su di esse, delle variazioni di ozono, degli aerosol e delle nubi (attività di notevole interesse, considerata l'estensione latitudinale dell'Italia);
- analisi a medio-lungo termine delle *serie di ozono e UV in grado di individuare l'eventuale tendenza evolutiva*, il ciclo stagionale medio e le anomalie rispetto a tale andamento.

### Università di Bologna

#### A - Laboratorio di simulazioni numeriche del Clima e degli ecosistemi marini-SINCENM

Le attività di ricerca SINCENM si concentrano sullo sviluppo di *modelli numerici per la comprensione e la previsione della circolazione generale dell'oceano* dalla scala dei tempi brevi a quella climatica per le componenti fisiche e biogeochimiche dell'ecosistema marino.

I prodotti di ricerca del laboratorio sono:



- sviluppo della modellistica numerica del Mare Mediterraneo e di *algoritmi di assimilazione dati per analisi, rianalisi e previsioni*. A questo sviluppo è associato quello della comprensione degli indici climatici della circolazione do overturning, la formazione di acque profonde, gli eventi climatici estremi della circolazione;
- sviluppo di *modellistica accoppiata fisica-biogeochimica* per lo studio della dinamica dell'ecosistema marino nel clima presente e passato. Aree di applicazione sono il Mediterraneo e l'Adriatico e alcune zone di mare aperto dell'Atlantico;
- sviluppo di modellistica numerica per le *zone costiere e il downscaling degli scenari climatici* con studi associati di "Nature Based Solutions" per la protezione e lo sviluppo sostenibile delle attività socio-economiche delle zone costiere;
- sviluppo della modellistica numerica degli inquinanti in mare e mappe di pericolosità dei rilasci di petrolio da trasporto marittimo sia a livello di Mare Mediterraneo che di Oceano Atlantico;
- produzione di *climatologie da dati osservativi per l'oceano globale* e indici climatici di mixing e di produttività.

I prodotti di ricerca del Laboratorio sono a TRL 6-7.

## B - Gruppo di Fisica dell'atmosfera

Le attività di ricerca del Gruppo di Fisica dell'Atmosfera del Dipartimento di Fisica e Astronomia si svolgono nei seguenti ambiti:

### Radiazione atmosferica:

- studi per lo sviluppo scientifico della missione satellitare FORUM (The Far-infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring). FORUM, fornirà la prima osservazione ad alta risoluzione spettrale dell'intera banda del lontano infrarosso dallo spazio e sarà mandata in orbita nel 2026 come la 9° ESA Earth Explorer mission.  
TRL=7
- Sviluppo di tecniche di machine learning per l'identificazione delle scene (cielo sereno, nubi di ghiaccio, acqua liquida, aerosols) da misure passive di radiazione infrarossa. Applicazione a database pluriennali di misure da terra (i.e REFIR-PAD in Antartide) e satellitari per la definizione di una statistica sull'occorrenza nuvolosa  
TRL=8
- Sviluppo di modelli di trasferimento radiativo per simulazione diretta ed inversa in presenza di nubi e aerosols e la derivazione delle proprietà ottiche e microfisiche degli stessi. Parametrazioni delle proprietà ottiche delle nubi per modelli di inversione veloci e per l'utilizzo nei modelli a previsione numerica e climatica.  
TRL=8

### Climate predictions and mitigation:

- Variabilità e predicibilità del clima su scale stagionali e decadali ed in particolare sul ruolo di teleconnessioni tropicali ed extratropicali.
- Sviluppo di previsioni dinamiche a breve termine del clima lavorando su: valutazione della skill predittiva, sviluppo di metodi di previsione innovativi.
- Ricerca di base sulla termodinamica della circolazione a larga scale e sono state avviate attività di ricerca su estremi meteorologici in clima presente e futuro.
- Comprensione delle numerose e complesse interazioni tra clima e qualità dell'aria, nonché tra clima e cambiamenti di utilizzo del suolo. Grazie tra l'altro ad un solido background nell'ambito della meteorologia urbana, il gruppo contribuisce allo studio e all'analisi di strategie innovative di mitigazione degli impatti del cambiamento climatico quali ad esempio Nature-Based Solutions (NBSs) e cambiamenti comportamentali.



## Università di Catania

Le ricerche in corso, nell'ambito delle tematiche Cambiamenti climatici adattamento e mitigazione, coinvolgono a vari livelli fisici, ingegneri ambientali e geofisici.

Gli argomenti riguardano innanzitutto la **modellizzazione teorica e numerica, del sistema climatico in generale, incluso il paleoclima, nonché lo studio di schemi di analisi dati** appositamente costruiti per ottenere informazioni su sistemi non omogenei e non stazionari, e simulazioni high-performance computing. Lo studio, anche a livello ingegneristico e geofisico, dei **cambiamenti climatici su ecosistemi terrestri e costieri**, con particolare enfasi sulle risorse idriche, e per finire la costruzione di **modelli di mitigazione** sostenibili a medio e lungo termine.

È possibile suddividere schematicamente la ricerca in macrotemi:

- Dinamiche e processi fisici nel sistema Terra-Ambiente circumterrestre;
- Modellizzazione globale dei cambiamenti nel sistema climatico;
- Influenza relativa delle attività antropiche e naturali;
- Eventi estremi, analisi e modelli di paleoclimatologia;
- Downscaling dinamico, modellizzazione globale e regionale.
- Impatto, vulnerabilità e adattamento:
  - o Ecosistemi terrestri;
  - o Sistemi costieri e marini;
  - o Risorse idriche
- Mitigazione:
  - o Modelli di percorsi di mitigazione sostenibili e i limiti dello sviluppo;
  - o Domande, servizi e aspetti sociali della mitigazione.

## Politecnico di Torino

La seguente tabella riassume le Attività di ricerca sui temi “Cambiamenti climatici, adattamento e mitigazione” presso il Politecnico di Torino.

Attività di ricerca	Scala	Ambito	Stato avanzamento / TRL
Caratterizzazione e modellistica di eventi meteo-idrologici estremi in area Alpina e Mediterranea nel contesto di cambiamento climatico (CC).	Regionale/ zone Alpina e Mediterranea	Attribuzione / Previsione	Medio
Aggiornamento delle stime regionali di precipitazioni e piene in contesto di CC	Regionale / zone Alpina e Mediterranea	Attribuzione	Medio
Dinamica del contenuto d'acqua nei suoli delle regioni sub-polari.	Regionale/ globale: reg. subpolari	Attribuzione / Previsione	Preliminare
Sviluppo ed implementazione di modellistica numerica climatica globale.	Globale	Attribuzione / Previsione	Avanzato
Tipping point climatici e loro impatti in area Alpina e Mediterranea.	Globale/ regionale	Attribuzione / Previsione	Preliminare
Caratterizzazione e tracking di eventi di convezione	Globale/	Attribuzione	TRL <sub>5</sub>



profonda tramite radar da terra e osservazioni da satellite.	Regionale		
Tecniche di telerilevamento di nubi e precipitazione nevosa in aree polari.	Aone alpine, aree polari	Attribuzione	TRL <sub>4</sub>
Laboratorio/sperimentazione su carbon sequestration by Urban Green Spaces per lo studio di scenari urbani futuri.	Regionale	Mitigazione / adattamento	Medio
Carbon capture and storage, carbon capture and utilization, negative emission technologies, climate geoengineering.	Globale	Mitigazione	Medio/preliminare
Impatto dei CC su ambienti urbani (qualità dell'aria, isole di calore) e strategie di mitigazione e adattamento.	Regionale	Mitigazione / adattamento	Medio
Adattamento di sistemi di drenaggio urbano a cambiamenti in frequenza e intensità di eventi temporaleschi.	Locale	Adattamento	Medio
Impatti del CC sulla risorsa idrica disponibile per usi industriali ed agricoltura (es. realizzabilità di nuovi invasi per rispondere allo scioglimento nivale accelerato in quota, massimizzazione resa agricola e minimizzazione impiego fitosanitari, sviluppo ed impiego di sensori low-cost)	Regionale e nazionale	Adattamento	Medio
Risparmio idrico mediante epicresi (zero liquid discharge)	Globale e locale	Adattamento	Medio (TRL 4-5)
Impatto CC su fonti energetiche idriche ed eoliche. Wave energy: dimensionamento dei dispositivi e accumulo di energia in scenari di CC.	Globale e locale	Adattamento	Avanzato
Modellazione e caratterizzazione di corpi glaciali: variazioni di massa da misure satellitari e terrestri, indagini geofisiche, percorsi di acqua di fusione superficiale, infiltrazione acqua sotterranea, bilancio idrico al fronte glaciale.	Regionale e locale	Previsione e adattamento	Medio
Quantificazione dei servizi ecosistemici legati alla presenza di acqua nell'ambito degli spazi verdi urbani.	Regionale / locale	Adattamento	Medio

### Università G. D'Annunzio di Chieti/Pescara

L'Università 'G. d'Annunzio' di Chieti-Pescara, hanno costituito il **Centro di ricerca sullo sviluppo sostenibile, salute, ambiente e clima** (Sustainability, Health, Environment and climate Research Center) con la finalità di facilitare e sostenere attività di ricerca che riguardano lo sviluppo sostenibile e le interazioni tra cambiamento climatico, l'ambiente, l'economia, la salute umana, gli ecosistemi, le aree urbane, il territorio, la società. Inoltre è stato accreditato un dottorato interdisciplinare a partire dal corrente a.a. 2020-2021 dal titolo Science and technology for the Sustainability Development articolato su tre tematiche fondamentali: 1) clima, energia ed ambienti urbani, 2) economia circolare, 3) Salute ed inclusione sociale.

I temi di ricerca fondamentali attivi presso l'Università 'G. d'Annunzio' sono:



- ‘Cambiamenti climatici e composizione atmosferica’:
  - o Sistemi di misura avanzati a terra ed a bordo di aerei per monitoraggio dell’impatto delle variazioni della composizione atmosferica sul clima
  - o Studi in atmosfera sintetica dell’impatto dei composti organici sui forzanti radiativi
  - o Misure di flussi di composti clima-alteranti e dei loro precursori
- ‘Analisi di serie storiche climatiche’:
  - o Studio dei trend storici dei parametri meteorologici
  - o Impatto delle variazioni di parametri meteorologici sugli ecosistemi e la salute umana
  - o Modelli statistici e machine learning applicati ai dati climatici
- ‘Cambiamento Climatico e sostenibilità’:
  - o **Impatto economico** del cambiamento climatico;
  - o Impatto sociale dei Cambiamenti climatici
  - o Pianificazione urbana in regime di cambiamento climatico.
- ‘Adattamento e mitigazione’:
  - o Piani di **adattamento** al cambiamento climatico
  - o Piani di **mitigazione**
  - o Progettazione di edifici ed efficientemente energetico

Il Dipartimento di Scienze Giuridiche e Sociali svolge ricerca nelle seguenti aree: Migrazioni ambientali e climatiche, transizione energetica alle rinnovabili

### Università Bicocca di Milano – Gruppo Ocean and Climate Center At Milan (OCCAM)

Attività di ricerca nell’ambito del Cambiamento Climatico. Studi attivi:

- Studio delle **variazioni nelle precipitazioni** (cumulate annuali e eventi intensi), con un focus sul ruolo della quota in zone ad orografia complessa e su quello dell’urbanizzazione.
- Ciclone tropicali: il **ruolo dell’oceano** nel processo di intensificazione, la tropicalizzazione delle perturbazioni in ambiente Mediterraneo (Medicanes).
- Il **riscaldamento degli oceani e lo sbiancamento dei coralli Maldiviani**: relazioni tra dinamica oceanica, variabilità climatica e riscaldamento globale sulla frequenza e struttura dei periodi caldi nell’Oceano Indiano.
- Variabilità meteo-climatica alle medie latitudini e persistenza delle condizioni meteorologiche: relazioni con **l’amplificazione del riscaldamento in atto nella regione Artica** e con il riscaldamento asimmetrico osservato tra Oceano Pacifico ed Oceano Atlantico.
- Studio delle **interazioni aria-mare**: come le correnti oceaniche e i fronti termici superficiali influenzano i venti e come i venti influenzano gli scambi di calore e di gas tra l’atmosfera e gli oceani.
- Il Dipartimento di Sociologia e ricerca sociale Dell’Università Milano – Bicocca svolge ricerca nelle seguenti aree: Energie fossili e cambiamento climatico.

Metodologie:

- **Analisi di dati osservativi** da stazioni a terra e da telerilevamento, analisi dati modellistici globali,
- **modellizzazione della dinamica** ad alta risoluzione a scala regionale (atmosfera ed oceanica).

### Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia - Lab. di ricerca in Fisica Ambientale ed Ecofisiologia

Misure a lungo termine (> 5 anni) di flussi di O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM fine ed ultrafine, ed acqua, ad alta risoluzione spaziale e temporale in ecosistemi forestali, agricoli e seminaturali, finalizzate ad **individuare i segnali di cambiamento sia nei driver che nelle risposte degli ecosistemi al cambiamento climatico**.

In particolare stiamo procedendo alla caratterizzazione dei processi di deposizione *non*-stomatica di ozono e all’individuazione di metodologie per separare (*disentangle*) e quantificare il contributo delle varie componenti (suolo, cuticole, aerosol, *air chemistry*) che concorrono a determinare il flusso totale *long term* misurato a livello ecosistemico.



Stiamo inoltre cercando di mettere a punto metodologie per valutare gli effetti negativi dell'ozono sulla produttività di ecosistemi vegetali mediante misure di flusso di CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> ed acqua a livello di ecosistema, e di seguirne l'evoluzione nel tempo. Valutiamo, con simulazioni modellistiche e tecniche di spazializzazione, l'effetto negativo *dell'uptake* di ozono sulla produttività delle colture in Nord Italia e l'effetto della mutata deposizione dell'O<sub>3</sub> sul bilancio globale dell'O<sub>3</sub> e la forzante radiativa.

Altro campo di indagine è la caratterizzazione dei *processi di scambio di aerosol fine e ultrafine (size resolved)* tra foreste, pascoli e atmosfera in condizioni climatiche contrastanti, e alla valutazione del potere di rimozione del PM da parte dei sistemi vegetali, incluse le infrastrutture verdi urbane.

Valutiamo anche attraverso misure e modelli *l'impatto sull'atmosfera del passaggio a sistemi energetici a biomasse in scenari di transizione alla carbon neutrality*. Infine stiamo mettendo a punto sistemi di misura *low-cost* di variabili meteochimiche da impiegare per la caratterizzazione della loro variabilità spaziale in ambienti ad orografia complessa o in gradienti di LULUCF.

### Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza – Facoltà di Scienze agrarie, alimentari e ambientali

La Facoltà svolge molteplici ricerche sui temi della mitigazione e adattamento al cambiamento climatico nei settori delle produzioni primarie vegetali (colture erbacee, arboree e silvicoltura), negli allevamenti zootecnici, nei processi di trasformazione agroindustriale e nell'organizzazione dei flussi commerciali degli alimenti. Queste ricerche sono spesso inserite in progetti di ampio respiro sulla sostenibilità dei processi agricoli e agro-industriali, sulla conservazione della biodiversità e sulla valorizzazione dei servizi ecosistemici. Queste attività sono supportate da vari progetti finanziati a livello regionale, nazionale e internazionale, alcuni dei quali coinvolgono i Pesi in via di sviluppo.

### Università di Roma "Tor Vergata"

Le linee di ricerca sviluppate presso il Dipartimento di Matematica nell'ambito del Progetto di Eccellenza MATH@TOV 2018-2022 riguardano:

- metodi analitici per la soluzione di problemi inversi, sia rivolti alla determinazione delle sorgenti su scala locale che relativi allo studio del paleoclima in modelli differenziali di bilancio energetico;
- studio dell'effetto di particelle sospese in flussi turbolenti, con applicazione ad eventi atmosferici estremi (uragani, cicloni tropicali, tempeste di polvere, incendi)

Presso il Dipartimento di Biologia, inoltre, vengono sviluppate ricerche relative a:

- stima della produzione primaria fitoplanctonica globale, e con essa del carbonio sequestrato dagli oceani, mediante modelli basati su tecniche di Machine Learning;
- valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulla fauna ittica delle acque interne.

### Università Roma Tre - Earth and Planetary Physics Lab, Dipartimento di Matematica e Fisica

Il Laboratorio ed il relativo gruppo di ricerca sono attivi nell'ambito dello studio e del *monitoraggio della criosfera con tecniche geofisiche e di remote sensing*, con particolare riguardo allo:

- Studio del manto nevoso con tecniche elettromagnetiche per la stima dei parametri fisici quali spessore, densità e contenuto equivalente di acqua della neve. Utilizzo del radar sotto-superficiale (GPR) e delle tecniche nel dominio del tempo (TDR) per il ground truth di misure satellitari. Questa attività è svolta in collaborazione con EURAC, CETEMPS, Università Sapienza di Roma, Università dell'Aquila, Università di Perugia.
- Studio delle *proprietà del ghiaccio marino* (sea ice) in condizioni critiche (first-year sea ice) con tecniche elettromagnetiche nel dominio della frequenza e con radar sotto-superficiale (GPR). Questa attività è svolta in collaborazione con il CEOS (Center for Earth Observation Science) University of Manitoba, Canada.
- Studio dello stato di *conservazione dei ghiacciai, alpini ed appenninici*, con particolare riguardo allo stato del ghiacciaio del Calderone, Gran Sasso d'Italia, attraverso tecniche geofisiche e di monitoraggio. Questa



attività è svolta in collaborazione con CNR, CETEMPS, Università Sapienza di Roma, Università dell'Aquila, Università di Perugia, Comitato Glaciologico Italiano.

### Università di Torino

Il Dipartimento Culture, Politica e società dell'Università di Torino svolge ricerca nelle seguenti aree:

- Transizione energetica verso le rinnovabili (3 progetti; Cooperation in Geothermal energy research Europe-Mexico for development of Enhanced Geothermal Systems and Superhot Geothermal Systems – Gemex; Collective action models for Energy Transition and Social Innovation - Comets; eCREW - establishing Community Renewable Energy Webs - Rolling out a business model and operational tool creating webs of households that jointly manage energy to improve efficiency and renewables uptake; 6 persone coinvolte; tot. 590.000 euro; no TRL)
- Productive Green Infrastructure for post-industrial regeneration (Progireg) (2 persone; 1 progetto; 330.000 euro)
- Migrazioni e giustizia climatica
- Comunicare cambiamenti climatici (2 persone coinvolte)
- Politiche di mitigazione e politiche di adattamento (2 persone coinvolte)
- Prospettive dell'Antropocene

Il Dipartimento Cognetti de Martiis dell'Università di Torino svolge ricerca nelle seguenti aree:

- Environmental processes and human activities: capturing their interactions via statistical methods (1 progetto, 3 persone coinvolte).

Inoltre offre agli studenti i seguenti percorsi educativi:

- Corso di Laurea magistrale in Economia dell'Ambiente, della Cultura e del Territorio

Il Dipartimento DIST Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio dell'Università di Torino e del Politecnico di Torino svolge ricerca nelle seguenti aree:

- Supportare la transizione verso una società "post-carbon", tenendo conto della variabilità delle forzanti climatiche e della disponibilità di fonti di energia rinnovabili (Progetti: SUPPORTING CONSUMER CO-OWNERSHIP IN RENEWABLE ENERGIES e SHELTER e SUSTAINABLE HISTORIC ENVIRONMENTS HOLISTIC RECONSTRUCTION THROUGH TECHNOLOGICAL ENHANCEMENT AND COMMUNITY BASED RESILIENCE)

### Università di Trieste

Il Dipartimento di Scienze politiche e sociali dell'Università di Trieste svolge ricerca nelle seguenti aree: Ambiente, turismo, territorio, energia.

### Università di Pisa

Il Dipartimento di Scienze Politiche Università di Pisa svolge ricerca nelle seguenti aree:

Sociologia dell'ambiente ed Ecologia politica.

### Università di Parma

Il Dipartimento DUSIC (Marco Deriu, Emanuele Leonardi) dell'Università di Parma svolge ricerca nelle seguenti aree: Studio sul cambiamento climatico a partire da approcci basati sulle scienze sociali.

### Dipartimenti dell'Area delle Scuole Politecniche e degli ambiti scientifici di Ingegneria/Architettura.

I temi di ricerca sono stati forniti a valle di interlocuzioni con i seguenti Dipartimenti delle Università italiane e che richiedono ulteriori approfondimenti:



1. Politecnico di Milano (Dipartimento ABC e Dipartimento DASTU)
2. IUAV di Venezia
3. Politecnico di Torino (Dipartimento di Architettura e Design, Dipartimento DIATI)
4. Università Alma Mater di Bologna (Dipartimento di Architettura)
5. Università Sapienza Roma (Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura)
6. Università di Firenze (Dipartimento di Architettura)
7. Università di Napoli Federico II (Dipartimento DiARC, Dipartimento DIST e Dipartimento DICEA)

<b>Temi di ricerca dei Dipartimenti di Ingegneria/Architettura</b>	
TEMI DI RICERCA	MATURITÀ
<b>ATTRIBUZIONE</b>	
<p><b>Individuazione, identificazione e valutazione delle sorgenti dei gas clima-alteranti</b></p> <p>Osservazioni in-situ e da satellite e reti di monitoraggio (inclusa la sensoristica smart integrata in edifici e spazi pubblici, soluzioni IoT ecc.); studi/modelli che permettano di valutare le emissioni di gas clima-alteranti dai diversi settori delle attività antropiche (trasporti, produzione energetica, produzioni industriali, abitazioni, infrastrutture urbane). Obiettivi di ricerca riguardano le possibilità di stima per mettere in atto un sistema carbon free entro il 2050 al fine di individuare le azioni necessarie per la trasformazione dei processi dei maggiori contribuenti.</p>	Media/elevata
<b>PROGNOSTICA</b>	
<p><b>Condizioni di hazard climatico alla scala locale urbana</b></p> <p>Analisi microclimatiche e modelli di pericolosità locale per la previsione di eventi estremi (precipitazioni intense, ondate di calore) e trend stagionali (variazioni nelle medie stagionali di temperatura) nelle città; influenza delle condizioni locali legate a tipo-morfologie urbane, sprawl edilizio con consumo di suolo o eccessiva densificazione, uso dei suoli, caratteristiche tipo-morfologiche, costruttive e ambientali del sistema edifici-spazi aperti. Ricerca sui modelli climatici locali ad elevata risoluzione spaziale (&lt; 500m) a supporto di processi decisionali di livello locale; integrazione delle proiezioni climatiche regionali (ad es. EURO-Cordex, MED-Cordex) con informazioni di dettaglio relative a città e reti territoriali.</p>	Media/elevata
<p><b>Modelli di pericolosità multi-hazard per il Risk Assessment dell'ambiente costruito</b></p> <p>Sviluppo di modelli integrati per la valutazione di livelli di pericolosità multi-hazard per rischi climatici e relativa correlazione con i rischi geofisici (ad es. ondate di calore, alluvioni, terremoti, frane, eruzioni vulcaniche). Le finalità riguardano il supporto alla definizione e aggiornamento del National Risk Assessment per l'Italia, nonché il potenziamento dei sistemi informativi territoriali regionali e locali.</p>	Elevata
<b>IMPATTI</b>	
<p><b>Studio degli impatti ambientali del cambiamento climatico sui sistemi urbani</b></p> <p>Analisi di vulnerabilità e impatto sull'ambiente costruito e sistemi infrastrutturali (edifici, infrastrutture urbane, reti verdi/blu, ecc.), incluse le ricadute settoriali (ad es. degrado e perdita di sicurezza di sistemi urbani e di patrimoni culturali, edifici e infrastrutture; salute ed elevato discomfort indoor e outdoor; consumi energetici), in grado di simulare l'impatto di eventi estremi e supportare valutazioni</p>	Elevata



costi/benefici di azioni (o mancate azioni) di adattamento.	
<p><b>Caratterizzazione e quantificazione dei beni esposti per le analisi di rischio climatico</b></p> <p>Strutturazione di banche dati e metodologie per acquisizione multi-source di informazioni per la caratterizzazione della vulnerabilità di asset rilevanti a scala territoriale (distretti urbani, edifici e infrastrutture) in relazione a diversi hazard connessi all'effetto del cambiamento climatico (es. alluvioni, flash-floods, frane, mareggiate, ondate di calore, incendi di interfaccia, ecc.).</p> <p>Obiettivo della linea di ricerca è fornire ai decisori la possibilità di effettuare una stima concreta della quantità e qualità dei beni esposti in relazione ai diversi tipi di rischio climatico e di valutare il valore economico di eventuali perdite dirette e indirette.</p>	Elevata
<p><b>Sviluppo di funzioni e modelli per quantificare l'impatto di eventi climatici estremi su centri storici, siti archeologici e patrimoni culturali</b></p> <p>Osservazioni satellitari, modelli climatici regionali (Euro-CORDEX, MED-CORDEX) e metodi di downscaling per l'identificazione delle aree a rischio per il patrimonio culturale ad elevata risoluzione spaziale (&lt;500m). Identificazione di variabili, sistemi di indicatori e indici climatici prioritari per la comprensione dell'impatto climatico sul patrimonio culturale a livello locale e dei fattori determinanti per la sua vulnerabilità. Creazione di data set funzionali alla protezione, al monitoraggio e alla gestione dei patrimoni costruiti, dei patrimoni culturali, storici, archeologici e paesaggistici esposti al cambiamento climatico.</p>	Media/elevata
<p><b>Valutazione degli impatti climatici sui sistemi ambientali e urbani con approccio multi-rischio</b></p> <p>Modelli di conoscenza, analisi di vulnerabilità e valutazioni di impatto multi-rischio alla scala ambientale, territoriale, urbana ed edilizia; raccolta e armonizzazione dati e sviluppo di modelli per il calcolo del rischio e dell'impatto climatico; messa a punto di una metrica comune per la valutazione e il ranking dei rischi e il danno cumulato, inclusa la valutazione di possibili effetti a cascata.</p> <p>Sviluppo di strumenti di supporto alle decisioni e alla pianificazione alle diverse scale (territoriale, urbana, di quartiere) al fine di una migliore allocazione delle risorse finanziarie sulla base di indici di rischio locali; sviluppo di normative di settore e meccanismi incentivanti per azioni di mitigazione e adattamento; individuazione dei livelli di inadeguatezza delle componenti fisico-ambientali del territorio.</p>	Elevata
<p><b>Servizi climatici e sistemi di supporto alle decisioni per l'ambiente urbano</b></p> <p>Sviluppo della ricerca nell'ambito dei servizi climatici innovativi per rischi climatici e di supporto alle decisioni in settori rilevanti quali pianificazione territoriale e urbana, energia, trasporti. Studi sul potenziamento dei sistemi informativi territoriali a supporto della pianificazione; maggiore accessibilità alle informazioni utili per lo sviluppo di piani di settore per l'adattamento climatico; potenziamento di filiere industriali innovative a supporto della dell'adattamento climatico; sistemi di allerta per eventi estremi.</p>	Media/elevata
<p><b>Monitoraggio dei sistemi idrici per la gestione del rischio siccità</b></p> <p>Studio sui sistemi di sensori e di monitoraggio low-cost (basati su tecnologie radar</p>	Elevata



<p>ed optoelettroniche) degli usi idrici e rilevamento delle perdite; sistemi georadar per la generazione di immagini ad alta risoluzione del sottosuolo; sistemi integrati per la raccolta e presentazione dei dati a supporto di piattaforme tecnologiche per la gestione integrata del ciclo idrico per utilizzi idropotabili, agricoli e industriali; studi sul mantenimento nel tempo di un adeguato livello di sicurezza nell'approvvigionamento e nel servizio idrico potabile, irriguo ed industriale; studi su un efficiente ed economico monitoraggio dei sistemi idrici in rapporto al rischio siccità, con specifico riferimento al trattamento delle acque e dei reflui.</p>	
<p><b>MITIGAZIONE</b></p>	
<p><b>Strategie e soluzioni progettuali innovative per distretti urbani ed edifici carbon neutral</b></p> <p>Studi su nuovi modelli insediativi per la decarbonizzazione e l'efficienza energetica a scala edilizia e urbana (fattori qualificanti sui quali attuare azioni: densità urbana, sistemi di produzione di energia, efficienza energetica e riduzione delle emissioni; edifici e distretti NZEB e BIPV; morfologia edilizia e urbana; tipologie edilizie e aggregati urbani; supporto all'economia circolare; soluzioni tecnologiche per la riqualificazione di edifici e spazi aperti; materiali e tecnologie innovative per sistemi e componenti edilizi e impiantistici); prove di laboratorio su materiali, sistemi e componenti degli edifici. La linea di ricerca è riferita alla riduzione delle emissioni GHG nel comparto delle costruzioni agendo su specifiche aree di intervento (cfr. documento MISE 2020: rifiuti da costruzione, materiali e componenti edilizi, progettazione e gestione delle costruzioni).</p>	<p>Elevata</p>
<p><b>Tecnologie abilitanti e smart environment per gli spazi abitabili e i patrimoni costruiti ai fini della mitigazione climatica</b></p> <p>Metodi e protocolli per la progettazione integrata e il deep retrofit dei patrimoni costruiti, di edifici e impianti; strumenti digitali per la simulazione/modellazione/produzione di componenti/sistemi/edifici secondo principi NZEB (Nearly Zero Energy Building), Active Buildings e di autosufficienza energetica; materiali avanzati e life cycle design per la minimizzazione dell'uso di risorse materiali ed energetiche; utilizzo di tecnologie smart per la misurazione e regolazione dei consumi energetici; riduzione delle emissioni climalteranti nel ciclo di vita degli edifici, anche con riferimento a sistemi e componenti edilizi e impiantistici.</p>	<p>Media/elevata</p>
<p><b>Produzione di energia e biocombustibili attraverso la valorizzazione delle biomasse residuali</b></p> <p>Processi innovativi di bioraffinazione finalizzati alla produzione di "biocombustibili sostenibili" e bio-chemicals, soluzioni per l'integrazione di pretrattamenti in situ per la produzione biofeedstocks e la loro valorizzazione finale in bioraffineria.</p> <p>Contributi all'abbattimento di barriere di tipo logistico, tecnologico e culturale per un più efficace inserimento delle biomasse residuali in schemi avanzati di trasformazione e valorizzazione coerenti con i principi dell'economia circolare e della salvaguardia ambientale.</p>	<p>Media/elevata</p>
<p><b>Produzione di energia da reti idriche con soluzioni micro-idroelettriche</b></p> <p>Sviluppo di tecnologie micro-idroelettriche per il recupero di energia sprecata nelle reti di tubazioni esistenti; modelli di quantificazione degli impatti socioeconomici; strumenti di supporto alla progettazione per il recupero di energia idroelettrica per</p>	<p>Elevata</p>



<p>usi civili, agricoli e industriali. Risparmio di energia, costi e impatti ambientali nelle reti idriche; sostituzione di combustibili fossili nell’approvvigionamento energetico per usi civili, agricoli e industriali.</p>	
<p><b>ADATTAMENTO</b></p>	
<p><b>Innovare con la natura per città rigenerative, sostenibili e resilienti</b></p> <p>Soluzioni di adattamento in ambito urbano che utilizzano e implementano le proprietà degli ecosistemi naturali e i servizi ecosistemici associati in modo intelligente. Ri-naturalizzazione delle città e continuità delle reti infrastrutturali verdi e blu in ambito urbano (direttrici naturali, spazi urbani “oasi”, tetti e facciate verdi, greening urbano, deimpermeabilizzazione dei suoli, ecc.); indirizzi progettuali multidisciplinari per garantire l’efficacia dell’azione (compatibilità delle soluzioni rispetto alle condizioni insediative e alle tipologie edilizie/urbane, sostenibilità dei costi manutentivi) riducendo eventuali rischi collegati a scelte progettuali non corrette (ad es. impatti su biodiversità, diffusione di allergeni, ecc.). Fornire evidenze e conoscenze di base per soluzioni basate sulla natura, promuovendo lo sviluppo, l’adozione e l’upscaling di soluzioni innovative. Protezione e ripristino della biodiversità per l’aumento della resilienza degli ecosistemi.</p>	<p>Media/elevata</p>
<p><b>Strategie innovative di analisi e monitoraggio dei cicli di utilizzo delle risorse per il contrasto del cambiamento climatico</b></p> <p>Analisi delle tecnologie a emissioni negative e del ciclo delle risorse e dei materiali nella loro filiera complessiva, dall’estrazione al loro impiego, con conseguenti emissioni o re-immissioni in ambiente e soluzioni tecnologiche e di pianificazione per l’adattamento ai cambiamenti climatici. Analisi delle reti che in tale processo sono coinvolte, per estrazione e distribuzione delle risorse aria ed acqua, per lo spostamento dei flussi di persone, materiali o cibo, nonché per l’utilizzo del suolo e sottosuolo. Ricerca innovativa attraverso un laboratorio integrato e multi-sito per lo studio di tecnologie per l’assorbimento dell’anidride carbonica e la mitigazione dell’effetto serra nonché per il controllo e il monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico.</p>	<p>Elevata</p>
<p><b>Monitorare e misurare l’efficacia delle azioni di adattamento climatico di città e territori</b></p> <p>Sviluppo di modelli per la simulazione e la valutazione degli effetti di misure di adattamento delle città e dei territori; integrazione di monitoraggi, modelli di rischio e impatto climatico in piattaforme WebGIS e strumenti di supporto alle decisioni per la valutazione di misure e strategie alternative di adattamento (inclusi effetti derivanti da azioni di “maladattamento”); valutazioni costi-benefici per la definizione delle priorità nell’attuazione di misure e strategie di adattamento in ambito urbano ed edilizio. Valutazione dell’efficacia di alternative di intervento; definizione delle priorità nelle strategie e misure di adattamento a scala territoriale e urbana; programmazione degli interventi e loro articolazione temporale.</p>	<p>Elevata</p>
<p><b>Condizioni di “policrisi” ambientali ed evoluzione delle strategie di adattamento multiplo agli impatti climatici in ambito urbano</b></p> <p>Studio della condizione diffusa di policrisi in cui si è in presenza di diverse vulnerabilità a impatti ambientali derivanti dalla sovrapposizione degli effetti del cambiamento climatico, dell’inquinamento e dei rischi per la salute (cfr. condizione</p>	<p>Media/elevata</p>



<p>epidemica del Covid-19) che possono combinarsi fra loro con effetti di amplificazione. Approfondimento degli aspetti dell’adattamento multiplo dei sistemi abitativi con la prefigurazione di strategie e azioni per la definizione di modelli di riqualificazione in ambito urbano basati su strategie “multiadattive” adeguate all’attuale condizione di moltiplicazione dei rischi ambientali. Approfondimenti sulla riqualificazione e riorganizzazione dello spazio urbano, degli spazi aperti intermedi, nonché sulle azioni finalizzate a decentramento, decongestione, de-intensificazione delle attività e ridefinizione delle prossimità e della densificazione edilizia e del costruito.</p>	
<p><b>Sviluppo e attuazione dei piani di adattamento climatico alla scala locale</b></p> <p>Sviluppo di metodologie per l’attuazione di piani strategici alla scala locale in linea con indirizzi nazionali (PNACC – Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici) ed europei (EU Adaptation Strategy); strumenti di supporto alle decisioni per la programmazione degli interventi in ambito ambientale, urbano ed edilizio. Redazione/aggiornamento di PAESC (Piani di Azione per l’Energia Sostenibile e il Clima) per i comuni aderenti al Covenant of Mayors for Climate and Energy nell’ambito delle più aggiornate strategie di intervento a livello internazionale.</p>	<p>Media/elevata</p>
<p><b>Strategie e interventi di progettazione multi-scalare per l’adattamento climatico dei modelli insediativi alla scala ambientale, territoriale, urbana ed edilizia</b></p> <p>Strategie, soluzioni e sperimentazioni progettuali per la trasformazione dei modelli insediativi esistenti attraverso approcci di <i>adaptive design</i> per aggregati edilizi e spazi aperti; modelli di intervento per la riqualificazione dei quartieri esistenti in eco-distretti resilienti. Riduzione della vulnerabilità dei sistemi biofisici, insediativi e socioeconomici al cambiamento climatico; benefici a lungo termine per la riduzione degli impatti di eventi meteorologici estremi.</p>	<p>Elevata</p>
<p><b>Strategie e soluzioni progettuali per la resilienza multirischio nello sviluppo delle politiche per il clima</b></p> <p>Metodologie di pianificazione e progettazione integrata per interventi in contesti locali caratterizzati da profili multi-rischio; integrazione di approcci e misure per Disaster Risk Reduction (DRR) e Climate Change Adaptation (CCA) e loro applicazione nell’ambito di strumenti di supporto alle decisioni (per pianificazione dell’emergenza, pianificazione territoriale, progettazione urbana, retrofit edilizio); approcci integrati per l’efficienza energetica e la sicurezza strutturale; priorità degli interventi in relazione a rischi ricorrenti, tipologie di insediamenti, dati spaziali e socio-economici. Efficacia negli investimenti per l’adattamento climatico, estesi a obiettivi di progettazione integrata per la resilienza multirischio; integrazione intersettoriale delle politiche per il clima e mitigazione dei rischi naturali.</p>	<p>Elevata</p>
<p><b>Rigenerazione sostenibile e circolare dei territori abbandonati (wastescape), periurbani e marginali</b></p> <p>Mappatura delle aree marginali, periurbane e spazi aperti inutilizzati; metodi di pianificazione integrata e multiscale; modelli di landscape ecology e di valutazione di servizi ecosistemici; living lab territoriali per processi di co-planning/co-design; sperimentazione di azioni pilota e usi temporanei negli spazi aperti pubblici; modelli di economia circolare e autosufficienza energetica con approcci community-based e di uso sostenibile di risorse locali.</p>	<p>Elevata</p>



Miglioramento della qualità ambientale, della salute, e dell'accessibilità agli spazi aperti pubblici, a seguito della rigenerazione dei wastescape (giustizia sociale e spaziale); capacity building di istituzioni e stakeholder chiave; accrescimento della consapevolezza nelle comunità locali; potenziamento di servizi ecosistemici legati a infrastrutture verdi/blu.	
<b>Integrazione di processi top-down e bottom-up per l'attuazione di strategie e piani di adattamento</b> Metodi e pratiche di partecipazione e co-design, coordinamento verticale e orizzontale di decisori territoriali e urbani, coinvolgimento di stakeholder e comunità locali per lo sviluppo di piani e progetti di adattamento climatico a scala territoriale, urbana ed edilizia. Accelerazione nell'implementazione di misure di adattamento a livello regionale e locale; <i>capacity building</i> di istituzioni e stakeholder chiave; maggiore consapevolezza e supporto nello sviluppo di azioni di adattamento da parte delle comunità locali.	Elevata
<b>Ruolo delle Green infrastructure e delle Nature-based solutions per il miglioramento della qualità ambientale nelle città</b> Infrastrutturazione dello spazio urbano con sistemi integrati di greening urbano basata su soluzioni innovative che combinano innovazioni tecnologiche e tecniche basate sulla natura per l'adattamento climatico, con lo sviluppo di metodi di misurazione del grado di adattamento (sistemi di indicatori, protocolli, test di laboratorio); ridisegno urbano per l'adattamento di ambiti urbani; interventi integrati sugli edifici (facciate e tetti verdi); contrasto alle isole di calore urbano e miglioramento della qualità ambientale nelle città.	Media/elevata

### Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)

La Fondazione Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti climatici (CMCC) ha la missione di *investigare e modellare il sistema climatico e le sue interazioni con la società* al fine di fornire risultati scientifici affidabili, rigorosi e tempestivi per favorire la crescita sostenibile, proteggere l'ambiente, fornire fondamento scientifico alle politiche di adattamento e mitigazione e sviluppare previsioni quantitative sul futuro del nostro pianeta e della sua società.

Per fare questo ci basiamo su tecniche numeriche supportate dal nostro centro di Super calcolo che al momento possiede circa 20,000 core ed adeguate capacità di archiviazione.

Il CMCC ha sviluppato *modelli climatici del sistema Terra* con i quali partecipa agli esperimenti combinati che servono da base al nuovo rapporto IPCC AR6. Il Modello accoppiato del CMCC unisce in modo originale elementi provenienti dalle cooperazioni istituzionali con NCAR in USA e con il Consorzio NEMO a cui il CMCC partecipa. Questi modelli sono anche operativi all'interno di vari servizi Copernicus (quindi possiamo considerarli TRL 9) nell'ambito delle previsioni stagionali, delle previsioni oceaniche globali e del Mediterraneo e del Mar Nero a breve (10 giorni), grazie allo sviluppo di un'attività anch'essa operativa di assimilazione dati oceanica. Sono in corso sviluppi del sistema per le previsioni sub-stagionali.

Dal punto di vista degli impatti abbiamo *un'estesa attività di studio sulle foreste e sui sistemi di monitoraggio delle foreste stesse, nonché degli effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura, sulle coste e sugli ecosistemi costieri e sulla gestione delle risorse idriche*. Queste informazioni confluiscono in un'estesa analisi delle conseguenze sociali e politiche dei cambiamenti climatici, sia dal punto di vista del rischio, declinato nei vari settori economici, sia dal punto di vista dell'elaborazione, attraverso modelli numerici economici, di indicatori territoriali che sintetizzino in maniera rapida la capacità di resilienza dei territori e il rischio climatico associato.



Questi risultati sono stati alla base del *Piano Nazionale sull'Adattamento che il CMCC ha coordinato per conto del Ministero dell'Ambiente*. Ad oggi il CMCC occupa circa 120 persone con contratti permanenti e circa altri 80 con varie forme di collaborazione. Il CMCC sostiene anche dottorati di ricerca, te partecipa in modo integrale ai dottorati in "Science and Management of Climate Change" con l'Università Ca' Foscari di Venezia e il dottorato "Future Earth, Climate Change and Social Challenges" dell'Università di Bologna.

### International Centre for Theoretical Physics (ICTP) Trieste

Attività di ricerca legate ai cambiamenti climatici condotte all'ICTP:

- **Modellistica climatica** a scala regionale. Sviluppo e distribuzione di un modello climatico regionale (RegCM), usabile fino a risoluzioni "convection permitting" (1-3 km), con possibilità di usare una versione accoppiata con chimica/aerosols, oceani e vegetazione interattiva. Supporto tecnico e scientifico ad un largo numero di usufruttori del modello.
- **Modellistica hydroclimatica** a scala regionale e continentale tramite sviluppo e utilizzo di un modello hydrologico distribuito (CHyM)
- Completamento ed analisi di **proiezioni di clima futuro** ad alta risoluzione, da 10-25 km fino a risoluzioni "convection permitting", su domini che coprono tutti i continenti del globo. I dati di queste proiezioni sono resi pubblici per utilizzo in studi di impatti ed adattamento.
- Sviluppo di un modello globale di complessità intermedia per applicazione a problemi di variabilità naturale del clima, predicibilità e cambiamenti climatici globali
- Studio delle interazioni clima-aerosols-chimica atmosferica per applicazione a problemi di effetti climatici regionali degli aerosol atmosferici e di qualità dell'aria
- Studio di **eventi meteo-climatici estremi**, anche nel contesto dei cambiamenti climatici, e dei rischi associati a questi eventi, quali ad esempio alluvioni ("river" e "pluvial flood"), ondate di calore, siccità, tempeste di vento, Medicanes, estesi ai diversi tipi di territori.
- Studio delle interazioni fra atmosfera e biosfera, ad esempio effetti sui climi regionali della deforestazione e della modifica dell'uso del territorio, ed impatto del clima sulla dinamica della vegetazione.
- Studio degli **impatti dei cambiamenti climatici sulla salute**, incluso: malattie infettive, malattie legate ai pollini atmosferici, malattie legate a stress termici.

### CNR- Dipartimento "Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente"

I temi trattati da questo dipartimento del CNR sono riassunti in Tabella. Attività specifiche degli istituti IGG, ISAC e IIA, che appartengono a questo dipartimento, sono ricordate nelle sezioni successive.

Temi di ricerca del Dipartimento "Scienze del Sistema Terra e tecnologie per l'Ambiente" del CNR	
TEMI DI RICERCA	MATURITÀ
<b>ATTRIBUZIONE</b>	
<u>Emissioni clima-alteranti: Valutazione delle emissioni dai diversi settori economici delle specie clima alteranti a lungo tempo di vita e breve tempo di vita (inquinanti clima-alteranti)</u>	Media
<u>Paleoclima: Ricostruzione mediante proxies paleoclimatici del clima del passato per la verifica dei modelli climatici predittivi</u>	Media
<u>Clima storico: Ricostruzione dei trend storici delle variabili climatiche essenziali durante l'era industriale</u>	Elevata
<u>Attribuzione dei cambiamenti climatici recenti: Simulazioni numeriche del clima degli ultimi 150 anni con modelli Earth System che includono forzanti naturali e di origine antropica.</u>	Elevata
<u>Attribuzione di eventi estremi: Valutazione della probabilità di eventi meteo-climatici estremi in area Mediterranea a partire da diversi livelli di riscaldamento globale attraverso studio di processi e simulazioni meteorologiche ad alta risoluzione.</u>	Elevata



<u>Osservazioni</u> : Osservazione a lungo termine dei cambiamenti nella composizione dell'atmosfera attuale attraverso il monitoraggio permanente tramite osservazioni satellitari e stazioni di fondo a livello nazionale, a scala del bacino mediterraneo e nelle aree polari	Elevata
<u>Processi del clima</u> : Feedbacks del cambiamento climatico sulla qualità dell'aria e viceversa	Elevata
<u>Ciclo idrologico</u> : variazioni del ciclo idrologico in seguito al cambiamento climatico e processi chimico-fisici nelle nubi	Media
<u>Regioni polari e aree montane</u> : studio dei cambiamenti climatici nelle regioni polari e ad alta quota (ex: <i>Polar amplification, Elevation dependent warming</i> )	Elevata
<b>PREVISIONE</b>	
<u>Modellistica paleoclimatica</u> : Valutazione della capacità dei modelli climatici di simulare i cambiamenti del passato	Media
<u>Modellistica clima storico</u> : valutazione della capacità dei modelli di simulare il clima degli ultimi 150 anni e la sua variabilità.	Elevata
<u>Modellistica scenari futuri</u> : realizzazione di proiezioni climatiche su scala globale ad alta risoluzione secondo vari scenari di emissione.	Elevata
<u>Modellistica regionale</u> : proiezioni e ricostruzioni climatiche su scala regionale (ex: Bacino Mediterraneo)	Elevata
<u>Modellistica sub-stagionale e multi-annuale</u> : Previsioni climatiche dalla scala mensile fino a quella decennale	Elevata
<u>Tipping points</u> : Identificazione dei processi che possono causare eventi climatici irreversibili	Media
<u>Modi di variabilità dell'atmosfera e dell'oceano</u> : Studio delle oscillazioni climatiche naturali e del loro intrecciarsi con il riscaldamento globale (ex: <i>EL Niño, Climate hiatus</i> )	Alta
<b>MITIGAZIONE</b>	
<u>Eventi estremi in area mediterranea</u> : Sistemi di allerta meteo tramite meteorologia operativa e nowcasting tramite osservazioni radar delle precipitazioni	Elevata
<u>Clima, biodiversità e funzionamento degli ecosistemi marini, costali e terrestri in area mediterranea</u> : Cambiamenti climatici e incendi; budget del carbonio e potenziale di mitigazione dei principali pozzi naturali di carbonio; potenziale evolutivo del biota marino e terrestre per la conservazione delle risorse genetiche attuali.	Elevata
<u>Acidificazione dell'oceano</u> : Limitazione dell'acidificazione dell'oceano dovuta a CO <sub>2</sub> responsabile per l'alterazione dell'ecosistema marino	Media
<b>ADATTAMENTO</b>	
<u>Buone pratiche</u> : Implementazione delle buone pratiche per la gestione degli ecosistemi mediterranei al cambiamento climatico	Media
<u>Nature-based solutions</u> : Potenzialità di soluzioni innovative basate sui sistemi naturali per l'adattamento al cambiamento climatico, con particolare attenzione all'ambito urbano	Media
<u>Climate Services</u> : Strumenti di validazione delle simulazioni climatiche e valutazione degli impatti	Alta
<u>Clima e beni culturali</u> : Sistemi di gestione e di prevenzione del degrado dovuto al cambiamento climatico su edifici e centri storici mirata alla riqualificazione nel rispetto della loro integrità e valore	Alta



### CNR-IGG: attività su 'Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento'

Presso l'Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) del CNR di Pisa, si svolgono le seguenti attività:

- **Effetti del cambiamento climatico sulle falde acquifere** (quantità e qualità chimico-fisica della risorsa idrica) **e sui processi idrogeologici**, inclusa la salinizzazione degli acquiferi:
  - o Misure in campo, analisi geochimiche e isotopiche, analisi statistica dei dati, cartografia e GIS, modelli idrogeologici empirici o numerici per previsioni stagionali e scenari di risposta delle falde. Tecnologia per la gestione/mitigazione e adattamento, inclusa la ricarica degli acquiferi. In collaborazione con Università e con enti gestori delle risorse idriche in Toscana, Piemonte, Veneto e altrove. Legame con le attività del Progetto Foresight CNR sulle sfide scientifiche e tecnologiche dei prossimi trent'anni.
  - o TRL: 7.
- **Impatti del cambiamento climatico sugli incendi boschivi/naturali (wildfires):**
  - o Analisi di dati al suolo, grigliati e satellitari, sviluppo di modelli empirici e di processo, GIS, sviluppo di tecniche per previsioni stagionali e per scenari climatici sul rischio di incendio e di stima dell'area bruciata attesa. Analisi degli effetti post-fuoco e degli impatti sull'ambiente e sui servizi ecosistemici. Valutazione dell'efficacia di strategie di adattamento e mitigazione. In collaborazione con CNR IMAA, con la Protezione Civile, con Università e con enti territoriali (Regioni).
  - o TRL: 6.
- **Effetti del cambiamento climatico sulla "zona critica"** (lo strato fra la roccia e la cima della vegetazione), sui processi biogeochimici nel suolo e sui flussi di vapore e di gas climalteranti:
  - o Misure in campo, osservatori permanenti in Italia e in Artico, analisi geochimiche e isotopiche in laboratorio e in campo, modelli numerici per la risposta della zona critica ai cambiamenti climatici. Inserito nelle infrastrutture europee eLTER RI, LiefWatch ERIC e ICOS ERIC. Collaborazione con Università e con gestori di aree protette e del territorio (Parchi, Regioni).
  - o TRL: 5

### CNR-ISAC: attività di ricerca in corso nel gruppo di modellistica climatica

Presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del CLIMA del CNR, si svolgono le seguenti attività di ricerca:

- **Attribuzione dei cambiamenti climatici recenti:**
  - o Simulazioni numeriche del clima degli ultimi 150 anni con modelli Earth System che includono forzanti naturali e di origine antropica.
  - o TRL = 8 (9 high - 1 low)
- **Attribuzione di eventi estremi:**
  - o Valutazione della probabilità di eventi meteo-climatici estremi in area Mediterranea a partire da diversi livelli di riscaldamento globale attraverso studio di processi e simulazioni meteorologiche ad alta risoluzione
  - o TRL=7
- **Regioni polari, aree montane e ciclo idrologico:**
  - o studio dei cambiamenti climatici nelle regioni polari e ad alta quota (ex: *Polar amplification, Elevation dependent warming*) e variazioni del ciclo idrologico alle medie latitudini e ai tropici (ex: *Mediterranean Climate, Monsoons*) TRL=8
- **Modellistica clima storico:**
  - o valutazione della capacità dei modelli climatici globali di simulare il clima degli ultimi 150 anni e la sua variabilità.
  - o TRL=9
- **Modellistica scenari futuri:**
  - o realizzazione di proiezioni climatiche su scala globale ad alta risoluzione secondo vari scenari di emissione.



- TRL=9
- **Modellistica regionale:**
  - proiezioni e ricostruzioni climatiche su scala regionale (ex: Bacino Mediterraneo).
  - TRL=5
- **Modellistica sub-stagionale e multi-annuale:**
  - Previsioni climatiche dalla scala mensile fino a quella decennale
  - TRL=6
- **Tipping points:**
  - Identificazione dei processi che possono causare eventi climatici irreversibili attraverso simulazioni climatiche con una gerarchia di modelli a crescente complessità.
  - TRL=6
- **Modi di variabilità dell'atmosfera e dell'oceano:**
  - Studio delle oscillazioni climatiche naturali e del loro intrecciarsi con il trend di riscaldamento globale (ex: *EL Niño*, *Atlantic and Pacific multidecadal variability*, *Climate hiatus*, *Teleconnections*)
  - TRL=8

### Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR (CNR-IIA)

Modellistica climatica data-driven con metodi di intelligenza artificiale/machine learning (reti neurali) e time series analysis (Granger causality) per *'studi di attribuzione' climatica*, downscaling e analisi di impatti di vario tipo.

### CNR Dipartimento "Ingegneria, ICT e tecnologie per Energia e Trasporti" IFAC

#### Attività di ricerca del gruppo atmosfera

- **Osservazioni del bilancio radiativo radiativo terrestre** (quantificazione con misure di spettroscopia FTS dei contributi di forzanti e feedbacks nella componente a grandi lunghezze d'onda del bilancio radiativo):
  - Realizzazione di modelli di trasferimento radiativo e di codici d'inversione per analisi di livello 2 (ricavare parametri geofisici dalle misure di radianza), ed uso di tecniche di data fusion per l'utilizzo dei dati del satellite Explorer 9 di ESA (progetto FORUM).
  - TRL: 7.
- **Osservazioni e mappatura dei gas serra in atmosfera dallo spazio** come contributo ai modelli ed agli assessments sull'evoluzione del sistema e come strumento di responsabilizzazione delle attività produttive e gestionali.
  - Realizzazione di modelli di trasferimento radiativo e di codici d'inversione per analisi di livello 2 (ricavare parametri geofisici dalle misure di radianza), ed uso di tecniche di data fusion applicate in passato alle misure di IASI e GOSat, e utilizzabili per la futura Sentinel 7 europea (CO<sub>2</sub> Mission).
  - TRL: 7.

### CNR Dipartimento "Scienze Fisiche e tecnologie della Materia" INO

#### Attività di ricerca del gruppo atmosfera

- **Osservazioni del bilancio radiativo radiativo terrestre** (quantificazione con misure di spettroscopia FTS dei contributi di forzanti e feedbacks nella componente a grandi lunghezze d'onda del bilancio radiativo):
  - Realizzazione di strumenti di spettroscopia a trasformata di Fourier (FTS) operanti nel lontano infrarosso, misure in campo dalla base di DOME C in Antartide, realizzazione di codici di livello 1 per ricavare dall'osservazione misure di radianza calibrate e geolocalizzate, analisi di livello 2 per l'estrazione di parametri geofisici e contributo tecnico-scientifico allo sviluppo del satellite Explorer 9 di ESA (progetto FORUM) con la primogenitura della proposta e l'attuale presidenza del MAG (Mission Advisory Group). Collaborazioni con IFAC, ISAC, IAC, Università di Bologna ed Università della Calabria.
  - TRL: 7.



### Consorzio LaMMA (CNR-Regione Toscana)

Presso il Consorzio LaMMA, vengono svolte ricerche nei seguenti campi:

- Titolo: Analisi dell'evoluzione del *clima meteo-marino e della circolazione*, ad alta risoluzione, per il territorio e la costa italiana.
  - o Descrizione: Analisi di dati ad alta risoluzione sia spaziale che temporale ottenuti da modelli numerici atmosferici, di moto ondoso e di circolazione tramite appositi downscaling di re-analysis globali dell'atmosfera (ERA5) e del mare (CMEMS).
  - o Obiettivi: (i) scientifici: studio di eventuali shift o trend nelle serie temporali del hindcast da attribuirsi ad aspetti legati al cambiamento climatico globale; (ii) societal benefits: indicazioni per la gestione della linea di costa in relazione ai cambiamenti climatici; potenzialità energetica (es. eolica e solare) dei siti d'interesse.
  - o TLR (stima): 6-7
- Titolo: Previsioni e analisi di *qualità dell'aria* per la regione Toscana.
  - o Descrizione: Stime di inquinanti atmosferici ad alta risoluzione spaziale (2 km) e temporale (1 h) ottenute tramite un sistema di modelli numerici atmosferici (ECMWF-WRF) e di chimica e trasporto (CAMx, CHIMERE per boundary conditions).
  - o Obiettivi: (i) scientifici: studio delle concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici, sia antropici che naturali (polvere desertica, sale marino), per la valutazione degli impatti ambientali e socio-economici, anche in connessione al COVID-19; (ii) societal benefits: supporto per il monitoraggio e la valutazione della qualità dell'aria, supporto per la pianificazione di interventi di mitigazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico.
  - o TLR (stima): 6-7
- *Titolo del servizio: Scenari climatici e tipi di circolazione sull'Italia.*
  - o Descrizione: Analisi dei downscaling CORDEX sugli scenari climatici attraverso l'uso di classificazioni di tipi di circolazione specifici per il dominio italiano.
  - o Obiettivi: (i) scientifici: variazione nei tipi di circolazione e nella loro frequenza, identificazione di trend nelle variabili di interesse (es. piogge intense, serie aride, ondate di calore, mareggiate, energia del moto ondoso); (ii) societal benefits: supporto alle strategie di mitigazione e adattamento.
  - o TLR (stima): 3-4
- *Titolo del servizio: Previsioni stagionali.*
  - o Descrizione: framework per le previsioni stagionali probabilistiche sull'Italia basato su una classificazione di tipi di circolazione e su un modello ensemble. Ai tipi di circolazione e al modello ensemble si affianca una valutazione (assessment) dell'impatto di particolari indici climatici e di teleconnessione
  - o Obiettivi: (i) scientifici: sviluppo di metodologie di previsioni stagionali ad alta risoluzione; ampliamento della conoscenza sulle caratteristiche e gli impatti delle teleconnessioni climatiche a scala regionale e locale (ii) societal benefits: utilizzo delle previsioni stagionali in vari settori (es. agricolo, energetico, gestione risorsa idrica, protezione civile).
  - o TLR (stima): 4-5
- Titolo: Sviluppo di *piattaforme Web-GIS per il monitoraggio in tempo reale e l'analisi dei parametri meteo-climatici* sul territorio toscano per la gestione delle emergenze climatiche.
  - o Descrizione: Sviluppo di infrastrutture WebGIS che, utilizzando i tematismi (geo-morfologici, meteo-climatici) necessari al monitoraggio delle crisi climatiche (es. siccità), ne permettono una migliore gestione. Tali infrastrutture attualmente a livello regionale sono estendibili a livello nazionale.
  - o Obiettivi: (i) scientifici: organizzazione in tempo reale di informazioni meteo-climatiche georeferenziate ad alta risoluzione come strumento per la valutazione del cambiamento climatico e lo studio del suo impatto in vari ambiti; (ii) societal benefits: individuazione precoce dei segnali di crisi idrica per una miglior gestione dell'emergenza (utenti: Autorità Idrica Toscana, Commissione



tutela delle acque dell’Autorità del Distretto dell’ Appennino Settentrionale, Tavolo per la gestione della risorsa idrica della Regione Toscana); analisi e caratterizzazione climatica in ambito agricolo per la messa in atto di strategie di adattamento anche in ottica di nuove specie patogene (utente: Settore fitosanitario della Regione Toscana).

- TLR (stima): 6-7

**Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile, ENEA**

<b>Temi di ricerca della “Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile”</b>	
<b>TEMA DI RICERCA</b>	<b>MATURITÀ</b>
<b><u>Osservazioni di lungo periodo:</u></b> misura di parametri climatici (Essential Climate Variables) da siti dedicati allo studio del clima per la determinazione quantitativa dell’evoluzione del clima e dei suoi forzanti naturali ed antropici. Regioni di particolare interesse (hot-spot climatici): Mediterraneo e regioni polari	Elevata
<b><u>Studio di processi:</u></b> studio di dettaglio, anche attraverso campagne intensive di misura ed integrazione di osservazioni e modelli, di processi di regolazione del clima, con particolare riferimento alle interazioni radiative ed al ruolo di particolato e nubi	Elevata
<b><u>Contributi a infrastrutture di ricerca strategiche Europee ed internazionali:</u></b> sviluppi osservativi integrati in programmi internazionali dedicati al clima (anche in riferimento a standard e scale di riferimento comuni, analisi integrate su scala regionale e globale).	Elevata
<b><u>Sviluppo di super-siti osservativi:</u></b> implementazione di osservatori integrati che consentano di studiare processi climatici con particolare riferimento ad interazioni tra differenti comparti del sistema.	Elevata
<b><u>Supporto e verifica/calibrazione delle osservazioni dallo spazio:</u></b> osservazioni a supporto della ottimizzazione, della continuità e del miglioramento delle misure satellitari di interesse climatico.	Elevata
<b><u>Monitoraggio ecosistemi marini a medio/lungo termine:</u></b> Monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico (inclusi anomalie termiche, acidificazione, eventi estremi) sugli ecosistemi marini e valutazione della resilienza delle specie/ecosistemi al fine di prevenire e mitigare la perdita di biodiversità e definire misure di conservazione	Elevata
<b><u>Effetti della acidificazione sul biota marino:</u></b> Ruolo di organismi marini bentici costruttori di strutture calcaree nel budget della CO <sub>2</sub> e variabilità della produzione carbonatica in relazione a differenti condizioni meteo-climatiche	Elevata
<b><u>Cambiamenti climatici nei mari dei Poli:</u></b> Monitoraggio di parametri fisici (Artico ed Antartide) e studi sperimentali sul biota marino (Antartide).	Elevata
<b><u>Habitat mapping:</u></b> Mappatura degli habitat marini e costieri attraverso il telerilevamento per fornire prodotti GIS a supporto della pianificazione territoriale in un’ottica di innalzamento del livello del mare e di fenomeni erosivi accentuati.	Elevata
<b><u>Osservatori marini:</u></b> Gestione osservatori marini (Lampedusa, Mar Ligure orientale) per il monitoraggio di parametri fisici in un’ottica di cambiamenti globali.	Media
<b><u>Nature Based Solutions:</u></b> Sviluppo ed impiego di NBS in contesti urbani (es. tetti verdi), costieri, agricoli,	Media/elevata



finalizzate a mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.	
<b><u>Paesaggi agricoli - servizi ecosistemici e cambiamenti climatici:</u></b> Definizione di linee guida per la gestione dei paesaggi agricoli alle prese con erosione e siccità aggravate dai cambiamenti climatici. Gestione della biodiversità e quantificazione del sequestro di carbonio.	Elevata
<b><u>Attribuzione dei cambiamenti climatici recenti:</u></b> simulazioni numeriche del clima degli ultimi 150 anni con modelli Earth System (a scala globale e regionale euro-mediterranea) che includono forzanti naturali e di origine antropica.	Elevata
<b><u>Attribuzione di eventi estremi:</u></b> valutazione della probabilità di eventi meteo e meteorologici estremi in area Euro-mediterranea a partire da diversi livelli di riscaldamento globale attraverso studio di processi e simulazioni meteorologiche ad alta risoluzione.	Media
<b><u>Variazione del Livello del mare:</u></b> variazioni del livello del mare in seguito al cambiamento climatico nel bacino Mediterraneo	Elevata
<b><u>Modellistica clima storico:</u></b> valutazione della capacità dei modelli globali e regionali mediterranei di simulare il clima degli ultimi 150 anni e la sua variabilità.	Elevata
<b><u>Modellistica scenari futuri:</u></b> realizzazione di proiezioni climatiche su scala globale e regionale euro-mediterranea secondo gli scenari di emissione proposti dall'IPCC.	Elevata
<b><u>Valutazione delle performance delle previsioni stagionali e sub-stagionali su scala globale ed europea</u></b>	Elevata
<b><u>Sistemi previsionali in area mediterranea:</u></b> sistemi di oceanografia operativa per l'area mediterranea.	Elevata
<b><u>Climate Services:</u></b> sviluppo di servizi climatici per i settori rilevanti dell'economia: agricoltura, energia, trasporti, maricoltura.	Elevata
<b><u>Clima e inquinamento atmosferico:</u></b> come la variazione climatica può influenzare la dinamica dell'inquinamento atmosferico	Elevata

### Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – INGV

Nel campo degli studi attinenti al problema del cambiamento climatico, presso lo INGV si lavora intorno ai seguenti temi:

- quantificazione delle emissioni naturali della CO<sub>2</sub>, metano e azoto;
- calcoli e misure dirette del sollevamento del livello del mare (progetto savemedcoasts)
- studi paleoclimatici in Italia, in Antartide e in Artide
- valutazione dell'evoluzione del buco dell'ozono
- space weather

Lo INGV è socio fondatore del Centro Mediterraneo dei Cambiamenti Climatici (CMCC).

### Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA

Temi di ricerca dello “Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale”	
TEMI DI RICERCA	MATURITÀ
<b>Clima e cambiamenti climatici</b>	
Ricerca sul clima dei mari italiani sulla base delle osservazioni delle reti di	Media



monitoraggio marino dell'ISPRA, di tecniche innovative di monitoraggio (ad esempio da videomonitoraggio) e dei dati resi disponibili da Enti terzi	
Sviluppo di ontologie e metadati delle reti di monitoraggio marino in formato <i>linked open data</i> (LOD) per la condivisione ed il riuso in ambito nazionale ed internazionale	Media
Cura dell'integrazione dei dati di temperatura superficiale del mare in situ e da remote sensing per la definizione dei trend nei mari italiani	Media
Utilizzo di dati di moto ondoso tele rilevati da satelliti altimetrici e da SAR per la definizione delle climatologie ondose nei mari italiani	Media
Calibrazione e validazione per finalità di ricerca di misure di moto ondoso da telerilevamento di Enti terzi	Media
Attività di verifica e validazione dei dati di livello del mare e meteorologici, rilevati dalla rete mareografica nazionale dell'ISPRA (RMN)	Media
Sviluppo di attività di analisi degli eventi estremi di livello del mare e della variazione del livello medio del mare sul lungo periodo	Media
Partecipazione allo sviluppo di un sistema informativo pilota per il supporto operativo alla gestione portuale ed ai servizi di navigazione (anche come misura di adattamento al cambiamento climatico)	Media
Progettazione della realizzazione di una rete sperimentale di stazioni mareografiche integrate con GNSS (per stazioni integrate si intende l'accoppiamento dei rilevatori di livello con rilevatori GPS/GNSS, i primi per definire in ogni località il <i>relative sea level change</i> , ed i secondi al fine di individuare l' <i>absolute sea level change</i> )	Media
Analisi da remote sensing di elementi biologici ( <i>bloom</i> di meduse) per la definizione di trend spaziali e temporali come precursori di alterazioni delle caratteristiche fisico-chimiche della colonna d'acqua provocate del cambiamento climatico	Media
Contributo ad attività di ricerca finalizzata ad azioni di prevenzione e preparazione nella protezione civile per il rischio da inondazioni costiere	Media
Sviluppo di strumenti di Ricerca e Innovazione Responsabili (RRI) al fine di allineare meglio le attività di ricerca e innovazione ed i risultati prodotti con i valori, le necessità e le aspettative della società europea, al fine di integrare in ambito scientifico i punti di vista dei cittadini	Media
<b>Impatti</b>	
Messa a punto, in collaborazione con il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, di set di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici per tutti i settori individuati dal Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) e dalla Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC)	Alta, media, bassa (a seconda dei settori)
Sviluppo e test di metodi di valutazione delle vulnerabilità territoriali ai cambiamenti climatici, secondo frame work standard e internazionali	Bassa
Utilizzo di una versione modificata del modello ISPRA BIGBANG – Bilancio Idrologico GIS BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare (Braca et al., 2019; Braca e Ducci, 2018) per fornire una prima valutazione della disponibilità di risorsa idrica naturale in Italia per effetto dei cambiamenti climatici determinati da quattro scenari di emissione di gas ad effetto serra (GHG) definiti dall'IPCC (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). La valutazione quantitativa media annuale della disponibilità della risorsa è stata effettuata su tre orizzonti temporali: a breve (2020–2039), medio (2040–2059) e lungo (2060–2099) termine.	Bassa
Coordinamento e realizzazione del Progetto Piccole Isole, allo scopo di investigare e monitorare la fenologia di migrazione primaverile dei passeriformi (piccole specie di	Alta



uccelli) nidificanti in Europa attraverso l'attuazione di protocolli standardizzati di inanellamento in diverse aree chiave per la migrazione degli uccelli.	
Realizzazione di analisi per valutare l'esistenza di differenze nelle dimensioni corporee dal 1982 ad oggi (39 anni) in diverse specie di passeriformi e piciformi (picchi) nidificanti in Italia.	Media
<b>Adattamento</b>	
Studi conoscitivi nell'ambito dei progetti LIFE ACT, LIFE Master-ADAPT, LIFE SEC-ADAPT	Conclusi
Partecipazione al progetto FP7 BASE	Conclusi

### Istituto Superiore di Sanità - ISS

Temi di ricerca dello "Istituto Superiore di Sanità"	
TEMA DI RICERCA	MATURITÀ
<b><u>Ecosistemi acquatici a medio/lungo termine:</u></b> Monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico (inclusi anomalie termiche, acidificazione, eventi estremi) sugli ecosistemi acquatici e valutazione della resilienza delle specie/ecosistemi al fine di prevenire e mitigare la perdita di biodiversità e definire misure di conservazione e rischi per la salute	Alta
<b><u>CLIMATIONS:</u></b> adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici: interventi urbani per la promozione della salute	Alta
<b><u>N&amp;B:</u></b> ambiente, clima e protezione della salute dei bambini	Elevata
<b><u>Horizon 2020 BlueHealth:</u></b> Linking Up Environment, Health and Climate for Inter-Sector Health Promotion and Disease Prevention in a Rapidly Changing Environment	Elevata
<b><u>CHAMP HEALTH:</u></b> Challenges and Ambitions for the "One Health" Conception in Climate Change mitigation	Elevata
<b><u>PULVIRUS:</u></b> inquinamento atmosferico e Covid 19	Elevata
<b><u>Studio dei cambiamenti globali ambientali mediante lo sviluppo di sistemi rapidi</u></b> (es RNA microarrays) per l'identificazione di patogeni (batteri e virus) inclusi quelli emergenti e re-emergenti.	Elevata
<b><u>Salute e cambiamenti climatici,</u></b> effetti e strumenti di mitigazione e adattamento per le popolazioni	Elevata
<b><u>Studio epidemiologico nazionale</u></b> su inquinamento atmosferico ed epidemia di Covid-19	Elevata
Effetti dei Cambiamenti Climatici sulla circolazione degli inquinanti nell'ambiente	Elevata
Effetti sulla salute umana di tossine naturali prodotte da fioriture di cianobatteri e alghe tossiche marine e relativa valutazione del rischio estesa anche ad altri contaminanti la cui presenza in ambiente è esacerbata dai CC	Elevata



## 5.3 Energetica industriale

### Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni<sup>46</sup>

La tecnologia e l'innovazione tecnologica, soprattutto in ambito energetico, hanno da sempre determinato il progresso delle società: queste hanno di conseguenza modificato, nel corso del tempo, il proprio rapporto con l'ambiente naturale, le attività produttive ed economiche e persino l'organizzazione sociale e culturale. Spesso, le innovazioni sono di natura incrementale ed introducono piccoli cambiamenti all'interno delle società - trasferendo allo stesso tempo un flusso di conoscenze collettive che vengono accumulate, organizzate ed elaborate. Vi sono dei particolari momenti storici, dove la conoscenza collettiva assume maturità in molteplici ambiti che possono confluire come spinte di innovazione tecnologica, politica, economica e ambientale. Così è stato durante la seconda rivoluzione industriale, quando la confluenza delle innovazioni energetiche (la scoperta delle fonti energetiche fossili), le innovazioni nelle telecomunicazioni (radio e telefono), le innovazioni industriali (produzione dell'acciaio e dell'ammoniaca) e quelle sociali ed economiche (taylorismo e fordismo) consentirono alle nostre società di trasformare le città, l'ambiente, la stessa vita individuale e collettiva.

Oggi si sono create delle condizioni - di nuove tecnologie, di contesto politico ed istituzionale e dei cosiddetti megatrends - che hanno la forza di innescare un processo trasformativo delle nostre società e di consentire una nuova transizione. L'OCSE ha recentemente formalizzato il concetto di Next Production Revolution, che esprime la confluenza di tecnologie digitali (additive manufacturing, IoT, robotica), di nuovi materiali (biologici o nano-strutturati) e di nuovi processi (energie rinnovabili, intelligenza artificiale, processi data driven) che avranno un impatto sulle competenze, sul lavoro, sulla produttività, sui mercati, sull'ambiente, sulla lotta alla povertà e alle disuguaglianze (anche in riferimento all'energia). Le stesse Nazioni Unite hanno individuato nell'innovazione tecnologica un fattore abilitante per il conseguimento degli obiettivi generali di sviluppo sostenibile. Da un punto di vista politico ed istituzionale, gli accordi sul clima di Parigi ed ancora l'Agenda 2030 sullo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite costituiscono delle innovazioni politiche ed etico-sociali rilevanti perché definiscono orizzonte e dimensioni della nuova transizione. Le iniziative di innovazione politica ed istituzionale si sono diffuse su scala macroregionale e nazionale, come ad esempio l'Agenda 2063 Africana, il Green New Deal, il 14° Piano Quinquennale Cinese, e - solo per citarne alcuni nazionali in ambito energetico - l'Energiewende Tedesca ed il Piano Nazionale Integrato Energia Clima Italiano.

Orizzonte e dimensioni della nuova transizione sono pertanto tracciati e - per quanto riguarda ad esempio il Green New Deal - la direzione intrapresa è che 'nel 2050 non siano più generate emissioni nette di gas ad effetto serra, che la crescita economica sia dissociata dall'uso delle risorse, che nessuna persona e nessun luogo sia trascurato'. Gli scenari di lungo periodo della transizione energetica europea, elaborati nel documento "A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral economy"<sup>47</sup>, indicano una quota di energie rinnovabili nel mix dei consumi finali al 2050 di circa il 70%, con oltre l'80% di energia elettrica da FER; i consumi finali pro-capite si ridurranno del 30% e saranno coperti dall'utilizzo dell'energia elettrica per una quota di almeno il 50%. Questi obiettivi potranno rafforzare il settore industriale delle energie rinnovabili che in Europa conta 6 delle maggiori 25 imprese a livello globale e impiega quasi 1,5 milioni di persone (su un totale mondiale di 10 milioni).

Il contesto attuale prende pertanto atto della condivisione delle scelte strategiche europee e nazionali, che hanno l'obiettivo di pervenire al 2050 ad una pressoché completa **decarbonizzazione** del Paese implementando in parallelo misure per valorizzare i benefici **socio-economici ed ambientali** della transizione energetica. Insieme agli elementi

---

<sup>46</sup> Per gli acronimi utilizzati nel testo, si veda il Glossario al termine delle pagine dedicate a questo Ambito tematico.

<sup>47</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>;

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2\\_dgclima\\_rungemetzger.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2_dgclima_rungemetzger.pdf)



di contesto, che hanno consentito di definire le **articolazioni delle linee di ricerca**, è necessario considerare gli **impatti generali** verso cui le linee stesse devono orientarsi per sostenere la transizione energetica del Paese.

In particolare, è necessario:

- aumentare lo sviluppo competitivo e l'occupazione che deriveranno dalla spinta alla transizione energetica attraverso l'implementazione di azioni di ricerca e sviluppo di nuovi materiali, tecnologie, prodotti, processi e servizi per l'energia mirati al trasferimento tecnologico nei confronti della filiera industriale nazionale;
- supportare il processo di cambiamento del sistema energetico nazionale, con un maggiore utilizzo dell'energia elettrica visto come fattore abilitante per la realizzazione di un sistema intelligente, flessibile, resiliente, sicuro ed in grado di massimizzare l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, nonché di promuovere lo sviluppo di comunità energetiche.
- sostenere il ruolo dei gas nel processo di decarbonizzazione energetica, favorendo il sector coupling e sviluppando una traiettoria chiara e coerente verso i gas da rinnovabili e decarbonizzati grazie all'implementazione di tecnologie CCUS.

Quanto sopra è inserito in un quadro di costante attenzione per la riduzione dei costi e dei consumi dell'energia per gli usi finali, a beneficio dei consumatori e della **competitività** del Paese. Oltre agli elementi più strettamente tecnologici è infatti necessario considerare gli aspetti economici, di mercato, finanziari e sociali della transizione energetica, come pure l'infrastruttura di supporto, l'ecosistema di innovazione e il capitale umano e la maturità delle risorse. Secondo il World Economic Forum, l'Italia sconta alcuni elementi di natura strutturale che possono rallentare il ritmo della transizione verso le fonti rinnovabili e che possono essere corretti implementando specifiche azioni rivolte alla ricerca. In particolare, è necessario incidere sulla riduzione dei prezzi dell'energia sia per gli usi industriali - al fine di aumentare la competitività del Paese - sia per gli usi residenziali, considerando che il 15% circa della popolazione italiana riscontra delle difficoltà nel riscaldamento degli ambienti e che il 5% è in difficoltà nel pagamento delle bollette.

L'opportunità di una maggiore **elettificazione** è evidente negli usi finali di energia. La transizione verso la **mobilità** elettrica costituisce uno strumento essenziale per la decarbonizzazione ed avrà un impatto rilevante a livello sistemico se si tiene conto che la rete elettrica dovrà integrarsi con le infrastrutture di ricarica, che i veicoli elettrici e la rete scambieranno informazioni, e che i veicoli stessi potranno costituire un elemento della rete, fornendo capacità di accumulo e regolazione.

L'evoluzione dei consumi energetici in **ambito industriale** non può prescindere dall'evoluzione delle nuove tecnologie di produzione e della trasformazione digitale (Industry 4.0) e dallo sviluppo di soluzioni pulite, distribuite, resilienti, flessibili, intelligenti e vicine agli utilizzatori/consumatori. Inoltre, risulta evidente l'esigenza di potenziare l'autonomia nazionale e di riconvertire settori chiave della produzione industriale e della logistica, come emerso durante l'emergenza COVID-19. In tale contesto si colloca anche l'incremento dell'efficienza energetica, conseguibile con lo sviluppo di nuovi materiali e tecnologie, e con una visione integrata degli insediamenti industriali, intesi come insieme di processo produttivo, impianti di servizio e strutture distributive.

Il comparto industriale rappresenta un settore dove l'elettificazione è già ampiamente presente e può ancora svilupparsi grazie all'applicazione di soluzioni ad energia rinnovabile, alla poligenerazione, al controllo intelligente di linee produttive, allo sviluppo di tecnologie e sistemi innovativi di pianificazione, esercizio, monitoraggio e controllo delle reti elettriche industriali (Smart Industry), ed all'introduzione degli accumuli e recuperi di energia nelle diverse forme che introducono nuove possibilità di risparmio energetico.

Le azioni di ricerca dovranno quindi evidenziare l'impatto sui consumi energetici derivante dall'introduzione di sistemi di produzione basati sul paradigma Next Production Revolution, mantenendo e monitorando il trend di decrescita dell'intensità energetica che posiziona l'Italia tra i paesi più virtuosi al mondo nel campo delle misure di efficienza, doverosamente allargata alla visione complessiva del consumo delle risorse (flusso dei materiali, circolarità, second-life, zero waste).

La maggiore penetrazione di fonti rinnovabili avrà un impatto sistemico rilevante che offre opportunità di innovazione e valorizzazione delle risorse nazionali. La ricerca nell'ambito delle **reti energetiche** e della loro integrazione dovrà



approfondire quelle soluzioni che aumentino l'interoperabilità, la flessibilità e la sicurezza la digitalizzazione e la disponibilità di dati e di soluzioni di controllo real-time. Tecnologie e strumenti possono essere inoltre sviluppati per consentire l'integrazione tra le reti e la sinergia tra gli operatori di trasmissione e distribuzione. Fondamentale, in questo contesto, è l'**accumulo di energia**. L'Italia si giova di una situazione favorevole degli impianti idroelettrici, molti dei quali sono stati riconvertiti in sistemi di accumulo: di fronte alla crescente penetrazione delle rinnovabili a regime variabile, è necessario prevedere sviluppi futuri ed integrazioni anche con altre forme di accumulo. I sistemi di accumulo elettrochimico offrono ampi margini di sviluppo, sia in termini tecnologici che di utilizzo. In questo contesto è essenziale lo sviluppo di nuove batterie con materiali facilmente reperibili e di cui sia possibile il recupero e riutilizzo nell'ottica di un'economia circolare. Diverse soluzioni e forme di accumulo di energia dovranno svilupparsi a tutti i livelli (da quello utente a quello di rete), tenendo conto dei servizi richiesti e dell'evolvere del sistema verso soluzioni distribuite, integrate, intelligenti ed interconnesse (Smart Grids).

Ampi margini di sviluppo sono presenti nell'elettronica di potenza, che svolge un ruolo abilitante nel processo di decarbonizzazione, fornendo i mezzi per la gestione ed il controllo della conversione ad alta efficienza e della trasmissione a grande distanza dell'energia elettrica.

In questo contesto, è importante l'**integrazione tra infrastrutture** esistenti, ad esempio tra le reti elettriche e del gas mediante le tecnologie power-to-gas e la produzione di **vettori energetici puliti** (idrogeno, metano sintetico, altri vettori gassosi e liquidi); potranno inoltre essere sviluppate nuove infrastrutture locali per la gestione di Idrogeno, biocombustibili e teleriscaldamento. L'utilizzo delle biomasse si integra nell'ambito dei sistemi multi-energia, contando nel nostro Paese su un patrimonio forestale nazionale importante e sulla possibilità offerta dalla valorizzazione dei residui agricoli e degli allevamenti zootecnici.

Gli aspetti di ricerca sui singoli settori tecnologici non possono prescindere dallo sviluppo di metodologie e strumenti per la **pianificazione energetica** a livello nazionale e settoriale. In questo senso è auspicabile la messa a sistema di un'infrastruttura di ricerca che curi la redazione delle banche dati interdisciplinari a supporto di analisi multisettoriali. La pianificazione energetica può infatti evidenziare le opportunità per rafforzare il paese dal punto di vista strutturale e geopolitico, aumentando la resilienza e la competitività del sistema. Rivestono un ruolo fondamentale la diversificazione degli approvvigionamenti, l'interconnessione bidirezionale delle reti con l'estero, l'utilizzo sostenibile delle risorse locali, le sinergie con i paesi dell'area mediterranea e la geopolitica dei materiali strategici nella transizione energetica. La ricerca su strumenti di pianificazione energetica avrà il compito di indicare le scelte più razionali per far evolvere il sistema di regolamentazione per favorire le nuove opportunità che nascono dalla ricerca tecnologica.

Una struttura di **coordinamento della ricerca sulla Transizione Energetica** potrebbe essere sviluppata all'interno di un'Agenzia Nazionale per la Ricerca o di simili strutture di coordinamento interministeriale, in modo da supportare efficacemente con i programmi nazionali la partecipazione ai progetti di ricerca Europei, per i quali si prevedono nei prossimi anni interventi consistenti di finanziamento in questo settore.

## Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

L'Italia con il Piano Nazionale Integrato Energia Clima prevede al 2030 il 30% di fonti rinnovabili nel mix dei consumi finali, con oltre il 55% dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili, e la riduzione delle emissioni di gas serra del 40% rispetto ai livelli del 1990. Questi obiettivi potranno mobilitare circa 14 miliardi di euro di investimenti l'anno al 2030 e creare circa 120.000 occupati temporanei medi annui e un totale di circa 50.000 occupati permanenti (con un incremento complessivo di circa 13.000, +35% rispetto ad oggi anche se va segnalato che le stime indicano una riduzione di circa 6.000 unità nel comparto delle energie fossili). Oggi gli occupati permanenti e temporanei in Italia nel settore delle energie rinnovabili sono circa 88.000.

Il settore industriale contribuisce in maniera rilevante al grande ambito Clima, Energia, Trasporti, e le cinque articolazioni di ricerca individuate nel presente Ambito Energetica Industriale hanno una rilevanza strategica per



conseguire la transizione energetica, ambientale, sociale ed economica. Le tecnologie digitali in sinergia con le tecnologie energetiche giocheranno un ruolo chiave nella transizione verso uno sviluppo sostenibile così come indicato dall'OCSE (cfr. Next Production Revolution) e dalle Nazioni Unite (cfr. Agenda 2030). Questo aspetto è stato trattato dalla Commissione Europea che con il Green New Deal sta promuovendo l'impiego di tecnologie digitali per aumentare l'efficacia di interventi di decarbonizzazione. Le tecnologie digitali possono supportare le politiche ambientali attraverso il "potere dei dati", le cui potenziali aree di applicazione comprendono il ciclo dei rifiuti, il trasporto digitale, i sistemi energetici decentralizzati, l'industria e le comunità energetiche.

**L'articolazione 1** di questo Ambito – **Generazione di energia da FER, accumuli energetici e reti europee ed intercontinentali** – intende promuovere ricerche nell'ambito delle tecnologie, dei nuovi materiali e componenti per lo sfruttamento delle FER, l'accumulo e la conversione di energia nelle molteplici forme di energia meccanica, termica, elettrica, chimica. Intende inoltre sviluppare le catene nazionali di valore per la produzione ed utilizzo di energia elettrica ed idrogeno da FER, per l'accumulo energetico, per l'elettronica di potenza e per la gestione intelligente dell'energia. Lo sviluppo delle FER non potrà prescindere dall'Integrazione del sistema energetico nazionale con quelli della Regione Mediterranea e con le reti europee ed intercontinentali elettriche e del gas. Inoltre nuove tecnologie potranno essere studiate per lo sviluppo e la gestione delle infrastrutture e per i trasferimenti a grande distanza di energia elettrica con le relative interconnessioni.

L'articolazione 1 pertanto rappresenta un punto fondamentale della ricerca nazionale per raggiungere una piena transizione energetica verso le fonti rinnovabili e in generale verso la produzione di energia sostenibile. Il cambiamento di paradigma nel settore energetico, che oggi incide per il 75% delle emissioni totali di gas serra, verso le fonti rinnovabili, spingerà la transizione ambientale consentendo di ridurre anche le emissioni inquinanti per l'aria, il suolo e le acque. Lo sviluppo di catene del valore nazionale su temi come le FER, le tecnologie per l'idrogeno e le interconnessioni con l'estero consentirà di aumentare il beneficio socio-economico della transizione energetica riducendo i costi di approvvigionamento energetico ed aumentando la sicurezza nazionale. Infine l'integrazione dell'infrastruttura digitale con quella energetica consentirà di avere un effetto sinergico di crescita sulla transizione energetica e digitale del paese.

**L'articolazione 2** di questo Ambito – **Reti intelligenti, flessibili, integrate, resilienti e digitalizzate per una piena integrazione delle FER** – intende promuovere ricerche nell'ambito delle tecnologie per l'affidabilità, efficienza, flessibilità e resilienza del sistema energetico nazionale. La ricerca sulla diversificazione dei vettori energetici prodotti a partire da fonti rinnovabili, - come ad esempio i gas rinnovabili e decarbonizzati, mediante strategie di sector coupling ed altre tecnologie basate anche su CCUS - rappresenta un elemento cruciale per aumentare l'integrazione delle FER nel sistema energetico nazionale. Sarà necessario abilitare tutte le infrastrutture nazionali, in primis quella elettrica e del gas, all'integrazione delle nuove fonti e dei nuovi vettori. La decentralizzazione potrà quindi integrare nel sistema fonti disponibili a livello locale mediante ad esempio l'implementazione di "smart grids" e lo sviluppo delle relative tecnologie abilitanti e delle tecnologie per la produzione ed il blending di gas da FER e decarbonizzati. In questo contesto sarà fondamentale un adeguamento ed ampliamento del Mercato Elettrico e della Borsa dell'Energia e la formulazione di nuovi meccanismi di pricing.

Si prevede che la diversificazione dei vettori e della scala di produzione (centralizzata e decentralizzata) possa incrementare i benefici socio-economici integrando nei mercati energetici altre catene del valore nazionali oggi marginalmente interessate dalla transizione energetiche (quali trasporti, produzione di calore, settori agro-alimentari ed in genere la "chimica verde" nelle sue varie declinazioni), oltre a cambiare il paradigma dell'utente finale da consumatore a partner (*prosumer*). La digitalizzazione sarà cruciale per la sicurezza del sistema, per garantire flessibilità e integrare reti e vettori grazie alla condivisione dei dati e al controllo real-time con il supporto di tecnologie IoT e sistemi di Intelligenza Artificiale.

**L'articolazione 3** di questo Ambito – **Decarbonizzazione dell'industria: produzione locale da FER, uso efficiente e sostenibile dell'energia e dei materiali, trasformazione dei vettori energetici** –intende promuovere ricerche nell'ambito della decarbonizzazione dell'industria includendo la produzione di energia da FER, biocombustibili, poligenerazione e sistemi multi-vettore (quali ad esempio idrogeno, metano sintetico e metanolo). Le ricerche affronteranno anche la riduzione dell'intensità di utilizzo di materiali ed energia negli scenari della NPR



mediante l'efficienza energetica, l'elettrificazione, la digitalizzazione, la domanda attiva, l'auditing e le BAT. L'industria italiana, già fortemente elettrificata, utilizza comunque una grande quantità di risorse fossili per la produzione di calore, spesso a temperature di utilizzo medio-alte. Sarà pertanto necessario un miglioramento dell'efficienza energetica degli insediamenti industriali, in particolare nella produzione, trasporto ed accumulo del calore. Infine sarà prioritario decarbonizzare le filiere produttive ad alta intensità energetica rendendo i processi più circolari e resilienti.

L'articolazione contribuisce alla modernizzazione del paese andando ad incidere nei settori degli usi finali industriali, cuore produttivo e occupazionale del paese ed al contempo settore di trasformazione di grandi quantità di energia e di materiali. La centralità del tema deriva, inoltre, dalla constatazione che un'accelerazione del percorso di neutralità climatica del settore industriale corroborerebbe il rilancio del compartimento industriale europeo e nazionale creando nuove opportunità di business per medie e piccole imprese/SME grazie anche alla nuova "SME strategy" lanciata dall'Unione. Questa attenzione diventa ancora più cruciale se si considerano i cambiamenti epocali che subirà l'industria nei prossimi anni (cfr. NPR e Industria 4.0), con una maggiore automazione e quindi un potenziale incremento della domanda energetica. Le ricerche promosse da questa Articolazione affiancano e rafforzano il piano nazionale Industria 4.0 e successivi, con un focus sull'utilizzo razionale dell'energia e delle materie prime al fine di ridurre l'impatto ambientale del sistema industriale italiano e per assicurare una maggior resilienza per quanto riguarda l'approvvigionamento di vettori energetici e materiali non reperibili sul territorio. La transizione ambientale viene declinata in questo ambito, oltre che per l'aspetto delle emissioni - climalteranti ed inquinanti - anche in tema di economia circolare se si considera che il consumo globale di risorse energetiche e materie prime, secondo UN, dovrebbe raddoppiare nei prossimi 40 anni, accompagnandosi ad un aumento della generazione di rifiuti del 70% entro il 2050. Il concetto di economia circolare che consente di creare sinergia tra le pratiche di uso razionale dell'energia e quelle di uso efficiente di materiali è centrale nella strategia elaborata all'interno del Green New Deal e - in particolare - nella nuova edizione del Circular Economy Action Plan pubblicato dalla commissione Europea nel 2019. L'articolazione comprende la creazione di piattaforme open per la raccolta di dati reali di consumi energetici e di risorse grazie alle nuove tecnologie digitali al fine di garantire la trasparenza che prende forma nella cosiddetta Corporate Social Responsibility, una maggiore competitività per le aziende del settore e di effettuare analisi di benchmarking energetico.

**L'articolazione 4** di questo Ambito – **La catena del valore delle Comunità Energetiche** – verso sistemi energetici decentralizzati – intende promuovere la ricerca verso le tecnologie, architetture di sistema, e modelli social-gestionali per la diffusione delle Comunità Energetiche. Saranno pertanto essenziali ricerche per la pianificazione energetica su scala locale e nazionale, e per la valutazione dei suoi impatti sul sistema socio-economico, sull'ambiente e sulla resilienza ai cambiamenti climatici. In particolare, in questa articolazione sarà necessario elaborare e diffondere nuovi schemi di partecipazione ed associazione degli utenti coinvolti.

L'articolazione costituisce un contributo importante verso una trasformazione e diversificazione del sistema energetico, che ne potenzi la decentralizzazione come aspetto complementare e sinergico al paradigma centralizzato. Le comunità energetiche costituiscono una possibilità per lo sviluppo di piccola scala di sistemi energetici intelligenti e sostenibili, dimensionati per i bisogni delle comunità in termini di servizi e valore socio-economico. L'implementazione di tecnologie digitali in questa articolazione è necessaria non solo dal punto di vista tecnologico e ingegneristico, ma anche come fattore abilitante di nuovi modelli di business, sistemi di normazione e scambio di informazioni e flussi (smart contracts) tra i membri della comunità.

**L'articolazione 5** di questo Ambito – **Il sistema energetico nazionale ed i sistemi di trasporto terrestre, marino ed aereo** – individua linee di ricerca strategiche per i sistemi di trasporto e la loro integrazione con il sistema energetico. A questo proposito verranno valorizzate le interazioni sinergiche tra la transizione del sistema energetico e quella dei sistemi di trasporto verso la mobilità elettrica e low-carbon anche attraverso lo sviluppo di power-train innovativi per mobilità elettrica e ibrida, di sistemi di accumulo veicolari avanzati e sistemi per la ricarica in movimento contactless e veloce, di sinergie tra veicoli e reti elettriche (V2G, V2H, battery second life). L'articolazione comprende – oltre al trasporto terrestre – quello aereo e navale con attenzione alla riduzione delle emissioni ed alla sostenibilità ambientale. Infine, saranno prioritarie ricerche nell'ambito dello sviluppo di tecnologie



per la decarbonizzazione dei sistemi di trasporto terrestre, marittimo ed aereo e delle infrastrutture portuali, aeroportuali e intermodali.

L'articolazione costituisce un contributo importante verso una trasformazione degli usi finali della mobilità conferendo nel contempo maggiore flessibilità al sistema energetico.

## Obiettivi 2021-2027

I capitoli precedenti dedicati al contesto e alla rilevanza strategica del settore industriale per conseguire la transizione energetica, ambientale, sociale ed economica, evidenziano come nel processo evolutivo debbano essere coinvolti sia la produzione, sia la distribuzione, sia gli usi finali se si vogliono raggiungere i traguardi definiti ad esempio a livello nazionale dal Piano Nazionale Integrato Energia Clima, a livello europeo dal Green New Deal e al livello internazionale dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

In questo scenario, la ricerca svolge un ruolo abilitante per superare alcuni limiti che oggi renderebbero di difficile attuazione alcune soluzioni auspicate. In questo senso gli obiettivi della ricerca possono essere letti attraverso la capacità di attuare quelle soluzioni in grado di compiere completamente la transizione energetica. Questo concetto è particolarmente rilevante nel programma nazionale della ricerca 21-27 che accompagnerà il Paese alla fine di un decennio determinante per il cambiamento di passo verso lo sviluppo sostenibile.

Nelle pagine dedicate alle articolazioni gli obiettivi saranno motivati e descritti ampiamente; nel seguito vengono qui sintetizzati:

### Produzione di energia (Articolazione 1)

- Consolidare e sviluppare nuove tecnologie per la produzione e la gestione di energia da fonti rinnovabili includendo lo sviluppo di filiere per l'accumulo di energia e l'idrogeno
- Consolidare la transizione energetica delle Paese verso le fonti rinnovabili diversificando i sistemi di produzione anche mediante l'integrazione con le reti europee e del mediterraneo.

### Trasporto e distribuzione di energia (Articolazione 2)

- Adeguare le infrastrutture energetiche per l'integrazione e la gestione delle nuove quote di fonti rinnovabili sia elettriche che termiche che chimiche
- Innovare le reti energetiche verso una maggiore integrazione, una configurazione multivettore, una maggiore digitalizzazione

### Usi finali dell'industria (Articolazione 3)

- Integrare le fonti rinnovabili negli usi energetici industriali per una maggiore decarbonizzazione e competitività dell'industria
- Adeguare il sistema energetico per garantire la sostenibilità dell'industria e la competitività dei prodotti negli scenari della Next Production revolution

### Usi finali dei trasporti e impatti sul sistema energetico (Articolazione 5)

- Pianificare il sistema energetico nazionale per la decarbonizzazione del settore dei trasporti mediante l'elettrificazione e l'utilizzo di altri vettori e fonti da energie rinnovabili
- Sviluppare tecnologie che consentano una maggiore integrazione di fonti rinnovabili nel sistema nazionale dei trasporti

### Comunità energetica (Articolazione 4-Cross-cutting alle diverse articolazioni)

- Decentralizzare la produzione di energia integrando la disponibilità di fonti energetiche locali e adottare tecnologie di produzione, distribuzione, controllo che possano decentralizzare anche l'ownership della gestione energetica.



- Promuove il ruolo delle comunità e dei cittadini verso la transizione energetica rendendoli agenti attivi del sistema energetico mediante leve che aumentino la consapevolezza, la conoscenza e la partecipazione.

## Articolazione 1. Generazione di energia da FER, accumuli energetici e reti europee ed intercontinentali

L'obiettivo del Green New Deal della decarbonizzazione dell'economia europea prevede il ricorso a diversi strumenti finalizzati a migliorare la sicurezza energetica, la tutela ambientale e l'accessibilità dei costi dell'energia.

La decarbonizzazione dell'economia è attuabile con una maggiore penetrazione dell'energia elettrica negli usi finali (civile, servizi, industriale e trasporti) e con la disponibilità di vettori energetici che siano sostenibili dal punto di vista economico ed ambientale.

In riferimento al tema di questa articolazione l'Italia si caratterizza nel contesto europeo con alcuni punti di forza: (i) ha attuato da tempo il passaggio per gli usi stazionari al gas e dispone di una capillare rete di distribuzione; (ii) è in posizione geografica centrale nel bacino del Mediterraneo rappresentando un ponte naturale con il continente africano; (iii) dispone di un tessuto industriale caratterizzato da elevato contenuto tecnologico.

Per questa ragione il Paese può contribuire a livello globale alla decarbonizzazione della generazione di energia elettrica, sia agendo in maniera complementare con un potenziamento della generazione da fonti rinnovabili, sia con una graduale decarbonizzazione dei combustibili. Si considera strategico mantenere in Italia le produzioni ad elevato contenuto tecnologico e valore economico, garantendo nei processi e prodotti una continua attenzione alla certificazione ambientale ed alla sostenibilità dei processi. La transizione energetica offre grandi opportunità e può essere un'occasione importante per la competitività del Paese, aprendo nuovi mercati per le imprese innovative che investono in ricerca e sviluppo tecnologico. Si presentano opportunità di innovazione e di business per lo sviluppo di soluzioni richieste dalle FER per aumentare l'interoperabilità, la flessibilità e la sicurezza puntando anche su digitalizzazione e disponibilità di dati e soluzioni di controllo real-time; inoltre, di nuove tecnologie e strumenti per consentire l'integrazione tra le reti e sinergia tra gli operatori di trasmissione e distribuzione delle reti.

Dovrà essere valorizzata l'integrazione tra infrastrutture esistenti, ad esempio tra le reti elettrica e del gas mediante le tecnologie power-to-gas (PtG) e la produzione clean di altri vettori energetici (ad es. idrogeno) e potranno essere sviluppate nuove tecnologie per le infrastrutture (reti di distribuzione di Idrogeno, biocombustibili e GNL, reti di teleriscaldamento). L'utilizzo delle biomasse e biocombustibili si integra nell'ambito dei sistemi multi-energia, potendo contare in Italia su di un patrimonio forestale nazionale importante e sulla possibilità offerta dalla valorizzazione dei residui agricoli e degli allevamenti zootecnici.

La riduzione dell'intensità energetica del comparto industriale e l'incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili, con conseguente minore dipendenza dall'importazione di fonti fossili, possono contribuire a diminuire il peso della bolletta energetica e migliorare la competitività del Paese.

La complessità e l'importanza di tali obiettivi suggerisce l'adozione di una strategia che faccia convergere ricerca applicata e politiche industriali, attraverso una collaborazione che vada oltre il mero trasferimento tecnologico e che tenda piuttosto a una azione simbiotica che alimenti sia il mondo della ricerca che quello industriale.

### Obiettivi

Aumentare la produzione di energia da fonti rinnovabili e la penetrazione elettrica nei diversi comparti implica affrontare nuove sfide tecnologiche per la gestione di maggiori flussi energetici sulle reti di trasmissione. In particolare, si rende necessario l'adeguamento delle infrastrutture, sia tecnologico-strutturale che a livello di logica di controllo, finalizzato all'integrazione efficiente della produzione di energia da fonti rinnovabili con l'obiettivo di migliorare la resilienza della rete. L'obiettivo strategico è quello di rendere la rete assolutamente idonea ad integrarsi con i sistemi elettrici dei paesi confinanti, in modo da rafforzarne un ruolo decisivo nell'area Euro-Mediterraneo ai fini della transizione verso un sistema elettrico più sostenibile.



L'intenzione di incrementare il ricorso alle FER fino a valori superiori al 60% dell'energia elettrica prodotta determina anche la necessità di introdurre un sistema intelligente di accumuli dell'energia capace di operare su diverse scale temporali. Alcuni ambiti tecnologici (con particolare riferimento all'idrogeno, allo stoccaggio chimico, meccanico, elettrico e termico) possono certamente essere annoverati fra le opportunità di sviluppo economico ed occupazionale per il nostro paese. Un altro elemento importante che caratterizza la decarbonizzazione dell'offerta energetica in Europa è il potenziamento degli assets infrastrutturali attraverso reti intercontinentali verso aree in forte crescita di domanda energetica (per l'area Mediterranea si prevede un incremento della domanda di energia del 50% entro il 2040).

L'adozione di sistemi del tipo PtG diffusi sul territorio nazionale e, in particolare, in prossimità delle centrali da fonti rinnovabili e siti industriali, potrebbe contribuire ad aumentare la flessibilità della rete elettrica e creare una nuova filiera verde per i gas combustibili, valorizzando le infrastrutture per il trasporto della rete gas naturale che devono essere opportunamente adeguate.

La sfida nello sviluppo di tecnologie elettrochimiche per l'accumulo energetico è oggi basata sulla sintesi di nuovi materiali e all'ottimizzazione dei dispositivi in termini di efficienza, sicurezza e riusabilità/riciclabilità.

La Commissione Europea ha esplicitato il ruolo strategico del partenariato Europa Africa per lo sviluppo delle energie rinnovabili prevedendo finanziamenti dedicati nel programma Horizon 2020 e nelle 11 aree tematiche associate al Green New Deal,

Il rationale di questa scelta è legato alla crescente rilevanza del continente nel settore energia: infatti, le scelte energetiche che il continente adotterà (sia in Area Mediterranea che in area di Africa Sub Sahariana) influenzeranno la velocità e l'efficacia della transizione energetica globale (estrazione, produzione e consumi) e il conseguente impatto sugli accordi di Parigi.

In questo contesto è importante un supporto ai Paesi della regione mediterranea e dell'Africa Sub Sahariana in termini di capacità e competenze sulle tematiche proprie della transizione energetica.

Obiettivi specifici sono rappresentati da:

- Sviluppare e potenziare le reti di trasporto di vettori energetici al fine di connettere i distretti ed i mercati della domanda con quelli dell'offerta.
- Sviluppare nuovi e più efficienti sistemi di accumulo di energia, integrati in Smart Grids e/o reti di trasporto a lunga distanza, per aumentare la flessibilità della rete energetica nazionale.
- Sviluppare tecnologie di prodotto e processo per la transizione energetica globale, incrementando il TRL attuale, attraverso nuovi strumenti normativi e finanziari e di lungo termine, che includano il co-finanziamento verso progetti dimostrativi (accumulo energetico di larga scala, CCUS, geotermia);
- Investire nelle tecnologie e sistemi innovativi di pianificazione, esercizio, monitoraggio e controllo delle reti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica secondo il concetto delle Smart Grids;
- Integrazione del sistema energetico nazionale con quelli dell'area Mediterranea.
- Contribuire alla formazione tecnica ed economico/manageriale nei Paesi della regione mediterranea e dell'Africa Sub Sahariana.

## Impatti

**Nuove tecnologie, nuovi materiali e componenti per lo sfruttamento delle FER, l'accumulo e la conversione di energia (meccanica, termica, elettrica, chimica).**

La transizione del sistema energetico nazionale verso l'impiego pervasivo di FER e l'uso integrato di vettori energetici differenti porta a dover affrontare e risolvere in maniera adeguata diversi problemi di natura tecnologica, economica e regolatoria con il fine di assicurare al sistema una adeguata flessibilità e capacità di regolazione ed un uso più efficiente ed economico delle risorse.



Produzione di energia elettrica e termica da FER - Nella produzione di energia elettrica da FER ci sono principalmente opportunità nei settori solare (FV e CSP) e geotermico. Anche il settore delle energie rinnovabili marine ha interesse in Italia includendo la conversione del moto ondoso, delle correnti marine e le applicazioni off-shore di energia solare ed eolica.

D'interesse è anche lo sviluppo di tecnologie, approcci e modelli per l'agrivoltaico, per favorire una visione integrata, sinergica ed efficace della dimensione energetica, agricola e sociale (collettività).

Il settore del fotovoltaico è oggi dominato dai moduli a base silicio ad alte prestazioni. La sfida per il controllo della tecnologia passa dallo sviluppo e dalla applicazione di nuovi materiali per la realizzazione di celle FV (semiconduttori III-V a base nitruro, perovskiti, calcogenuri e kesteriti, semiconduttori 2D, quali grafene, hBN, MoS<sub>2</sub> e di calcogenuri di metalli di transizione) e per la produzione di solar fuels con processi ispirati a quelli naturali.

La tecnologia del solare a concentrazione (CSP) può trarre vantaggio dalle competenze tecnologiche nazionali per migliorare il rapporto costi/prestazioni di questi impianti. Sarà fondamentale perseguire lo sviluppo di materiali, tecnologie e cicli termodinamici in grado di operare a temperature superiori ai 700 °C. Di particolare interesse sarà inoltre lo sviluppo di sistemi solari, tra cui CSP, per la produzione di solar fuels (a emissioni di CO<sub>2</sub> virtualmente nulle).

Gli impatti attesi sulla generazione elettrica con fonte eolica riguardano molteplici aspetti, in particolare nel settore offshore. Tra questi vanno sottolineati: lo sviluppo di materiali innovativi per piattaforme galleggianti ambientalmente sostenibili e nuovi sistemi di ancoraggio al fondale; il miglioramento delle tecniche di controllo dei dispositivi per massimizzarne la produzione di energia; lo sviluppo di sistemi di accumulo integrati.

Nel settore dello sfruttamento di energia geotermica l'Italia vanta una leadership tecnologica riconosciuta. È opportuno consolidare tale situazione migliorando l'efficienza e la sostenibilità ambientale, anche sviluppando soluzioni che possano limitare l'impatto ambientale come la reiniezione completa della risorsa nel serbatoio. Tali soluzioni possono anche aprire esiti interessanti ai fini della CCS (Carbon Capture and Storage).

Per quanto riguarda l'integrazione di gas decarbonizzato (ad es. idrogeno) nel portafoglio energetico nazionale è necessario potenziare lo sviluppo di tecnologie per la produzione di questi vettori, quali tecnologie di elettrolisi, metanazione termochimica e processi di sintesi da metano.

Sistemi di accumulo - Questi sistemi rivestono un ruolo fondamentale nel conferire flessibilità e capacità di regolazione al sistema energetico. Occorre studiare e sviluppare nuovi materiali, tecnologie e sistemi competitivi in grado di massimizzare il controllo, l'efficienza di conversione e la densità energetica e, al contempo, di minimizzare le perdite ed il degrado rispetto alle attuali tecnologie. Per l'accumulo elettrochimico è necessaria la sintesi di nuovi materiali da utilizzare nello sviluppo di elettrocatalizzatori ed elettroliti ad alte prestazioni e vita utile e l'ottimizzazione dei dispositivi in termini di efficienza energetica, sicurezza e riusabilità/riciclabilità. L'evoluzione tecnologica dovrà operare in sinergia con sistemi di accumulo per la mobilità elettrica (es. "Second Life") e sistemi di accumulo alternativi, come le Flow Batteries.

Lo sfruttamento di sorgenti a bassa entalpia attraverso l'uso di pompe di calore adatte per temperature medio-elevate (dai 120 °C ai 200 °C), ed il perfezionamento delle macchine e dei componenti per cicli motori transcritici e supercritici a CO<sub>2</sub> potranno offrire soluzioni competitive da applicarsi alla conversione termodinamica in ambito CSP, geotermia e recuperi energetici, ed anche per sviluppare soluzioni di accumulo termo-elettrico anche sfruttando materiali a transizione di fase. Accumuli di larga scala possono realizzarsi con le nuove tecnologie di realizzazione di trivellazione per la geotermia e per la ricerca del settore petrolifero, e/o potenziando sistemi idroelettrici a pompaggio, per i quali è necessario prevedere ampliamenti e innovazioni tecnologiche.

Inoltre, lo sviluppo di sistemi del tipo PtG diffusi sul territorio nazionale e, in particolare, in prossimità delle centrali da fonti rinnovabili e siti industriali, potrebbe contribuire ad aumentare la flessibilità della rete elettrica e creare una nuova filiera verde per i gas combustibili, sfruttando le infrastrutture per il trasporto della rete gas naturale.

Tecnologie per la regolazione del Sistema Elettrico erogabile da FER - Il progressivo spegnimento delle centrali di generazione elettrica di tipo tradizionale comporta la necessità di un completo ripensamento nella gestione operativa



degli impianti di generazione da FER, soprattutto di quelli eolici e fotovoltaici, coinvolgendoli nei meccanismi di regolazione e stabilizzazione del sistema elettrico.

Sarà pertanto necessario sviluppare tecnologie che consentano a tali impianti di contribuire efficacemente alla stabilità delle reti elettriche (regolazione della frequenza, della tensione ecc.), in coordinamento con le azioni regolanti degli impianti di accumulo, così come sviluppare metodologie e sistemi per la stima dell'inerzia del sistema elettrico. Fondamentale per una efficace azione regolante sarà la disponibilità di FACTS e di avanzati convertitori di potenza che andranno adeguatamente sviluppati sulla base dei nuovi semiconduttori 'wide band gap' (SiC 6H e gli altri polimeri, la famiglia del GaN/AlN e il diamante) in luogo dei tradizionali dispositivi. I risultati delle ricerche si tradurrà in un marcato incremento della hosting capacity di rete rispetto agli impianti alimentati da FER non programmabili, accrescendo la competitività del sistema nel contesto europeo e migliorando i livelli di qualità della tensione.

### **Sviluppo di catene nazionali di valore per la produzione ed utilizzo di energia elettrica ed idrogeno da FER, per l'accumulo energetico, per l'elettronica di potenza e per la gestione dell'energia.**

Il settore dell'energia è caratterizzato da una forte interconnessione tra diverse aree scientifiche e tecnologiche. Per questa ragione diventa cruciale, in un'ottica di definizione degli obiettivi strategici nazionali della ricerca, potenziare e sfruttare al meglio le opportunità che quest'area di ricerca consente di realizzare in termini di "sviluppo di filiera" ad alto valore aggiunto tecnologico in settori strategici per il Paese.

Lo sviluppo della filiera nazionale dell'idrogeno include tutte quelle attività di ricerca e sviluppo per le tecnologie di produzione sia per via elettrolitica (elettrolisi, etc...), che termochimica (gassificazione, cicli "chemical looping" alimentati da fonte solare, etc...), biochimica (digestione anaerobica). Le linee di ricerca potranno includere i materiali innovativi, le architetture di sistema e di processo. Allo stesso modo la linea di ricerca da priorità allo studio per tecnologie legate agli usi finali, in particolar modo quelle legate ai trasporti e gli usi residenziali come celle a combustibile, bruciatori, caldaie, etc...

Ai fini dell'accumulo di energia occorre allargare l'orizzonte oltre le soluzioni già in buona parte individuate (batterie, accumulo chimico, CAES, LAES). Possibilità interessanti sono offerte dall'integrazione funzionale di forme diverse di accumulo: elettrico, chimico, termico e termodinamico.

In una ottica di valorizzazione della CO<sub>2</sub> sono da indagare soluzioni per accumuli di larga scala in strutture geologiche che utilizzino l'anidride carbonica come fluido: si presenta infatti come un fluido versatile nelle condizioni di trasporto mediante reti in pressione non coibentate, potendo facilmente produrre freddo o mediante integrazione con recuperi di energia, con sistemi geotermici, solare termico o pompe di calore ad azionamento elettrico – calore per teleriscaldamento. Il trasporto della CO<sub>2</sub> su distanze medie e lunghe mediante reti è anche importante ai fini della CCUS, in quanto i punti finali di stoccaggio o sequestro possono trovarsi come stazioni finali di una catena di valore che giustifica di per sé il trasporto della CO<sub>2</sub>.

È importante mantenere l'interesse per uno sviluppo di impianti CSP ad alta efficienza con installazioni nell'area mediterranea. Ciò innescherà una catena del valore basata su nuove linee di prodotti nazionali. A rafforzare tale prospettiva è il ruolo che l'Italia sta consolidando quale naturale piattaforma di interscambio energetico tra Europa e Africa, con le previste interconnessioni con i paesi dell'area del Maghreb.

I convertitori elettronici di potenza costituiscono un elemento fondamentale e strategico nella catena di conversione, regolazione e controllo dei flussi di energia nelle reti elettriche. La disponibilità di nuove tecnologie dei semiconduttori "wide band gap" consentirà la realizzazione di nuove classi di convertitori elettronici in grado di sfruttare le superiori prestazioni dei nuovi dispositivi in termini di efficienza, velocità di commutazione e temperatura massima di lavoro. Ciò innescherà una catena del valore basata su nuove linee di prodotti nel campo dell'industria microelettronica nazionale e in quello dei produttori di convertitori elettronici. Sarà determinante in tale prospettiva il consistente aumento degli impianti da FER, ai quali si lega una sempre maggiore esigenza di dispacciamento e controllo dei flussi di potenza sulle reti elettriche.



## **Integrazione del sistema energetico nazionale con quelli della Regione Mediterranea e con le reti intercontinentali elettriche e del gas.**

L'integrazione dei sistemi energetici nella Regione Mediterranea rappresenta un'esigenza strategica sotto il profilo geopolitico, economico e della sicurezza.

In tale prospettiva si rendono necessari studi per valutare quali interventi possono valorizzare risorse ed assets industriali ed infrastrutturali nazionali. Saranno necessarie valutazioni tecnico-economiche specifiche per comprendere gli impatti energetici, economici e ambientali di tali opzioni con analisi di sistema, evitando la focalizzazione sulla singola commodity (gas, energia elettrica ecc.) ma sull'intera catena del valore, dalla disponibilità di risorse nei paesi produttori, al fabbisogno nazionale ed europeo, e alla valorizzazione strategica degli interventi sul piano nazionale.

In particolare per il sistema elettrico sarà necessario sviluppare modelli e strategie di controllo dei flussi di energia su scala Mediterranea, funzionali all'integrazione di reti nazionali con caratteristiche tecniche (fisiche e tecnologiche) oggi fortemente eterogenee per quel che riguarda l'infrastruttura di rete e per quel che riguarda i sistemi di generazione, mediante lo sviluppo di modelli e strategie di gestione dei flussi di energia sulle reti di trasmissione che superano i limiti degli attuali modelli a flussi bloccati.

Analogo percorso deve essere adottato per l'integrazione dei gas rinnovabili all'interno delle infrastrutture di rilevanza continentale (idrogeno in primis) con la valutazione del potenziale di produzione nei paesi mediterranei e le esigenze tecnologiche per il trasporto.

Dovrà essere promossa una armonizzazione europea e internazionale per quanto riguarda i codici di rete, per quanto attiene l'interconnessione delle reti elettriche e il relativo scambio di energia elettrica, le specifiche di qualità del gas naturale, nonché i requisiti tecnologici e protocolli di sicurezza per il trasporto ad alta pressione dell'idrogeno e di miscele idrogeno-metano.

Si ritiene opportuno anche un piano nazionale di supporto per una formazione tecnico-scientifica (capacity building) e per il trasferimento tecnologico con i paesi dell'area mediterranea e sub-sahariana, che possa creare una più forte relazione istituzionale a favore del tessuto industriale nazionale.

## **Tecnologie per lo sviluppo e la gestione delle infrastrutture per i trasferimenti a grande distanza di energia elettrica con le relative interconnessioni.**

Per trasferire energia elettrica a grande distanza i sistemi di trasmissione in HVDC (High Voltage Direct Current) rappresentano la soluzione chiave. Essi consentono infatti di trasmettere valori rilevanti di potenza in modo economicamente conveniente, offrendo la possibilità di interconnettere reti elettriche anche molto eterogenee tra di loro o esercite a frequenze diverse.

In tale ambito è fondamentale prima di tutto sviluppare traiettorie di ricerca per lo studio degli impatti derivanti dalla scelta delle diverse soluzioni tecnologiche disponibili per i vari collegamenti così come i servizi stessi che tali sistemi possono offrire alle reti in corrente alternata con le quali sono connessi, come ad esempio il contributo alla regolazione della frequenza primaria.

È poi strategico per l'Italia ricercare materiali e sistemi avanzati per la realizzazione e la diagnostica dei cavi e dei relativi giunti in alta tensione, compreso lo studio degli effetti sui cavi estrusi prodotti dalle sovratensioni di origine transitoria generate nei sistemi HVDC e gli effetti d'invecchiamento accelerato. Questo con l'obiettivo di contribuire a far sì che l'Italia possa mantenere e migliorare l'attuale capacità competitiva in questo settore in vista di una sempre maggiore integrazione dei sistemi energetici nell'area mediterranea, con la conseguente progettazione di corridoi elettrici, in prevalenza sottomarini, realizzati con cavi in alta tensione.

Vista, poi, la complessità costruttiva ed il costo elevato che caratterizza i sistemi in HVDC, si ritiene necessario anche lo sviluppo di modelli per la stima dell'affidabilità e della loro disponibilità, in modo che possano costituire un riferimento nelle scelte delle strategie di gestione e di installazione.



## Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione vede la sua azione principalmente nello studio e sviluppo, anche dimostrativo, di nuove tecnologie per la produzione, la regolazione e l'accumulo di energia da FER, e nell'integrazione del sistema energetico nazionale con quelli dei paesi della regione mediterranea. Si segnalano interazioni con l'Ambito Tematico dei Materiali per quanto concerne la sperimentazione di nuovi materiali e il miglioramento delle prestazioni di quelli attuali. Altro Ambito d'interesse è quello dell'Energetica ambientale in particolare per quanto concerne le soluzioni tecnologiche di produzione ed accumulo multivettore di energia per il comparto edilizio.

## Key Performance Indicators

Gli indicatori di riferimento per questa articolazione vorrebbero misurare sia la penetrazione delle tecnologie e delle applicazioni, sia la valutazione economica e globale del sistema nazionale.

### Indicatori per valutazione di tecnologie e applicazioni

- Nuova capacità installata di produzione da FER a livello nazionale
- Efficienza di conversione per le diverse tecnologie di produzione e conversione
- Livello del TRL di nuove soluzioni
- Miglioramento del LCoE per le diverse tecnologie
- Utilizzo di nuovi materiali per applicazioni energetiche
- Potenziamento dell'export per le tecnologie del settore energetico

### Indicatori economici e di sistema

- Livelli di resilienza, sicurezza e robustezza della rete elettrica
- Livelli di Power Quality
- Impianti pilota di generazione offshore da Eolico e fotovoltaico
- Tasso interno di rendimento richiesto dagli investitori per l'impiego di nuove tecnologie
- Costo per unità di potenza installata dei materiali e loro reperibilità sul mercato
- Efficienza del nodo di conversione, costo per unità di potenza installata
- Accettabilità sociale delle soluzioni da implementare (riferita agli offshore implementati con nuove tecnologie)
- Formulazione e Implementazione di un programma strutturato nazionale di formazione e di ricerca per le Università dei paesi dell'area mediterranea e Sub-Sahariana

## Articolazione 2. Reti intelligenti, flessibili, integrate, resilienti e digitalizzate per una piena integrazione delle FER

I cambiamenti climatici legati ai gas a effetto serra (GHG), l'emissione di inquinanti e la riduzione della dipendenza dalle fonti fossili sono i driver chiave della transizione energetica in corso.

Le fonti energetiche rinnovabili (FER) hanno un comportamento meno prevedibile e controllabile rispetto alle fonti tradizionali. Le risorse rinnovabili hanno più potenziale per la generazione distribuita da un punto di vista sistemico rispetto ai tradizionali combustibili fossili, consentendo lo sviluppo di nuovi paradigmi energetici come le micro-reti (*microgrids*) e le comunità energetiche.

In questo contesto, l'energia elettrica svolgerà un ruolo fondamentale nella transizione energetica, ma nel breve-medio termine dovrà necessariamente coordinarsi con altri vettori energetici come gas, idrogeno e teleriscaldamento.

La trasformazione del sistema energetico influenzerà il modo in cui l'energia viene prodotta, trasmessa, distribuita e consumata. Il sistema deve diventare più "intelligente" e flessibile al fine di integrare fonti energetiche che presentano comportamenti e caratteristiche tecniche diverse rispetto a quelle tradizionali.



Sono necessarie nuove funzioni come il disaccoppiamento temporale della produzione e del consumo attraverso l'accumulo, la gestione della domanda, la flessibilità, l'efficienza, lo sfruttamento delle risorse distribuite e la compensazione del mercato a livello di utenti produttori/consumatori responsabili (*prosumer*). Queste nuove funzioni, a loro volta, richiedono l'uso di tecnologie abilitanti e nuove infrastrutture. Contatori intelligenti, elettronica di potenza, reti integrate e intelligenti a livello di distribuzione e trasmissione sono solo alcuni dei prerequisiti per l'implementazione delle funzionalità necessarie per la transizione energetica.

Le tecnologie digitali non sono solo strumentali alla realizzazione e gestione di una rete con una quota sempre crescente di fonti rinnovabili, generazione distribuita e carichi con nuove esigenze e potenzialità (come i veicoli elettrici), ma sono anche fondamentali nella creazione di nuovi servizi e prodotti. La digitalizzazione consente infatti la comunicazione bidirezionale tra tutti gli attori del settore energetico: *prosumer* a *prosumer*, *prosumer* a gestore del sistema di distribuzione (DSO), DSO a gestore del sistema di trasmissione (TSO), *prosumer* a rivenditore, rivenditore a DSO, ecc.

La crescente penetrazione delle fonti distribuite di energia rinnovabile (FER) e l'emergere di nuove soluzioni per abilitare il *demand-response* impongono nuovi requisiti sulle reti di distribuzione, per mantenere l'affidabilità e l'efficienza del funzionamento del sistema.

Nuove tecnologie come l'Advanced Metering Infrastructure (AMI), l'Internet of Things (IoT) e la Artificial Intelligence (AI) devono essere integrate, ed è in questo contesto che la digitalizzazione dell'energia in termini di tecnologie, infrastrutture e servizi sta emergendo come fattore decisivo per la transizione energetica.

Infine, tutti questi aspetti devono essere coordinati: è necessario sviluppare un quadro europeo coerente in termini di accettazione sociale, standard tecnologici e modelli di business. Il quadro faciliterà la gestione delle interazioni tra tutti i prodotti energetici (elettricità, gas, H<sub>2</sub>, ecc.) e altri settori come quello idrico, quello economico/finanziario e quello dei trasporti.

## Obiettivi

L'Unione Europea sta lavorando alla creazione di un mercato interno europeo dell'energia pienamente integrato per garantire un approvvigionamento energetico sicuro, praticabile, accessibile a tutti e neutrale dal punto di vista climatico ("Energy Union").

Per realizzare l'Energy Union, è necessaria una progressiva trasformazione del sistema energetico. La decarbonizzazione e l'attenzione ai cambiamenti climatici richiedono la graduale eliminazione delle fonti energetiche fossili e la piena integrazione delle FER nel mix energetico. Questo al fine di ridurre anche la dipendenza geopolitica dell'UE dalle importazioni di energia e creare un mercato di ricerca e innovazione per stimolare la crescita e la competitività.

A questo proposito, nel seguito vengono rappresentati diversi obiettivi inerenti all'evoluzione, innovazione ed integrazione delle reti energetiche a supporto della decarbonizzazione tramite una piena integrazione delle FER:

- a. Integrare in senso multidirezionale i processi energetici fondamentali come la generazione distribuita, la gestione della domanda, i nuovi tipi di carichi, gli accumuli (concentrati e/o distribuiti, a terra e/o a bordo dei mezzi di trasporto) con l'elettrificazione degli usi finali dell'energia e il ruolo del consumatore/*prosumer*.
- b. Implementare l'*intelligenza tecnica* nella rete: vi è l'esigenza urgente di un aggiornamento e miglioramento delle reti stesse al fine di trasformarle in *smart grids*, tramite un massiccio impiego di tecnologie ICT e componenti e dispositivi "intelligenti" in termini di capacità di rilevamento, computazionali e di comunicazione.
- c. Rinnovare la gestione del sistema energetico in uno scenario in cui la quantità di dati disponibili sarà enorme ed aumenterà molto rapidamente. Sono certamente necessarie nuove tecniche di analisi dei dati e dell'intelligenza artificiale per utilizzarli e fornire valore aggiunto in tutti i settori, dalla gestione della rete alle operazioni di mercato.
- d. Rivedere la regolamentazione esistente per seguire o – meglio - anticipare l'evoluzione del sistema, anche prevedendo la sperimentazione di nuovi paradigmi (quali: l'interoperabilità; l'approccio *plug&play* per



componenti, interfacce e dati; lo sviluppo di un *framework* standard per l'interoperabilità; l'eliminazione di barriere agli investimenti dei DSO costituite dai tradizionali regimi regolamentari ecc.).

## Impatti

### Tecnologie per l'affidabilità, efficienza, flessibilità e resilienza del sistema energetico nazionale.

La trasformazione del sistema energetico deve garantire nuovi approcci per la gestione di reti energetiche intelligenti e *cyber*-sicure ed i relativi investimenti. Dovrà essere consentita una maggiore interazione e ottimizzazione tra produttori, consumatori, reti, infrastrutture e vettori garantendo la fornitura ininterrotta ed economica di energia a famiglie e industrie, in uno scenario ad alta penetrazione di fonti rinnovabili (anche intermittenti) e altre nuove fonti di energia a basse emissioni di carbonio.

Le nuove tecnologie abilitanti - nello specifico, l'impiego di *Internet of Things* ed intelligenza artificiale - dovranno essere estensivamente applicate alle reti elettriche per integrare le energie rinnovabili con i nuovi carichi (derivanti dalla progressiva elettrificazione degli usi finali dell'energia e dei trasporti), garantendo la necessaria flessibilità di gestione delle reti elettriche. In tale contesto, va sottolineata l'importanza della sicurezza delle reti, sempre più complesse e interconnesse: ciò implica che la *cyber security* globale della rete energetica dovrà fare affidamento sulla sicurezza di ogni singola infrastruttura, che è estremamente eterogenea a causa di normative, regole interne diverse da paese a paese. Si pone quindi la sfida di prevedere il passaggio da un modello di governance ad isola ad un modello cooperativo in cui ciascuna parte svolge i propri compiti in termini di *cyber*-sicurezza per il buon funzionamento dell'infrastruttura collettiva.

Solo mettendo dei punti fermi sulla strutturazione dei mercati, dei servizi e dei prodotti si potrà iniziare a delineare una roadmap per l'introduzione di nuovi servizi locali, mantenendo i requisiti riconosciuti di affidabilità, efficienza, flessibilità e resilienza del sistema elettrico. Ad esempio, le Cabine Primarie connesse alla rete del TSO possono essere gestite come impianti che potenzialmente lavorano su 4 quadranti del piano delle potenze attive e reattive. Con una adeguata interfaccia tra TSO e DSO, e con la possibilità per il DSO di controllare sia le risorse proprie (banchi di condensatori, compensatori, STATCOM, Storage, ...) che quelle connesse (generazione distribuita, auto elettriche, ...) è possibile rivedere e fare evolvere gli schemi attuali anche nell'ambito della trasmissione elettrica. L'Italia rappresenta già un esempio avanzato negli ambiti del telecontrollo ed automazione di rete e sono ormai noti i risultati ottenuti, anche tramite progetti pilota, in termini di miglioramento della qualità e continuità del servizio elettrico. Ulteriori benefici potrebbero giungere in termini di capacità di programmare la compensazione dei disturbi con tecniche predittive. Alcune linee di ricerca possibili in questo campo riguardano: la definizione di strumenti di pianificazione per la flessibilità; l'evoluzione della gestione della rete di distribuzione: nuove tecniche di automazione (self-healing MV and LV networks), sensorizzazione (IoT) e analisi dei dati (AI); la resilienza delle reti di distribuzione; High Performance e Quantum Computing; la Cyber-security di nuova generazione; la pianificazione integrata del sistema di trasmissione e distribuzione; tecnologie ed algoritmi dinamici per la gestione e controllo orientate alla sicurezza, flessibilità e affidabilità dei sistemi elettrici; il *Demand Response* in media e bassa tensione per la fornitura di servizi locali di rete; il miglioramento della qualità e della continuità del servizio elettrico; la partecipazione attiva dei *prosumer* in media e bassa tensione e metodi di forecasting delle prestazioni; lo sviluppo di metodologie per la regolazione delle tensioni, delle potenze e dei servizi ancillari in presenza di FER; lo sviluppo di tecniche per la previsione della produzione da FER e per la previsione dei carichi; la realizzazione di infrastrutture e piattaforme H/W-S/W di previsione, monitoraggio e controllo in emergenza per la difesa di reti elettriche da fenomeni di natura atmosferica; l'utilizzo di sistemi di accumulo elettrico per aumentare le prestazioni delle reti elettriche di trasmissione e distribuzione.

### Tecnologie per la cattura ed il sequestro della CO<sub>2</sub> (CCUS), Sector Coupling tra reti energetiche e commodities, Power to X, e conversione dual-energy degli impianti di compressione gas.

La cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> sono un'opportunità a grande potenziale per il settore energetico e in particolare per le industrie con elevate emissioni di processo. Il sequestro della CO<sub>2</sub> è, come ben noto, uno degli obiettivi fondamentali per arrivare ad una progressiva de-carbonizzazione del settore energetico. Emissioni di CO<sub>2</sub> si



riscontrano in molteplici processi energetici (nella generazione di energia elettrica e calore, in numerosi processi industriali e finanche nella produzione di bio-combustibili). Il tema della riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera è strategico per tutti i paesi dell'Unione Europea. Accanto al sequestro dell'anidride carbonica, anche la riduzione di emissioni (a pari utili effetti) rappresenta un obiettivo fondamentale. In tale contesto gli interventi di recupero energetico in alcuni settori industriali (acciaierie, cementifici, industrie chimiche) appaiono prioritari, come pure la conversione "dual energy" degli impianti di compressione del gas.

La produzione (Power-to-X o PtX) di idrogeno, bio-combustibili o gas di processo o di calore da energia in eccesso (elettrica, tipicamente da fonte rinnovabile), ma anche il recupero di materia - laddove possibile, per esempio composti organici in impianti di trattamento acque e rifiuti - risultano coerenti e complementari allo specifico obiettivo di riduzione delle emissioni di anidride carbonica.

Da un punto di vista delle infrastrutture, è importante avviare progetti pilota finalizzati allo studio dell'integrazione dei sistemi Power-to-X con le reti di distribuzione. Le ricerche dovranno definire gli schemi di conversione PtX adeguati alle esigenze delle reti italiane nonché studiare le criticità e la dinamica combinata della generazione, stoccaggio locale e iniezione in rete per verificare la fattibilità tecnica e identificare le criticità dell'integrazione con le esistenti infrastrutture di trasporto e distribuzione del gas.

Alcune linee di ricerca possibili in questo campo riguardano tecnologie ed algoritmi per lo sviluppo e l'implementazione di reti di distribuzione multi-vettore; le tecnologie per la cattura e il sequestro della CO<sub>2</sub>; la sostenibilità delle conversioni dual-energy degli impianti di compressione del gas.

**Implementazione di "smart grids" e sviluppo delle relative tecnologie abilitanti (in particolare: convertitori elettronici di potenza, dispositivi a semiconduttore wide band-gap, smart metering, digitalizzazione).**

In Italia, la disponibilità di risposta aggregata alla domanda per la fornitura di servizi di rete è ancora limitata. Nei altri paesi europei in cui ciò avviene, il servizio è principalmente fornito da carichi industriali, aggregati mediante piattaforme digitali e offerto principalmente ai TSO da un fornitore di servizi noto come *aggregatore di carichi*.

La rete energetica sta diventando sempre più un "sistema di sistemi", sia a livello fisico che di controllo. A livello fisico, lo scambio di potenza sarà rappresentato da dispositivi (controllati) di elettronica di potenza, le cui linee di sviluppo sono già state delineate nell'Articolazione 1, che fungono da ponte verso la rete intelligente emergente, mentre lo scambio dei dati sarà abilitato da contatori intelligenti che consentiranno il flusso di dati su un'infrastruttura di misura avanzata (*smart metering*). Le soluzioni *smart metering* sono in grado di fornire una grande quantità di informazioni relative allo stato ed alla conduzione delle reti di distribuzione, elementi essenziali per garantire efficienza, flessibilità e resilienza e rappresentano quindi uno dei pilastri principali per l'implementazione di reti intelligenti e digitali, idonee per una piena integrazione delle FER. A livello di gestione e controllo, il collegamento di tutti i sottosistemi di una rete elettrica genera un sistema interconnesso in cui la comunicazione e l'analisi avranno luogo in tempo reale. Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione come i comunicatori *machine-to-machine*, l'*Internet of Things* consentiranno la migrazione del classico sistema di telecontrollo ed automazione, verso la modernizzazione della gestione della rete incrementandone l'osservabilità e producendo, al contempo, una enorme mole di dati che può essere analizzata utilizzando criteri basati sull'Intelligenza Artificiale. In particolare, nelle *smart grids* di nuova generazione, verranno utilizzate le nuove tecnologie digitali e le capacità delle reti di telecomunicazioni per sincronizzare ed analizzare grandi quantità di dati in modo organico, al fine di consentire l'integrazione ai massimi livelli delle fonti rinnovabili e di migliorare la resilienza dei sistemi elettrici.

Tramite l'integrazione tra TSO-DSO e tramite il controllo da parte del DSO delle risorse connesse alla propria rete, è possibile abilitare un nuovo livello di smart grid, visto nell'ottica globale di distribuzione e trasmissione integrate. Questo potrebbe dare ulteriormente una spinta alla diffusione dell'intelligenza nei sistemi del gestore e dell'utenza con benefici a livello industriale e per l'intero sistema elettrico. L'incremento della Hosting Capacity è un altro aspetto fondamentale per lo sfruttamento della rete di distribuzione nell'ambito FER. Cogliendo l'occasione dell'incremento delle auto elettriche con ricarica bidirezionale, è possibile incrementare ulteriormente il livello di Hosting Capacity poiché l'energia può essere generata e "consumata" su distanze elettriche relativamente ridotte.



Alcune linee di ricerca possibili in questo campo riguardano il campo delle soluzioni Smart Metering di Terza Generazione; i digital twin; lo sviluppo di sistemi sincronizzati per il monitoraggio, controllo e protezione su larga scala di reti elettriche interconnesse (WAMPACs); lo sviluppo di piattaforma H/W-S/W per la regolazione della tensione; i sistemi ibridi AC/DC per reti più resilienti; soluzioni di rete a corrente continua per TSO e DSO; soluzioni MT VSC-HVDC (Multi Terminal Voltage Source Converter - High Voltage Direct Current) per il trasporto di energia a lunga distanza e per l'interconnessione delle reti TSO e DSO; i convertitori de-dc ad elevata efficienza per l'interfacciamento di sorgenti di energia in sistemi di generazione distribuita.

### **Adeguamento ed ampliamento del Mercato Elettrico e della Borsa dell'Energia per rispondere alle sfide, alle esigenze e alle opportunità imposte dalla transizione energetica.**

Con l'elettrificazione ed il decentramento, la digitalizzazione della rete è destinata a contribuire ad un reale cambio di paradigma nel settore del mercato energetico. Le tecnologie all'avanguardia come i contatori e i sensori intelligenti, l'automazione, l'Internet of Things e i dispositivi connessi schiudono una nuova gamma di opportunità. L'interoperabilità in particolare è un imperativo tecnico ed allo stesso tempo favorisce un mercato aperto in cui innovazione e concorrenza possono prosperare. Sarà necessario un adeguamento ed ampliamento del Mercato Elettrico e della Borsa dell'Energia per rispondere alle sfide, alle esigenze e alle opportunità imposte dalla transizione energetica nel considerare i ruoli dei DSO e del TSO. Ciò anche al fine di comporre un'idea nazionale di mercato condivisa che possa ben funzionare in Italia e costituire un benchmark a livello europeo. Vanno quindi chiarite e superate le originarie dicotomie fra aspetti di mercato (competitivo) ed incentivi (sussidi) caratteristiche delle FER. Le politiche nazionali o comunitarie saranno essenziali per (re-)indirizzare gli investimenti nel settore energetico, in particolare delle FER, nella direzione della sostenibilità socio-economica. Il futuro assetto del mercato - come risultato di una progettazione orientata a favorire la penetrazione delle FER, tenendo anche conto del potenziale emergente dato dagli accumuli - non potrà quindi prescindere da considerare un chiaro indirizzo dei costi, fra il breve e il lungo periodo, la sostenibilità degli elevati investimenti tecnologici iniziali, la dimensione (nazionale o internazionale) del mercato, i ritorni economici (ROI) bilanciati con quelli energetici (EROEI), il tutto senza penalizzare sul mercato globale le aziende nazionali (ed europee) con costi dell'energia eccessivamente elevati.

Alcune linee di ricerca relative a questo campo riguardano: lo studio del mercato dei servizi locali per il DSO e sua integrazione con MSD; i fattori economici, normativi e tecnici per indirizzare lo sfruttamento di sistemi di potenza basati su risorse rinnovabili distribuite attraverso un sistema di smart micro-grids; l'economia dei mercati energetici: market, design, valore ed efficienza; la progettazione delle aste nei mercati dell'energia elettrica in funzione della crescita della produzione da rinnovabili; la capacità di produzione e le opzioni di affidabilità nei mercati elettrici; la valutazione economica di compartecipazioni pubblico-private per aumentare l'efficienza del mercato elettrico; i mercati delle fonti energetiche primarie e dei vettori energetici orientati alla sostenibilità.

### **Tecnologie, modelli di business ed adeguamenti normativi per la produzione ed il blending di gas da FER e low-carbon.**

La decarbonizzazione, il rapporto costo-efficacia e l'accessibilità economica, la sicurezza e la stabilità dell'approvvigionamento dell'energia dipendono da un'efficiente ed efficace gestione ed ottimizzazione della rete, che porta ad una maggiore capacità di risposta alla domanda e alla possibilità di integrare quote più elevate di energia rinnovabile variabile e di monitorare adeguatamente la disponibilità di quest'ultime (a tutti i livelli di tensione).

L'integrazione delle fonti rinnovabili nel sistema energetico deve prevedere delle misure di adeguamento delle reti sia in ambito elettrico che nel settore del gas al fine di aumentare l'impiego delle FER in tutti gli usi finali inclusi quelli residenziali, industriali e dei trasporti. La produzione e l'impiego di gas rinnovabili da tecnologie power-to-gas richiede attività di ricerca nell'ambito delle reti del gas. L'iniezione di idrogeno nelle reti deve tenere in conto l'impiego di materiali idonei per le pipelines e tutta la componentistica ad esse relativa includendo i dispositivi di regolazione, controllo e misura. Anche componenti quali turbo-compressori, turbo-espansori ed accumuli di gas devono essere valutati al fine di trasportare e distribuire idrogeno in maniera efficace e sicura. Le tecnologie per gli usi finali devono essere valutate e nel caso riconvertite per essere alimentate con quote sempre maggiori di idrogeno. Sistemi di separazione delle miscele di gas trasportate nei condotti possono essere valutati per facilitare l'impiego



dell'idrogeno negli usi finali. Accanto alle innovazioni tecnologiche vi sono poi quelle di business, che possono essere introdotte per l'impiego di FER negli usi finali includendo la generazione distribuita, la flessibilità, ed i crediti legati alla riduzione delle emissioni di gas serra.

I dati provenienti dai dispositivi intelligenti e dalle risorse distribuite in generale saranno fondamentali per i nuovi modelli di business e per facilitare il coinvolgimento dei clienti e l'adozione delle tecnologie nelle reti.

I modelli di business stanno passando da servizi ad alta intensità di risorse a piattaforme di provider.

Dal punto di vista normativo è necessario approfondire gli aspetti legati ai limiti di immissione, l'interazione con gli odorizzanti, la sicurezza delle reti e degli usi finali, la tariffazione in presenza di miscele. Anche l'iniezione di altri gas da FER nelle reti, come ad esempio il biometano, necessita di approfondimenti di ricerca che coinvolgono l'adeguamento delle cabine di riduzione per gestire l'inversione del flusso e la gestione dinamica della pressione per gestire l'accumulo in linepack. Adeguamenti normativi potranno massimizzare l'integrazione in rete da gas da FER anche da impianti piccoli e polverizzati sul territorio, legati ad esempio alle filiere agricole di produzione del biometano.

Le risorse distribuite e la digitalizzazione creano alternative promettenti per gli operatori di rete rispetto alla costruzione di nuove infrastrutture. La rete potrà diventare quindi una piattaforma per massimizzare il valore delle risorse distribuite e consentire di scambiarne i servizi. Come piattaforma, la rete consentirà quindi anche a nuovi attori del mercato di offrire servizi senza possedere necessariamente costose infrastrutture.

Alcune ulteriori linee di ricerca possibili in questo campo sono la pianificazione e gestione di reti multi-energetiche e multi servizio; l'uso della tecnologia blockchain per la abilitazione di servizi energetici da parte degli utenti attraverso innovativi modelli di business; lo sviluppo di un modello per la gestione integrata dei sistemi di comando/protezione delle diverse reti (elettrica, teleriscaldamento, distribuzione gas ecc.).

## Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

I temi delle reti intelligenti, flessibili, integrate, resilienti e digitalizzate per una piena integrazione delle FER risultano essere interdipendenti coinvolgendo diverse discipline. La rilevanza delle tecnologie è chiaramente centrale e abilitante, ma necessita di integrazioni con l'area delle scienze sociali quali il diritto dell'energia e dell'ambiente, anche in chiave comparata. L'interconnessione è forte con l'Ambito tematico "Mobilità sostenibile" e "Energetica ambientale" ed in misura minore con "Aerospazio", "Transizione digitale", "Innovazione per industria manifatturiera" e "Sicurezza delle infrastrutture, strutture e reti"

## Key Performance Indicators

I KPI proposti, da valutare e monitorare, sono i seguenti:

- Volume di energia reattiva resa disponibile a livello di cabina primaria
- Riduzione di over-generation
- Aumento della Hosting Capacity
- Riduzione delle deviazioni di tensione nella rete di distribuzione
- Riduzione dello squilibrio di tensione
- Riduzione di investimenti di rete
- Effetti sulle perdite
- EROEI (Energy Return on Energy Investment)



### Articolazione 3. Decarbonizzazione dell'industria: produzione locale da FER, uso efficiente e sostenibile dell'energia e dei materiali, trasformazione dei vettori energetici

L'industria Italiana ha visto negli anni più recenti una riduzione dei consumi energetici: questo è da collegarsi prevalentemente alla riduzione e, in misura minore, alla trasformazione della produzione industriale, piuttosto che al miglioramento dei processi produttivi. In particolare, la sempre maggiore presenza di imprese piccole e medie, spesso prive di un settore ricerca/innovazione salvo quella finalizzata al prodotto (spesso originale ed innovativo), non ha consentito la diffusione delle migliori tecnologie – frequentemente onerose – nel settore dell'energia. Nello stesso tempo, il calo dei prezzi dell'elettricità e le condizioni favorevoli (nel contesto europeo) per il prezzo del gas per gli utenti industriali hanno frenato l'introduzione delle rinnovabili.

In questo contesto, la transizione energetica (che è ormai una strada tracciata negli impegni Europei e Nazionali) non è ancora stata affrontata su larga scala dal sistema produttivo italiano; dall'altro, questa situazione offre grandi opportunità di miglioramento e competitività. In particolare, considerando le FER di maggiore attrattività per l'integrazione nei processi industriali (solare, biomasse e geotermia), e la progressiva introduzione di combustibili decarbonizzati in molti processi industriali o la sostituzione della combustione con soluzioni elettriche, emergono alcune linee di ricerca con elevato potenziale di innovazione e competitività.

La Next Production Revolution apre prospettive importanti per un rapido avanzamento della ricerca/innovazione, grazie alla presenza pervasiva, ed a costi contenuti, delle soluzioni basate sulla IoT e blockchain in ambito industriale e nel manifatturiero in particolare ed alla possibilità di connettersi a reti di dati e controllo remoto intelligente di tipo non strettamente industriale. In tale scenario non è da trascurare da un lato la complessità dell'integrazione di tali nuove tecnologie in processi produttivi esistenti, inclusa la disponibilità di adeguate risorse professionali, e dall'altro lato l'ampio potenziale di ottimizzazione dei processi produttivi collegati alla situazione di contesto (es. dati ambientali, variabilità della richiesta e conseguente adattabilità on-demand). In particolare, la IoT avrà un ruolo importante nel facilitare il passaggio dai TRL di dimostrazione scientifica (2-3) fino a quelli preliminari all'introduzione sul mercato delle soluzioni innovative (5-7). Un ulteriore elemento di radicale trasformazione è rappresentato dalla possibile transizione verso nuovi modelli produttivi quali, ad esempio, l'utilizzo di nuovi materiali, l'economia circolare, l'uso razionale delle risorse (dalla riduzione dell'uso dell'acqua alla valorizzazione dei residui di lavorazione, inclusi i cascami energetici). Tale passaggio potrebbe condurre, in tempi anche contenuti, ad un modificato fabbisogno di energia e risorse da parte del settore industriale, da intendersi nella più ampia visione dei sistemi logistico-produttivi (filiera, approvvigionamenti e distribuzione).

Un altro contributo trasversale è rappresentato dalle metodologie di valutazione dell'impatto e della sostenibilità ambientale, necessariamente connesse alla capacità di documentare i flussi informativi (massa, energia ed altri indicatori di qualità). Tale aspetto risulta fondamentale nell'ottica del riuso, dell'economia circolare e dell'utilizzo razionale delle risorse naturali. In quest'ottica è importante il consolidamento e la validazione di metodologie quali la Life Cycle Analysis, il Life Cycle Cost ed i metodi ad essa associati (sia di carattere analitico che di sintesi).

#### Obiettivi

Il contesto industriale si presta in particolare ad interventi di miglioramento energetico, in quanto è ancora caratterizzato da consumi importanti e da taglie di potenza che rendono attrattivi gli interventi di innovazione, anche a livello di piccola e media industria.

Per quanto riguarda il risparmio energetico conseguibile mediante soluzioni diffuse IoT, la situazione si presenta sicuramente meno complessa per l'energia elettrica, che può facilmente portare con sé il flusso informativo necessario per la sua gestione ottimale e per la certificazione stessa del processo e prodotto. In questo settore, l'inserimento delle soluzioni NPR può essere molto rapido ed a portata di piccole e medie aziende (es. startup innovative). Più complessa, ma assolutamente necessaria, è la gestione integrata intersettoriale (calore, elettricità, freddo, flussi di materiali e reflui) mediante sistemi intelligenti e processi innovativi. Tale integrazione prefigura un significativo ruolo delle sinergie all'interno o tra distretti/poli industriali e non solo, ad esempio tramite lo scambio di flussi energetici



tra soggetti industriali, civili e/o del terziario, con un conseguente minor fabbisogno complessivo di energia della società nel suo complesso, senza rinunciare allo sviluppo ma rendendolo sostenibile.

In tale visione, ulteriori strumenti di intervento sono rappresentati dalla possibilità di integrazione, nei siti e nei processi industriali, di FER, sistemi multivettore e poligenerativi, sostituzione di vettori ad alta intensità carbonica con alternative verdi, reti di trasporto fluidi ed accumulo di energia, con la conseguente attenzione per l'efficienza delle strutture (edifici) e degli spazi produttivi, dei flussi di materiali (logistica) e degli impianti di servizio. Molti processi industriali operano a livelli di temperatura bassi (60-150°C) od intermedi (150-350°C), che sono oggi avvicinabili dalle energie rinnovabili o da processi di recupero e rivalorizzazione del calore di scarto, anche ricorrendo ad un uso intelligente dell'energia elettrica, che dovrà diventare il vettore energetico principale nella gran parte delle filiere produttive.

I seguenti obiettivi inerenti alla decarbonizzazione dell'industria mirano a migliorare la competitività industriale in un contesto di sviluppo che punta a prodotti di elevato valore ed impatto:

- Ridurre i consumi energetici della produzione industriale
- Rafforzare l'utilizzo delle fonti rinnovabili per l'approvvigionamento di energia elettrica e calore
- Introdurre sistematicamente strumenti di certificazione di sostenibilità ambientale dei prodotti e dei processi industriali
- Migliorare l'utilizzo delle risorse, anche secondo una logica di sistema (di filiera) effettivamente integrata nelle decisioni strategiche e operative
- Assicurare maggiore competitività dei prodotti italiani sul mercato globale
- Garantire una sostenibilità documentabile delle attività industriali
- Creazione di un mercato del lavoro qualificato in una situazione occupazionale favorevole

## Impatti

L'insieme degli impatti seguenti attraversa le diverse dimensioni della decarbonizzazione industriale: dai nuovi processi e materiali (inclusi il miglior uso e la valorizzazione di quelli tradizionali), all'integrazione di diverse fonti/vettori, fino allo sviluppo ed all'implementazione di nuove tecnologie e tecniche di gestione ed ottimizzazione dell'uso dell'energia. Gli esempi di linee di ricerca che verranno proposti si rivelano, in realtà, sovente trasversali rispetto ai diversi impatti, ad evidenza della strategicità di alcune linee di azione. Si eviteranno comunque ridondanze connesse con la ripetizione di tali esempi.

### Nuove tecnologie per la decarbonizzazione: produzione di energia da FER, biocombustibili, poligenerazione e sistemi multi-vettore.

Nella maggior parte dei processi industriali, si ha ancora un utilizzo tradizionale dell'energia termica, fornita in genere da combustione (avvalendosi principalmente della rete gas). Un primo passo significativo nella direzione della decarbonizzazione è quindi quello della riduzione del ricorso ai processi di combustione o l'introduzione in alternativa di combustibili verdi. In questo contesto le FER possono rappresentare una sostituzione efficace dei fabbisogni sia di calore che di energia elettrica. La situazione è avvantaggiata dalla presenza, nei processi industriali, di contesti che coinvolgono più vettori energetici e dalla possibilità di integrare nella produzione diverse forme di energia necessarie ai processi (elettricità, calore e freddo). Pertanto, possibili esempi di linee di ricerca sono rappresentati dall'integrazione delle fonti rinnovabili nei processi produttivi (in particolare: solare termodinamico e fotovoltaico; geotermia; biomasse e biocombustibili), con una complessiva riduzione del fabbisogno energetico, dell'impronta ambientale e con l'aumento della competitività dei settori interessati.

### Riduzione dell'intensità di utilizzo di materiali ed energia negli scenari della NPR mediante l'efficienza energetica, l'elettrificazione, la digitalizzazione, la domanda attiva, l'auditing e le BAT.

Sotto il profilo strategico ed in un'ottica di sistema, la messa in efficienza dei sistemi industriali (siano essi energivori o di tipo diffuso) si traduce in una significativa diminuzione del fabbisogno di energia complessivo, dovendosi includere il risparmio conseguente le mancate perdite connesse con i rendimenti di conversione, trasmissione e



generazione dell'energia. In questo contesto è necessario assicurare il necessario supporto alle PMI, tramite strumenti quali gli audit e le BAT, in quanto il settore energivoro già percepisce l'efficienza energetica come leva essenziale di competitività. Ai fini di questo impatto, una tecnologia abilitante è rappresentata dal monitoraggio dei processi mediante le nuove tecnologie IoT (in ottica NPR), unitamente al collegamento con le condizioni operative (richiesta di produzione, condizioni del sistema, dati ambientali) applicate a situazioni che vedono la presenza di diversi vettori di energia. L'adozione dell'energia elettrica come vettore energetico è un fattore chiave per la decarbonizzazione del settore industriale, permettendo di incrementare la penetrazione delle fonti energetiche rinnovabili e di incrementare l'efficienza negli usi finali. L'elettrificazione si integra inoltre facilmente con la digitalizzazione, rendendo possibile un efficace controllo dei flussi di energia e potenza secondo modelli di consumo flessibili. La progressiva maggiore elettrificazione renderà prioritario il raggiungimento della massima efficienza possibile nei motori elettrici. L'efficienza di un motore elettrico può essere incrementata agendo sul design e sui materiali impiegati, oppure mediante sistemi di controllo evoluti. La sostituzione di motori elettrici con azionamenti elettrici è essenziale per incrementare l'efficienza di tutta una serie di componenti industriali (pompe, compressori, ventilatori) che possono conseguire rilevanti risparmi di energia elettrica dall'operare a velocità variabile.

Alcune linee di ricerca potranno indirizzarsi verso l'utilizzo di materiali innovativi ai fini del miglioramento dell'efficienza dei mezzi di produzione e dei processi connessi (ad esempio, isolanti a bassissima conducibilità; rivestimenti a bassissima reattività; metalli reattivi con funzione di accumulo di energia; materiali superconduttori ad alta temperatura e nanotubi di carbonio al posto del rame, ai fini di incrementare notevolmente i valori di densità di potenza dei motori elettrici). Anche nel settore dei convertitori, che processano l'intera energia trasferita ai motori elettrici, è di capitale importanza migliorare il rendimento per l'abbattimento dei consumi di energia elettrica. Convertitori con rendimento quasi unitario possono essere oggi realizzati utilizzando dispositivi elettronici di potenza innovativi, realizzabili mediante il ricorso a materiali semiconduttori di nuova concezione.

Altre possibili linee di ricerca coinvolgono, in generale, il miglioramento della gestione e del controllo della produzione e delle filiere, sia attraverso interventi organizzativi (auditing e BAT) che applicativi (digitalizzazione ed efficienza energetica, domanda attiva). Tra le linee di ricerca si individuano percorsi che conducano all'efficiente integrazione del monitoraggio e controllo della produzione con le metodologie di Life Cycle Analysis, Life Cycle Costing, ottimizzazione termodinamica dei processi. Infatti, tale integrazione risulta strategica ai fini della certificazione di sostenibilità dei prodotti, con un impatto positivo in termini di competitività, di miglioramento dell'efficienza e dell'affidabilità logistica e di filiera, incluse le fasi di coordinamento (ad esempio, materiali per packaging, localizzazione impianti etc.). Sempre in questo contesto si collocano le attività di ricerca mirate a sviluppare metodologie di pianificazione e progettazione che integrino la stima tecnico-economica dei vantaggi di efficienza energetica conseguibili, considerando e comparando diversi scenari di interventi. La modellazione degli interventi terrà conto adeguatamente dei tempi e dei costi della manutenzione, prevedendo una diagnostica in campo basata sulla disponibilità ed elaborazione in tempo reale di indicatori che misurino lo stato di esercizio del sistema, delle apparecchiature, dei dispositivi. In tale modo, già in fase di pianificazione, sarà possibile definire sistemi di gestione e controllo che massimizzino i vantaggi degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica. Le logiche di gestione dei sistemi dovranno comprendere modelli e indicatori adeguati all'accertamento di guasti incipienti, in modo da garantire le migliori condizioni di esercizio ai fini sia dei livelli di sicurezza di esercizio, che dell'effettivo raggiungimento dei target di prestazioni e risparmio energetico.

### **Sviluppo di processi chimici e biologici per la produzione low- e zero-carbon di vettori energetici (ad esempio idrogeno, metano, metanolo ecc.).**

La progressiva sostituzione dei combustibili fossili con biocombustibili o combustibili decarbonizzati è essenziale per portare il sistema industriale verso soluzioni completamente Green, consentendo anche l'integrazione dell'accumulo chimico mediante la produzione di tali combustibili sostitutivi. Nel settore dei biocombustibili, la ricerca dovrà evidenziare e valorizzare le soluzioni a bilancio nullo di CO<sub>2</sub> emessa. È essenziale discriminare le diverse alternative in base al *carbon footprint* ed all'indice EROEI (Energy Return On Energy Invested), per focalizzare gli investimenti sulle soluzioni migliori, e mettere a punto quanto prima i corrispondenti processi industriali di tipo sia chimico sia biologico. Questa ricerca si dovrà basare sulla simulazione di processo finalizzata all'ottimizzazione tecnico



economica delle soluzioni proposte. In particolare, si sottolinea la rilevanza delle ricerche sui processi per la produzione sostenibile di idrogeno (sia elettrolizzatori su larga scala alimentati da energia elettrica ottenuta da fonti rinnovabili, sia gassificazione di biomasse accoppiate a reazione di gas-shift) e di metano (per via chimica, attraverso la riduzione di anidride carbonica con idrogeno, e per via biologica, mediante digestione anaerobica a biogas e successivo upgrade a biometano). Viceversa, le ricerche riguardanti l'impiego del metano di origine fossile dovranno essere focalizzate sullo sviluppo di processi e tecnologie CCUS (Carbon Capture Utilization and Sequestration), la cui disponibilità è essenziale per continuare ad utilizzare il metano fossile. In specifici comparti industriali che lo consentono (ad esempio, chimico o petrolifero), l'inserimento nel ciclo produttivo della produzione di combustibili decarbonizzati (gassosi o liquidi) può costituire una forma importante (e da promuovere) di accumulo chimico di energia. Di particolare valore può essere l'interconnessione con il sistema della mobilità, essendo i combustibili biologici o sintetici idrogenati di particolare interesse per il sistema dei trasporti.

### **Miglioramento dell'efficienza energetica degli insediamenti industriali, in particolare nella produzione di calore di processo e nella "filiera fredda".**

Il risparmio energetico resta un punto di intervento fondamentale, in quanto consente un risparmio delle risorse primarie. In questo contesto assumono di nuovo importanza gli interventi mirati a sostituire la combustione con tecnologie a pompa di calore o dispositivi assimilabili estendendo gli attuali limiti superiori di temperatura e di efficienza. I recuperi di energia, estesi a correnti tradizionalmente considerate di ridotta importanza (flussi freddi e/o ad elevato contenuto di umidità, come quelli derivanti da molti processi di asciugatura od essiccazione), devono essere perseguiti con soluzioni innovative sia dal punto di vista tecnologico che da quello della conduzione ottimizzata in condizioni dinamiche. La produzione del freddo è essenziale in molte filiere produttive (ad esempio nell'agroalimentare), ed essendo fortemente onerosa dal punto di vista energetico necessita di soluzioni innovative. Alcuni efficaci esempi di linee di ricerca coinvolgono il miglioramento delle macchine per la produzione del freddo (espansori a recupero, sistemi con eiettori, sistemi misti con deessiccanti + compressione, gli assorbitori), ma anche i recuperi di energia, la ricerca su nuovi fluidi con elevata sostenibilità, la progettazione di macchine dalle prestazioni elevate e dalla produzione e manutenzione semplificata. Gli insediamenti industriali comprenderanno naturalmente le costruzioni industriali, che possono essere oggetto di innovativi interventi orientati ad una revisione delle strutture che, ad esempio, ricomprenda FER ed accumuli, consenta il risparmio ed il recupero di risorse e risultati coerente con l'ottimizzazione dei flussi di materiali (ad esempio, nell'ottica dell'economia circolare) e dell'impiantistica di servizio. Anche in questo contesto, quindi, importanza trasversale è rivestita dalla NPR e dalla IoT che svolgono ruoli fondamentali nella raccolta dei dati diffusi e nei conseguenti controllo e gestione intelligenti.

### **Nuove soluzioni per: accumulo energetico, trasporto del calore, generazione e trasporto di fluidi freddi in ambito industriale.**

L'accumulo di energia è in generale da proporsi in associazione alle FER variabili (solare, eolico), ma nel contesto della produzione industriale esso assume una declinazione particolare: infatti, l'accumulo assolve la funzione importante di disaccoppiare la produzione di energia dai fabbisogni, e di compensarne i disallineamenti. In questo contesto, tutte le forme di accumulo (elettrico, termico, di freddo e chimico, incluse le soluzioni a transizione di fase) assumono rilevanza specifica, ancor più che nel contesto dell'industria energetica di per sé. Si pensi, a titolo di esempio, a linee di ricerca che interessino i sistemi ed i dispositivi a transizione di fase per l'accumulo termico, adatti per le medie temperature, ed ai sistemi compatti di accumulo di energia (elettrica, termica e chimica), finalizzati alla stabilizzazione ed al miglioramento del recupero energetico nel contesto del ciclo produttivo (e.g., profilo giornaliero). Associato a questo uso generalizzato dell'accumulo è il problema della distribuzione efficiente di calore e freddo, che potrà essere affrontata con nuove soluzioni (ad esempio, fluidi non convenzionali come CO<sub>2</sub>). In linea generale, si osserva che talune linee di ricerca possono essere innesco di filiere innovative quali, a puro titolo di esempio, lo sviluppo di pompe e trasformatori di calore per temperature intermedie (100-200 °C) o di tecnologie per il recupero dei flussi di calore ad elevata umidità (recupero della condensa in combustioni di gas naturale o gas idrogenati).



**Decarbonizzazione delle filiere produttive ad alta intensità energetica (ad esempio acciaio, cemento ecc.), recupero di energia e materiali da residui, rifiuti e processi industriali (Energy Harvesting, Water/Energy Nexus) nell’ottica dell’ economia circolare e resilienza.**

Alcuni processi industriali (gli “energivori”) operano a valori di temperatura particolarmente elevati, generando interessanti opportunità di innovazione di processo, recupero e valorizzazione. Rilevanti in questo contesto risultano soluzioni di cattura e sequestro o riuso della CO<sub>2</sub>, l’introduzione di combustibili decarbonizzati in luogo di combustibili fossili e la progressiva elettrificazione di alcuni processi. Inoltre, spesso si rilevano problemi più estesi, che comprendono la riduzione dei rifiuti e dell’utilizzo di acqua, l’uso e la produzione di nuovi materiali. I recuperi energetici assumono carattere diffuso, e l’attenzione ai recuperi in tali condizioni mediante la pratica dell’Energy Harvesting si avvantaggia necessariamente della presenza pervasiva della IoT, che consente la tracciabilità del processo di degrado dell’energia e l’evidenziazione in tempo reale delle opportunità di recupero. L’ottimizzazione tecnico-economica delle soluzioni proposte andrà ricercata attraverso un’estesa applicazione delle tecniche di simulazione di processo. Le ricerche dovranno includere anche l’analisi delle attuali barriere normative e proporre i necessari adeguamenti per consentire l’impiego di combustibili decarbonizzati negli usi finali.

Linee di ricerca specifiche riguarderanno il miglior uso e l’innovazione dei materiali, contribuendo a loro volta all’innovazione nei processi di produzione (si pensi non solo ai nuovi materiali, ma anche all’economia circolare ed all’uso di risorse di agevole o prossima reperibilità). Infine, altri esempi di linee di ricerca ricomprendono l’inclusione di tali processi in sistemi integrati di distretto, finalizzati alla riduzione e valorizzazione dei reflui energetici dai processi industriali, con estensione del recupero alle basse temperature, e/o recupero degli stessi nell’ottica di distretto (simbiosi), anche ampliato al settore civile e terziario.

### Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Interconnessioni importanti si verificano con l’Ambito Green Technologies (Articolazioni 1, 2 4 e 6). Rispetto a questo, le cui articolazioni rappresentano un obiettivo finale, questa articolazione specifica dell’Energistica Industriale dedica particolare attenzione alla fase di transizione, che vedrà logicamente una progressiva sostituzione delle fonti di energia tradizionali (in gran parte il gas naturale per l’industria italiana) con le rinnovabili. Pertanto non sono trascurate le applicazioni relative al miglioramento del risparmio energetico, alle riduzioni ed al contenimento degli sprechi.

Altra interconnessione importante è quella con l’Ambito Energetica Ambientale (Articolazioni 1 e 3). Il settore industriale risulta strategicamente connesso con quello delle costruzioni sotto diversi punti di vista, che vanno dalla realizzazione dei materiali (sia innovativi che tradizionali, ma con caratteristiche ed applicazioni migliorate) alla produzione di beni e componenti per edifici ed impianti, nell’ottica di durata ed efficienza (ad esempio, in termini di prestazioni e ridotta energia incorporata).

### Key Performance Indicators

- Riduzione dell’impronta di carbonio dei prodotti rispetto alla situazione presente (es. kg\_CO<sub>2</sub>/unità di prodotto o servizio)
- Riduzione dell’impatto ambientale valutato con metodi accettati (es. EcoPunti/unità di prodotto o servizio)
- Impianto pilota con pompa di calore ad elevata temperatura per applicazioni industriali
- Impianto pilota di sistema di produzione industriale alimentato con FER e comprensivo di accumulo applicato al settore agroalimentare
- Impianto pilota di sistema di produzione industriale alimentato con FER e comprensivo di accumulo applicato al settore tessile
- Impianto pilota di sistema di produzione industriale alimentato con recupero a bassa temperatura, isolamento termico potenziato e recupero della condensa
- Crescita del database EF 3.0 con inserimento di nuovi processi in settori d’interesse per le filiere industriali
- Numero ed incremento degli occupati nelle Green Technologies nel settore industriale, con qualifiche da EQF<sub>5</sub> a EQF<sub>8</sub>.



## Articolazione 4. La catena del valore delle comunità energetiche – verso sistemi energetici decentralizzati

Le comunità energetiche (CE) rappresentano uno strumento cruciale per la transizione da un sistema energetico centralizzato, pensato per soddisfare e adattarsi alle richieste dei consumatori, ad un sistema decentralizzato in cui cittadini e imprese sono coinvolti nella produzione da fonti rinnovabili, consapevoli dei loro consumi, favorendo una maggiore indipendenza energetica del Paese. Oggi molte delle tecnologie *Smart Grid*, abilitanti per la costituzione delle comunità energetiche (misuratori intelligenti, contabilizzatori di energia, dispositivi *IoT*, ecc.) hanno raggiunto un buon grado di maturità. Tuttavia, molti aspetti hanno necessità di approfondimenti quali - ad esempio - l'abbattimento dei costi dei sistemi di misura software e hardware, e la loro certificazione, che assicuri la proprietà e piena accessibilità del dato da parte degli utenti garantendone la sicurezza nelle varie fasi. È inoltre cruciale l'integrazione di tali tecnologie in architetture contraddistinte da un'alta usabilità per permettere un controllo semplice e affidabile delle CE e rimuovere le barriere che ostacolano la partecipazione diretta dei cittadini, abilitando l'auto-organizzazione dei cittadini e la costituzione di comunità energetiche dal basso. La complessità di una comunità energetica e la molteplicità delle possibili configurazioni tecnologiche adottabili è tale che si necessita di metodologie innovative per la pianificazione del mix tecnologico degli impianti di produzione, accumulo e consumo dell'energia, nonché delle reti ai quali si appoggiano. Modelli di business innovativi sono strumenti fondamentali che abilitano lo sviluppo delle comunità energetiche. Il contesto in cui operano le comunità energetiche è il mercato libero dell'energia, in cui agiscono operatori molto specializzati, la cui posizione dominante deve essere controbilanciata per permettere anche alle comunità energetiche di diffondersi. Azioni collettive per la realizzazione di impianti di produzione od accumulo, eventualmente in partnership pubblico-private, cooperative energetiche, od altri strumenti di partecipazione dei cittadini sono esempi di strumenti per abilitare dal basso le aggregazioni dei consumatori di energia alla Comunità Energetica. Infatti, le comunità energetiche non sono solo costituite da utenti residenziali, ma possono aggregare utilizzatori appartenenti ad ambiti diversi quali ad esempio le piccole e medie imprese, l'artigianato e l'industria, creando sinergie nell'utilizzo e nella produzione dell'energia che migliorano le performances a beneficio della comunità stessa. La diffusione di comunità energetiche ad utenza mista incontra difficoltà di diversa natura. Da un lato queste sono tecnologiche, per quanto riguarda la diffusione capillare di architetture IoT e dell'industria 4.0, in modo da permettere una corretta integrazione con le comunità energetiche, garantendo allo stesso tempo la sicurezza dei dati commerciali sensibili ed il corretto funzionamento dei processi commerciali ed industriali. Dall'altro canto vi è la difficoltà di riuscire a coordinare e armonizzare aspettative, necessità e modelli organizzativi molto diversi, espressione dei diversi membri della Comunità Energetica. Barriere non tecniche legate ad aspetti normativi e regolatori rappresentano un punto di attenzione per la diffusione delle CE. Azioni di semplificazione ed armonizzazione in tal contesto sono auspicabili.

### Obiettivi

Lo sviluppo di tecnologie ed architetture di sistema per la gestione e la conduzione delle CE permetterà ai cittadini di essere direttamente coinvolti senza dover ricorrere a professionalità specifiche per le attività di: misura dei flussi di energia, contabilizzazione e ripartizione economica dei flussi energetici ovvero per la gestione dinamica dei contratti per lo scambio di energia, management e controllo remoto degli assets, governance della CE e dei suoi membri. Una corretta pianificazione energetica delle comunità energetiche permette di determinare la migliore configurazione tecnologica che garantisce il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, la sostenibilità economica, nonché la resilienza al verificarsi di eventi critici climatici o economici improvvisi. Aspetto sfidante ma anche opportunità significativa delle CE è la capacità di adattamento al territorio. Si potrà infatti integrare l'approvvigionamento di fonti rinnovabili alle caratteristiche dei territori di riferimento della CE stessa. Questo rende lo schema di implementazione delle CE meno generalizzabile, ma più performante in termini di resilienza. L'opportunità è quella di instaurare un sistema di CE che porti verso una produzione decentralizzata sistemica con l'ambiente ed i territori di riferimento. Nuovi modelli di business a sostegno delle Comunità Energetiche, che differenzino quelle soluzioni che massimizzano l'impatto socio-ambientale rappresentano degli strumenti abilitanti per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione del sistema energetico nazionale ed europeo. Le CE potrebbero diventare inoltre uno strumento per la lotta alla povertà energetica, attraverso azioni rivolte ai consumi di energia in edilizia popolare ed in



quartieri disagiati/periferie (dove vivono famiglie "vulnerabili) del contesto urbano. L'aggregazione di utenze con destinazione d'uso diverse (residenziale, industriale, terziario pubblico e privato) permette di bilanciare la domanda dell'energia nel tempo, riducendo l'intermittenza delle curve di prelievo e quindi limitando gli sbilanciamenti e la necessità di approvvigionarsi di energia altamente dispacciabile invece di massimizzare l'autoconsumo delle risorse interne alla comunità energetica. Questo si traduce in una maggiore resilienza della comunità energetica ed una maggiore efficienza nell'uso dell'energia. Dal punto di vista delle infrastrutture di coordinamento e del controllo della comunità energetica, la presenza di industrie o PMI consente di investire risorse per aumentare la sicurezza informatica. Le tecnologie per le CE e per le Smart Grids risultano strategiche anche nel supporto internazionale ai paesi in via di sviluppo, in particolare per le comunità isolate (ad esempio utenze per piccole-medie strutture sanitarie ed unità di refrigerazione, anche comunitarie, per la conservazione di cibi e/o farmaci).

## Impatti

### Sviluppo di tecnologie ed architetture di sistema per la gestione e la conduzione delle CE.

La capacità di essere coinvolti direttamente in Comunità Energetiche avvicinerà i cittadini ad essere maggiormente informati sulle proprie abitudini di consumo, promuovendo un uso più consapevole e responsabile dell'energia. L'effetto di questo processo sociale e culturale sarà un impatto sull'accettazione e sulla penetrazione di tecnologie di produzione di energia da risorse rinnovabili, sulla riduzione degli sprechi di energia; inoltre, favorirà l'attento ed oculato consumo dell'energia durante i periodi di maggiore disponibilità di energia rinnovabile. In prospettiva, le Comunità Energetiche, massimizzando l'autoconsumo e l'autosufficienza, ridurranno l'utilizzo e lo stress delle reti di distribuzione e trasmissione dell'energia a beneficio della collettività. Di rilevanza per lo sviluppo delle CE sarà lo sviluppo di architetture hardware e software per la gestione intelligente dei dati energetici misurati (produzione, accumulo e prelievi), la previsione dei consumi, la realizzazione di sistemi di interfaccia con l'utente, e l'implementazione di algoritmi di controllo ottimo del sistema energetico integrato. L'intelligenza artificiale rappresenta in questo contesto un elemento chiave, in quanto abilita ad operazioni di gestione ottima e risparmio energetico all'interno di sistemi energetici flessibili, multi-energy e multi-tecnologici. Lo sviluppo di piattaforme digitali decentralizzate per la gestione ed esecuzione di *smart contracts*, contratti dinamici (ad es. basati su tecnologia *blockchain*) per la contabilizzazione economica di comunità energetiche, potrà inoltre favorire l'emergere di Comunità Energetiche decentralizzate e controllate dai cittadini.

### Metodi innovativi per la pianificazione energetica e per la valutazione dei suoi impatti sul sistema socioeconomico, sull'ambiente e sulla resilienza ai cambiamenti climatici.

Comunità energetiche resilienti garantiscono la sicurezza energetica del sistema energetico, la riduzione di eventi critici, massimizzando i benefici economici e ambientali per i membri della comunità e per il sistema energetico nazionale. La pianificazione dello sviluppo del sistema energetico, oltre che la sua gestione operativa, necessita dunque di essere affrontata con appropriati strumenti modellistici, capaci di effettuare una valutazione quantitativa degli impatti ambientali, economici e sociali diretti, indiretti e indotti sul tessuto produttivo del sistema paese. I modelli devono in particolare avere le seguenti caratteristiche: piena integrazione modellistica tra sistema energetico e sistema produttivo (così da cogliere le ricadute che scelte tecnologiche o politiche nei vari settori avrebbero sulla domanda e sull'approvvigionamento energetico), alto dettaglio fisico-tecnologico e alta risoluzione spazio-temporale (in modo da cogliere le specificità delle tecnologie rinnovabili e di storage), estensione a numerose categorie di impatto in ottica *Life Cycle* (diversi indicatori di impatto capaci di catturare la multidimensionalità di impatti causati dallo sviluppo della filiera energetica, inclusi indicatori economici, sociali e ambientali). Metodologie di analisi sopra menzionate sono ad oggi elemento di ricerca di frontiera, e vedono l'integrazione di approcci modellistici differenziati appartenenti a diverse discipline tecnico-scientifiche, che necessitano di omogeneizzazione e validazione. La ricerca in questo ambito è fondamentale al fine di guidare i soggetti politici verso decisioni correttamente informate ed efficaci nel lungo periodo, stimolando uno sviluppo complessivamente sostenibile del sistema energetico e del sistema paese. Di estrema rilevanza è l'integrazione di strumenti di pianificazione energetica per la valutazione multi-annuale dei nuovi assets energetici da installare, con strumenti che simulino invece la fase operativa del sistema energetico. Quest'ultimi sono infatti in grado di catturare gli sbilanciamenti del sistema, sempre più frequenti con



l'aumentare delle VRE, e permettono una più precisa pianificazione della nuova capacità di produzione e di accumulo da installare. Oltre alla scala temporale, anche la scala spaziale può assumere un ruolo importante nella pianificazione energetica. Tecniche di analisi spaziale (*spatial analytics*) a supporto della valutazione dei potenziali naturali e tecnici di risorse rinnovabili distribuite sul territorio sono metodologie emergenti a supporto della pianificazione energetica territoriale che possono aiutare a meglio quantificare le effettive possibilità di realizzazione di Comunità Energetiche. Risulta fondamentale lo sviluppo di nuovi strumenti su base GIS, *open*, ed integrati dinamicamente con varie base dati, per la valutazione analitica e spaziale del potenziale di produzione da fonti rinnovabili, dei consumi finali degli edifici e siti produttivi, e per la simulazione di diversi scenari di diffusione delle tecnologie energetiche; ciò potrà costituire la base di un nuovo sistema decisionale sulle azioni da intraprendere per la transizione energetica sul territorio. La pianificazione energetica si arricchisce con la quantificazione dei vantaggi tecnici, ambientali, economici e sociali derivanti dall'insediamento di comunità energetiche (rinnovabili e dei cittadini) sul territorio italiano. Ad esempio, un tema da affrontare è la valutazione dei benefici tecnici derivanti dall'adozione di CE sulla rete elettrica ai fini di quantificare meccanismi *cost-reflective* di valorizzazione economica dell'autoconsumo ed eventualmente flessibilità (della domanda e della produzione) generati dalle CE. L'identificazione, comprensione ed analisi dei fattori quali gli effetti dell'influenza esercitata tra pari (*peer-to-peer effects and interactions*) e norme comportamentali (*normative social influence*) – ad esempio, il feedback che viene dato agli utenti sul proprio consumo di energia in relazione ai propri vicini – sono alla base delle dinamiche sociali di una comunità energetica e sono fondamentali per disegnare policy e azioni mirate alla diffusione delle stesse. Modelli tecno-socioeconomici (ad es. modelli ad agenti) per studiare e valutare la diffusione di fonti rinnovabili distribuite e CE sul territorio sono elementi di frontiera della pianificazione energetica.

#### Nuovi modelli di business per le CE con riferimento all'uso efficiente e condiviso delle risorse.

Modelli di business a sostegno delle comunità energetiche permettono di aumentare la penetrazione delle fonti rinnovabili, la riduzione dei consumi, l'uso efficiente e condiviso delle risorse, il contrasto alla povertà energetica. È importante quindi identificare sistemi per sviluppare l'identificazione e le metodologie di quantificazione dei co-benefici (ambientali, sociali) derivanti dall'adozione di CE e delle loro ricadute socioeconomiche sul territorio e sulla nazione.

Un altro tassello importante sono i modelli organizzativi e giuridici più idonei alla diffusione di CE e gli schemi finanziari abilitanti sia per scambi di energia tra utenti di una comunità (*peer-to-peer energy trading*) che per azioni collettive di partecipazione alla realizzazione di nuovi impianti (in particolare FER).

Un'analisi delle molteplici forme di CE e dei modelli operativi declinabili in forma di impresa sociale o di schemi propri del Terzo Settore costituisce il punto di partenza per declinare al meglio l'erogazione di servizi energetici da parte delle CE in forma autonoma o in un network integrato con imprese di tipo profit operanti nel mercato dell'energia.

#### Implementazione delle CE ed incremento della consapevolezza energetica e della partecipazione dei cittadini.

I nuovi modelli di business saranno supportati dallo sviluppo di tecniche intelligenti basate sul monitoraggio dei consumi energetici e delle condizioni climatiche degli edifici e degli impianti per fornire agli utenti (e al gestore, o sistema intelligente di gestione, della CE) un sistema informatico di supporto alle decisioni. In questo contesto trovano applicazione sistemi di supporto alle decisioni - di tipo gerarchico, distribuito e scalabile - per il funzionamento ottimale di grandi edifici, blocchi di edifici e di distretti su vettori energetici elettrici e termici; tali sistemi consentono il coinvolgimento attivo di diversi attori in ambito locale con monitoraggio e valutazione dei benefici.

Dal punto di vista tecnologico, hanno rilevanza tutte quelle tecnologie energetiche che possono abilitare la maggiore penetrazione su scala distribuita delle FER. Si auspicano pertanto avanzamenti tecnologici nei seguenti ambiti:



- accumulo dell'energia termica, anche a temperature inferiori a quella ambiente, (con sistemi ad accumulo di energia sensibile, latente o termochimica) ed elettrica su scala dell'edificio o distretto, per una maggiore penetrazione e autoconsumo sul posto dell'energia rinnovabile autoprodotta;
- nuove tecnologie e impianti di piccola taglia per l'utilizzazione energetica delle biomasse di origine agricola ottenute da coltivazioni dedicate, da reflui zootecnici e da sottoprodotti dell'industria agro-alimentare;
- sistemi di accumulo dell'energia ad idrogeno; in questo ambito si auspica lo sviluppo di una filiera produttiva italiana di elettrolizzatori di diversa taglia, affidabili, di basso costo e capaci di funzionare a carichi variabili, (ii) la riprogettazione dei processi industriali più energivori per renderli idonei a funzionare con idrogeno (in generale miscelato con gas naturale) garantendo i necessari parametri di processo, (iii) lo sviluppo di algoritmi e sistemi di gestione per l'utilizzo razionale dei carichi e della produzione/utilizzo di idrogeno;
- integrazione delle pompe di calore nell'ambiente costruito e/o siti industriali per incrementare efficienza e flessibilità della domanda di energia e coinvolgimento degli utenti con programmi di *demand response*. Utilizzo della pompa di calore come "Connecting Technology" tra diversi vettori energetici;
- *Social Sensor Networks* per l'elaborazione decentralizzata delle informazioni in comunità energetiche; ovvero sensori cooperativi e strumenti software per la caratterizzazione e profilazione dei carichi energetici dell'utenza, e per l'identificazione di politiche di approvvigionamento ottimale delle fonti primarie di energia;
- adozione di reti elettriche in corrente continua e con livelli di tensione non convenzionali ed elettronica di potenza di nuova generazione (*smart inverter*);
- sistemi distribuiti di monitoraggio ed automazione di sistema in grado di operare in contesti eterogenei e in sistemi *legacy* (interoperabilità a basso costo); il tema trasversale della *Cyber Security e Data Privacy* si prevede sia centrale per la dimensione digitale delle CE.

Un'attività trasversale da intraprendere è infine la comprensione dei meccanismi di partecipazione del cittadino alle varie iniziative di CE. Utile potrà risultare la creazione di un atlante delle iniziative presenti sul territorio ai fini di stabilire una classificazione delle stesse, buone pratiche di insediamento e conduzione, e possibilità di replicazione. Lo sviluppo di siti pilota, eventualmente integrate con piattaforme web/mobile per l'interazione con gli utenti attivi della comunità energetica e con il Balance Service Provider o gestore della CE, permetterà di osservare direttamente l'efficienza e i benefici introdotti dalle CE e le criticità principali e validare in condizioni reali le tecnologie e i modelli di business proposti. In secondo luogo, la sperimentazione diretta e la condivisione dei risultati supportano l'incremento della consapevolezza energetica dei cittadini.

### Sviluppo di Comunità Energetiche in ambito industriale, residenziale e misto e dei PED.

L'aggregazione di utenze a destinazione d'uso mista riduce i rischi legati alla volatilità delle curve di prelievo, determinando l'aumento della resilienza delle CE. Migliorano le performance di autoconsumo e autoproduzione dell'energia generata e accumulata dalla CE, e di conseguenza anche l'impatto della CE sulla decarbonizzazione del sistema energetico e l'ambiente. Infine, si abbate il costo dell'energia, agevolando la produzione industriale e favorendo la creazione di nuove imprese in modo da aumentare l'attrattività dei territori rilanciando il tessuto economico e contrastando lo spopolamento di aree rurali o poco industrializzate - ma ricche di risorse rinnovabili. La ricerca dovrà affrontare il tema della Comunità Energetica in un contesto territoriale più ampio, dove anche la distribuzione dell'energia assume un ruolo centrale da modellare, simulare e ottimizzare insieme agli usi finali e le tecnologie di produzione e accumulo. In una spazialità territoriale più estesa, siti industriali ed edifici residenziali, pubblici o commerciali coesistono. In questo contesto si può implementare e sperimentare un paradigma di transizione energetica basato sul concetto di Comunità Energetica Estesa, ovvero di condivisione sinergica degli assets di produzione, accumulo e distribuzione dell'energia, ed un uso finale dell'energia ottimizzato e flessibile per catturare benefici tecnici, economici e sociali derivanti dall'autoconsumo o dalla condivisione dell'energia nell'ambito di un perimetro territoriale delimitato. A supporto della Comunità Energetica Estesa potranno esserci nuovi algoritmi di intelligenza artificiale per l'analisi di dati energetici di siti e edifici di varia tipologia per la gestione energetica. La flessibilità dovrà essere declinata sia rispetto a variabili interne (produttive) che esterne (possono dipendere da variabili ambientali, ma anche input esterni di mercato - vedasi meccanismi emergenti di *signal pricing*). Sono attività rilevanti la promozione dell'inclusione diffusa delle fonti rinnovabili nei processi industriali e nel recupero di cascami termici (anche a bassissima temperatura) per la produzione di energia elettrica od acqua dissalata, oppure per le



integrazioni termiche nei processi produttivi. Sarà importante studiare e sperimentare Comunità Energetica multi-attore e di scala territoriale estesa, con territori che autoproducono la maggior parte dell'energia consumata, producono servizi di rete e di dispacciamento e si comportano come delle reti intelligenti.

### Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

I temi della Comunità Energetica e della Pianificazione Energetica Urbana e Territoriale sono interdipendenti con diverse discipline. La rilevanza delle tecnologie è chiaramente centrale e abilitante, ma necessita di integrazioni da discipline delle scienze sociali ed economiche e delle scienze naturali. L'interconnessione è sicuramente con gli Ambiti tematici "Energetica Ambientale", "Green technologies" e con "Mobilità Sostenibile" dove il settore trasporti, con i suoi utenti e veicoli nella fattispecie del trasporto terrestre pubblico o privato di persone, si integra e fa parte della Comunità Energetica (una *smart society* riguarda persone, edifici, trasporti, industrie).

### Key Performance Indicators

I KPI proposti, da valutare e monitorare, sono i seguenti:

- Numero e consistenza dei progetti di Comunità Energetica intrapresi sul territorio.
- Autoconsumo e autosufficienza territoriale delle Comunità Energetiche.
- Erogazione di servizi di rete (Balance Service Provider, dispacciamento flessibile attraverso schemi di Demand Side Management / Demand Response).
- Indicatori di *smartness* della Comunità Energetica (sulla scorta delle esperienze in corso sullo Smartness Readiness Indicator degli edifici).

## Articolazione 5. Il sistema energetico nazionale ed i sistemi di trasporto terrestre, marino ed aereo

Il settore dei trasporti è uno dei più energivori ed uno dei più rilevanti dal punto di vista delle emissioni inquinanti. In Italia esso è associato ad un consumo energetico medio annuo di circa 36 Mtep, con un trend stabile negli anni, ed è responsabile di circa un quarto delle emissioni di gas serra nazionali. Le tecnologie tradizionali del settore dei trasporti non sono sufficienti a produrre una riduzione apprezzabile delle emissioni di CO<sub>2</sub>, ed un positivo impatto sulla qualità dell'aria può essere dato solo dallo sviluppo e dalla diffusione di nuove tecnologie aventi come obiettivo la decarbonizzazione, che si pone oggi come uno dei principali driver di cambiamento tecnologico nel settore della mobilità. L'obiettivo finale del processo di decarbonizzazione è quello di una pressoché completa elettrificazione dei sistemi di trasporto. Tuttavia nel breve-medio termine, sistemi di propulsione che utilizzano il gas naturale, i biocombustibili ed i combustibili gassosi di origine rinnovabile possono offrire un'alternativa complementare, in grado di consentire forme di vantaggiosa integrazione tra reti di trasporto dell'energia e sistemi di accumulo di natura diversa, supportando inoltre la necessaria transizione tecnologica. Nel contesto della decarbonizzazione, l'industria mondiale dei trasporti dovrà confrontarsi, nei prossimi anni, con una rilevante trasformazione tecnologica, di domanda e di logistica. Solo la capacità di anticipare le evoluzioni tecnologiche del settore, in particolare collegate alla diffusione di sistemi di propulsione elettrici, può consentire all'Italia di recuperare incrementi produttivi interessanti, mantenendo la competitività di settori determinanti per l'occupazione. La decarbonizzazione dei trasporti non investe solo la tecnologia dei mezzi di trasporto, ma anche l'ottimizzazione delle catene logistiche multimodali, la modernizzazione delle infrastrutture attraverso un uso ottimale ed innovativo delle tecnologie ICT, ed infine le tecnologie per la riduzione delle emissioni inquinanti nelle infrastrutture portuali, aeroportuali ed intermodali.

Le istanze poste dalla transizione energetica al contesto dei sistemi di trasporto sono esaminate anche nell'articolazione 4 "Reti e veicoli green e clean" dell'Ambito "Mobilità sostenibile".



## Obiettivi

Lo sviluppo di mezzi di trasporto completamente elettrici è un processo già avviato in campo automobilistico, ma ancora agli albori nei settori del trasporto pesante su gomma, navale ed aereo. Ulteriori progressi in questi settori richiedono rilevanti avanzamenti tecnologici, sia nel campo dei sistemi di generazione, distribuzione e accumulo dell'energia elettrica, che in quello delle infrastrutture ed in quello dei power-train. Le moderne metodologie di analisi dei dati, basate sui Big Data e sulla raccolta di informazioni distribuite a livello capillare, potranno fornire gli strumenti necessari per una pianificazione ottimale degli scambi energetici tra la rete elettrica ed i sistemi di ricarica delle batterie. L'interazione ottimizzata tra le esigenze del sistema elettrico e la connessione alla rete di batterie di accumulo installate a bordo dei mezzi offre un'ulteriore potenzialità di sviluppo. Un rilevante progresso tecnologico è infine richiesto per conferire ai combustibili ottenuti da FER un sufficiente livello di competitività.

L'articolazione è pertanto volta, allo sviluppo di:

- Sistemi di generazione, distribuzione ed accumulo per unità navali elettriche ed ibride
- Carburanti low-carbon per il settore navale
- Decarbonizzazione dei sistemi portuali
- Infrastrutture per la mobilità aerea elettrica
- Sistemi di accumulo per aeromobili elettrici ed ibridi
- Mobilità a Metano, Biocombustibili ed Idrogeno
- Tecnologie e filiere per la mobilità elettrica
- Strategie di ottimizzazione delle interazioni tra sistema elettrico e mobilità elettrica
- Sistemi V2G
- Tecnologie per il riutilizzo delle batterie dismesse in applicazioni 'second life'
- Sistemi di accumulo avanzati per autoveicoli elettrici
- Sistemi per la ricarica veloce delle batterie
- Sistemi di ricarica in movimento
- Sistemi elettrici integrati innovativi per aeromobili e navi elettriche
- Convertitori elettronici e motori elettrici ad alta densità di potenza

## Impatti

**Sviluppo di tecnologie per la decarbonizzazione dei sistemi di trasporto terrestre, marittimo ed aereo e delle infrastrutture portuali, aeroportuali e intermodali.**

Sistemi di generazione, distribuzione ed accumulo dell'energia elettrica per unità navali elettriche ed ibride – L'utilizzo di motori elettrici è da decenni una realtà consolidata in campo navale, seppure con l'uso di combustibili fossili come fonte primaria; per compiere un ulteriore passo verso una maggiore elettrificazione è quindi necessario sostituire progressivamente i generatori elettrici mossi da motori Diesel o turbine a gas con sistemi di accumulo dell'energia. È pertanto di interesse strategico lo sviluppo di nuovi sistemi di accumulo e ricarica adatti alle specifiche esigenze navali, superando le oggettive difficoltà tecniche poste dagli elevati livelli di potenza e di energia e dalle particolari condizioni operative. Allo stato attuale un impulso decisivo all'elettrificazione in campo navale può essere dato dallo sviluppo di configurazioni ibride "multi-energy-system". Tali configurazioni integrano l'uso di gas naturale o idrogeno, sistemi di generazione a celle a combustibile ad alta temperatura e sistemi di accumulo elettrochimico. Determinante per raggiungere gli obiettivi di massima efficienza in questi sistemi di composizione eterogenea è la gestione ottimale dell'interazione a vari livelli tra i diversi sistemi energetici.

Carburanti low-carbon per il settore navale – L'impiego di GNL come combustibile per la propulsione navale può permettere di annullare quasi del tutto le emissioni di ossido di zolfo e di ridurre notevolmente le emissioni di ossido di azoto e di anidride carbonica, in modo da ottemperare ai limiti in vigore nelle zone NECA dal 2016. È quindi di grande interesse lo sviluppo di sistemi di propulsione che utilizzino GNL come combustibile, o sistemi con GNL e celle a combustibile ad alta temperatura, che permettono un risparmio fino al 60%.



Decarbonizzazione dei sistemi portuali - La decarbonizzazione dei sistemi portuali è orientata al contenimento delle emissioni dirette - prodotte dalle unità navali in porto e dalle attività industriali svolte nelle aree portuali - nonché di quelle indirette, derivanti dal consumo di energia elettrica. Per conseguire ciò occorre sviluppare tecniche di gestione dei flussi energetici e di integrazione delle varie fonti energetiche analoghe a quelle delle microreti. Queste tecniche, che si basano su analisi probabilistiche dei profili di carico, simulazioni con modelli matematici e rilevazioni sul campo, permettono un'attenta pianificazione energetica delle attività portuali e dei flussi energetici che interessano le imbarcazioni, i carichi, i sistemi di generazione da FER locali e la rete esterna.

Infrastrutture per la mobilità aerea elettrica- La diffusione degli aeromobili elettrici esige pesanti adeguamenti delle infrastrutture del sistema elettrico, per incrementare la capacità delle linee di trasporto verso gli aeroporti ed all'interno degli stessi. Ciò richiede lo sviluppo di nuove tecniche per innalzare i livelli di resilienza, flessibilità ed affidabilità delle reti. È inoltre necessario sviluppare una nuova classe di infrastrutture di ricarica, di taglia maggiore rispetto a quelle dei veicoli terrestri e con caratteristiche intrinseche di sicurezza maggiori. Per quanto riguarda la mobilità elettrica aerea a corto raggio, è possibile pensare allo sviluppo di stazioni di ricarica induttiva, installate sulle piattaforme di atterraggio e decollo, che permettano di effettuare anche ricariche veloci parziali.

Sistemi di accumulo per aeromobili elettrici ed ibridi - Il principale ostacolo per lo sviluppo di aeromobili elettrici a lungo raggio è posto dall'indisponibilità di sistemi di accumulo affidabili e leggeri. La tecnologia agli ioni di Litio offre già prestazioni sufficienti per l'uso su velivoli a corto raggio con carico leggero, ma richiede ulteriori consistenti sviluppi perché possa essere sfruttata anche su aeromobili passeggeri e cargo di medie e grandi dimensioni. In attesa di questi sviluppi la ricerca può orientarsi verso soluzioni già oggi praticabili- come quella ibrida -od ai sistemi con celle a combustibile che utilizzano Idrogeno come vettore energetico; od ancora, verso soluzioni parziali come quelle che prevedono l'utilizzo di motori elettrici a terra nella fase di rullaggio/taxiing, per ridurre le emissioni inquinanti nelle aree aeroportuali. Uno sfruttamento indiretto delle fonti energetiche rinnovabili può poi essere ottenuto impiegando come combustibile metanolo ottenuto da CO<sub>2</sub> mediante processi chimici di trasformazione alimentati da FER.

Mobilità a Metano, Biocombustibili ed Idrogeno - I biocombustibili ed i combustibili gassosi di origine rinnovabile quali il biometano e l'idrogeno offrono nel medio periodo un'alternativa complementare all'elettrificazione dei sistemi di trasporto. Questo tipo di combustibili rappresentano una possibile scelta nel breve-medio termine per il trasporto aereo a medio e lungo raggio: il loro utilizzo su larga scala pone problemi di sviluppo di tecnologie, componenti e processi, sempre valutando le diverse alternative in base al carbon footprint ed all'indice EROEI (Energy Return On Energy Invested). Con riferimento al trasporto terrestre su gomma (sia per flotte di veicoli leggeri sia per i veicoli pesanti), lo sviluppo della mobilità a metano può contribuire alla salvaguardia del valore di infrastrutture esistenti e ben si integra con lo sviluppo della filiera del biometano, che interseca i settori agricoli, di gestione dei rifiuti e di gestione delle reti gas locali. L'idrogeno ottenuto da FER può costituire una soluzione su molti livelli: dai trasporti su gomma ai sistemi ferroviari, dall'utilizzo come gas combustibile, all'impiego in fuel cells per generazione elettrica. La filiera del Gas Naturale Liquefatto prodotto da biometano (bio-GNL) possiede le potenzialità per innescare un'economia di scala per il settore specifico dei trasporti pesanti (compresi quello marittimo e aereo). La ricerca in questo settore richiede un approccio multidimensionale che investa gli aspetti tecnologici, le modalità di innesco di filiere totalmente nuove, valutazioni tecno-economiche su possibili modelli di business e scenari di sviluppo del settore delle bioenergie e le possibilità di integrare filiere molto diverse tra loro.

In merito alle tematiche relative alla decarbonizzazione dei mezzi e delle infrastrutture nei settori navale ed aereo ed all'utilizzo di vettori energetici low-carbon si veda anche l'articolazione 4 "Reti e veicoli green e clean" dell'Ambito "Mobilità sostenibile".

### **Sviluppo di una catena del valore nazionale dei componenti elettronici e dei sistemi per la mobilità elettrica.**

Tecnologie e filiere della mobilità elettrica - Il baricentro produttivo, commerciale e tecnologico della mobilità elettrica si sta oggi spostando verso la Cina, è quindi di importanza strategica per l'Italia dare un forte impulso allo sviluppo delle tecnologie dei componenti elettronici e dei sistemi per la mobilità elettrica. Il possesso di un know-how



avanzato sulle tecnologie più aggiornate è fondamentale per conservare la competitività e l'occupazione delle nostre filiere metalmeccaniche: la sola filiera italiana dell'automotive genera un fatturato di 330 miliardi di Euro e impiega 1,2 milioni di addetti, la nautica e la cantieristica continuano a crescere, in particolare nel segmento delle imbarcazioni da diporto. La ricerca dovrà provvedere a creare opportunità di trasferimento tecnologico sia verso la grande industria, che deve sviluppare nuovi approcci sistemici di sviluppo di prodotto e nuovi processi produttivi, sia verso le imprese dei settori elettrico, elettronico ed automotive di minori dimensioni, che devono aggiornare profondamente il proprio portafoglio di prodotti per sfruttare pienamente le opportunità offerte dalla trasformazione tecnologica collegata allo sviluppo della mobilità elettrica e delle relative infrastrutture.

La necessità strategica di sostenere con la ricerca il riorientamento del sistema produttivo italiano nel settore dei trasporti verso processi e prodotti "low carbon" è evidenziata anche nell'articolazione 4 "Reti e veicoli green e clean" dell'Ambito "Mobilità sostenibile".

### **Evoluzione del sistema energetico a supporto della e-mobility e della decarbonizzazione dei trasporti, anche sviluppando sinergie tra veicoli e reti elettriche (V2G, V2H, Battery Second life).**

Strategie di ottimizzazione delle interazioni tra sistema elettrico e mobilità elettrica - L'elettificazione della mobilità avrà un pesante impatto sulle infrastrutture di regolazione delle reti elettriche, incrementando i livelli di stocasticità dei profili di carico. La ricerca deve quindi elaborare nuovi approcci per la regolazione di frequenza e tensione, valorizzando le possibili sinergie tra sistemi di trasmissione ed accumulo dell'energia di natura diversa, nonché ricercando strategie efficaci per il coordinamento delle operazioni delle stazioni di ricarica anche in modalità V2G e V2H. Ciò potrà essere ottenuto con nuovi algoritmi di machine learning per la gestione dei flussi di potenza ed energia, applicazione di approcci smart grid, utilizzo di sensori intelligenti e dell'IOT. L'utilizzo delle moderne metodologie di analisi dei dati, come i Big Data, è essenziale per sviluppare strumenti innovativi per la pianificazione delle interazioni tra sistemi di trasporto e reti energetiche, con capacità di adattamento a variazioni delle caratteristiche della flotta, del traffico, della disponibilità e del costo dell'energia.

Sistemi V2G - La modalità V2G, permette di sfruttare le batterie dei veicoli in sosta come un sistema distribuito di accumulo, per mezzo di stazioni di ricarica in grado di gestire flussi bidirezionali di potenza e dati. Considerando la presenza di 10 milioni di auto elettriche, di cui il 20% collegato alla rete (con soluzioni wired o contactless), si otterrebbe una disponibilità di accumulo significativa (circa il doppio del consumo orario su scala nazionale), in grado di compensare gli errori previsionali sulla disponibilità delle fonti primarie rinnovabili non programmabili. Ciò consentirebbe ai gestori della rete elettrica di ridurre gli investimenti in infrastrutture per l'accumulo ed ai possessori dei veicoli di vendere servizi ancillari alla rete, ottenendo un corrispettivo economico. Ciò richiede, però, anche l'adozione di politiche dinamiche di prezzo dell'energia, in particolare per lo scambio bidirezionale di potenza tra i veicoli elettrici e la rete, in grado di incentivare, da un lato, la partecipazione alla regolazione della rete e, dall'altro, l'adozione di profili di ricarica meno gravosi per il sistema elettrico. Le tecnologie legate al V2G non sono ancora del tutto mature, la ricerca è oggi indirizzata verso lo sviluppo di convertitori di potenza a flusso bidirezionale e di protocolli informatici per lo scambio di dati tra veicoli, sistema elettrico e centri di controllo. È essenziale, inoltre, definire strategie di pianificazione delle operazioni di carica/scarica delle batterie dei veicoli in sosta per mezzo di modelli matematici a diverso livello di dettaglio.

Tecnologie per il riutilizzo delle batterie dismesse in applicazioni "Second Life" - Il numero crescente di veicoli elettrici in circolazione porrà presto il problema di come gestire le batterie giunte al termine della vita utile. Si prevede infatti che nel prossimo decennio circa 250.000 tonnellate di batterie verranno dismesse dai veicoli elettrici. Il riutilizzo di queste batterie in applicazioni con specifiche meno stringenti è una prospettiva particolarmente interessante, in grado di conferire nuovo valore a componenti che, al termine della vita operativa prevista, mantengono generalmente l'80% della capacità iniziale. Un settore molto promettente per l'utilizzo in "Second Life" delle batterie dismesse è quello dei sistemi di accumulo stazionari a servizio delle reti elettriche. A questo scopo è necessario sviluppare modelli matematici affidabili per valutare la vita operativa attesa delle batterie in diverse applicazioni "Second Life", così come adeguati modelli di business e valutare le possibilità di attivare una specifica filiera.



### Sviluppo di sistemi di accumulo veicolari avanzati e sistemi per la ricarica in movimento contactless (e-road) e veloce.

Sistemi di accumulo avanzati per autoveicoli elettrici - Il settore delle batterie per veicoli elettrici è sostanzialmente dominato da tecnologie che utilizzano il Litio ed il Cobalto, materiali strategici non disponibili in Italia e la cui produzione non è sufficiente a soddisfare le esigenze poste dallo sviluppo tumultuoso della mobilità elettrica. Anche i siti di produzione sono in massima parte localizzati all'estero. Risulta quindi evidente la necessità di sviluppare tecnologie innovative per la realizzazione di batterie che utilizzino materiali diversi, disponibili sul suolo nazionale, a basso costo e altamente riciclabili. Un esempio è dato dalle batterie al Sodio, che però allo stato attuale non hanno ancora raggiunto sufficienti livelli prestazionali. È quindi necessario dare impulso allo sviluppo di nuove tipologie di batterie, anche per consentire all'industria italiana di fornire un contributo significativo nell'ambito della "European Battery Alliance". In parallelo, è auspicabile lo sviluppo di sistemi di accumulo che combinino batterie e supercapacitori, nonché di sistemi di controllo in grado di riconfigurare attivamente i pacchi batteria in modo da escludere elementi che hanno subito un invecchiamento precoce, così da prolungare al massimo la vita utile dei sistemi di accumulo.

Sistemi per la ricarica veloce delle batterie - La ricarica delle batterie è un processo critico per ogni tipo di veicolo elettrico. I tempi di ricarica sono infatti uno dei maggiori punti di debolezza dei veicoli elettrici rispetto ai veicoli convenzionali e le modalità di ricarica possono incidere negativamente sulla salute della batteria, così come sull'efficienza del trasferimento di energia. La ricarica veloce richiede lo sviluppo di convertitori elettronici di grande potenza e di specifiche strategie di carica. È inoltre da valutare attentamente l'impatto che sistemi di ricarica fast e ultra-fast con potenza nominale da 50 a 200 kW possono avere sulla rete elettrica in termini di perdite, congestione delle reti in bassa e media tensione, riduzione della power quality e fenomeni di instabilità. Di particolare importanza è in questo contesto lo sviluppo di soluzioni che permettano di integrare le stazioni di ricarica veloce con sistemi di accumulo locale, elettrochimico o ad idrogeno con celle a combustibile. È poi necessario definire meccanismi di pianificazione ottimale della distribuzione sul territorio dei sistemi di ricarica veloce, in modo da ottimizzarne l'integrazione nelle reti elettriche. Importante è anche lo sviluppo di meccanismi di ricarica induttivi, in grado di trasferire energia elettrica alle batterie per mezzo di un accoppiamento elettromagnetico. La ricarica induttiva è intrinsecamente più sicura e versatile del convenzionale meccanismo conduttivo, ma richiede lo sviluppo di speciali convertitori elettronici e di accoppiamenti elettromagnetici ad alta efficienza.

Sistemi di ricarica in movimento - Nel campo dei trasporti su gomma, specialmente quelli pesanti, maggiori autonomie e minori tempi di ricarica possono essere ottenuti con sistemi di ricarica in movimento, distribuiti lungo le infrastrutture stradali ed autostradali (Electric Road Systems). Questi sistemi possono utilizzare approcci diversi quali: pantografi, rotaie o sistemi induttivi installati al di sotto del manto stradale che usano un meccanismo induttivo per il trasferimento di energia. I sistemi di ricarica in movimento possono permettere una riduzione delle dimensioni del pacco batterie dei veicoli elettrici, ibridi e bimodali, il contenimento delle emissioni in ambito urbano ed abilitare la modalità V2G anche ai veicoli in movimento. I sistemi di ricarica in movimento sono però ancora in fase di sperimentazione, la scommessa tecnologica è quella di sviluppare sistemi competitivi in termini di efficienza e costo con quelli di ricarica da fermo. Oltre agli aspetti tecnologici dovranno essere analizzati anche quelli ambientali ed economici, ed individuati gli ambiti di applicazione più favorevoli. Lo sviluppo di progetti di ricerca in tale direzione potrebbe rappresentare per l'Italia una prospettiva con un rilevante impatto sotto il profilo tecnologico ed economico, determinando contestualmente una decisa accelerazione della transizione alla propulsione elettrica.

### Sviluppo di powertrain innovativi per mobilità elettrica ed ibrida.

Sistemi elettrici integrati innovativi per aeromobili e navi elettriche - La propulsione ibrida ed elettrica a bordo dei mezzi aerei e navali richiede lo sviluppo di appositi sistemi di distribuzione e power-train. Tali sistemi dovranno operare a tensioni più elevate rispetto a quelli dei mezzi convenzionali e dei veicoli elettrici terrestri, al fine di produrre, gestire e controllare l'elevata potenza richiesta. Ciò apre la prospettiva di impiegare reti di distribuzione di bordo MVDC (Medium Voltage DC) con tensioni superiori ai 1000V, superando tutte le difficoltà legate a problemi di sicurezza, variazioni di temperatura e bassi valori di pressione. Indispensabile è poi lo sviluppo di sistemi di



propulsione e di conversione statica dell'energia ridondanti, o resilienti con capacità di autoriconfigurazione in caso di guasto.

Convertitori elettronici e motori elettrici ad alta densità di potenza - L'utilizzo delle nuove tecnologie "wide-band-gap" nei convertitori elettronici di potenza rappresenta una scelta obbligata per migliorare i livelli di affidabilità, efficienza e densità di potenza della prossima generazione di sistemi di trazione elettrica. Una linea di ricerca strategica è quindi quella relativa alle tecnologie di produzione di dispositivi al Carburo di Silicio ed al Nitruro di Gallio. Inoltre, l'utilizzo di questi dispositivi in convertitori elettronici in grado di lavorare ad elevatissime frequenze di commutazione e con potenze anche superiori ai 100 kW, pone istanze del tutto nuove, come lo sviluppo di nuovi criteri di progettazione, protezione e controllo. D'altra parte, motori elettrici ad elevata densità di potenza possono essere realizzati impiegando materiali innovativi, infatti: i progressi conseguiti nello sviluppo di materiali superconduttori ad alta temperatura consentono oggi la realizzazione di motori con perdite molto ridotte ed un peso inferiore del 50% rispetto alle unità convenzionali. È però ad oggi necessario dotare i motori a superconduttori di un impianto criogenico di refrigerazione che li rende competitivi solo da taglie di potenza superiori al MW. Una linea di ricerca alternativa è quella che prevede l'utilizzo di nanomateriali, ed in particolare nanotubi di carbonio al posto del rame e nanoparticelle paramagnetiche al posto dei materiali ferromagnetici.

### Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

Ambito tematico – Aerospazio: Art. 2 – Riduzione impatto ambientale in aeronautica.

Ambito tematico – Energetica Ambientale: Art. 1 – Edifici, storage ed interazione con Energy communities e smart energy grid.

Ambito Tematico – Mobilità sostenibile: Art. 2 – Infrastrutture e terminali per la mobilità eco-compatibile efficienti, sicuri e resilienti e Art. 4 Reti e veicoli green e clean.

Ambito tematico – Conoscenza, innovazione tecnologica e gestione sostenibile degli ecosistemi marini: Art. 2 – Tecnologie industriali e digitali per la navigazione e la gestione sostenibile delle operazioni in mare e Art. 3. – Innovazione infrastrutturale per lo sviluppo di una nuova economia sostenibile legata al mare.

### Key Performance Indicators

- Trend di riduzione delle emissioni inquinanti nel settore dei trasporti
- Incremento dei TRL dei progetti di ricerca presentati nel settore della mobilità sostenibile
- Numero di veicoli elettrici realizzati da aziende nazionali immessi sul mercato
- Numero di occupati nelle filiere della mobilità sostenibile (veicoli, indotto, infrastrutture)
- Dimostratori tecnologici (aeromobili elettrici, sistemi di accumulo per applicazioni aeronautiche, sistemi di propulsione aerea ad alta densità energetica, mezzi navali elettrici)
- Impianti pilota (V2G, ricarica in movimento, riutilizzo di batterie veicolari dismesse)
- Numero di progetti di decarbonizzazione di aree portuali, aeroportuali e intermodali



## APPENDICE 1. Glossario

AC	Alternating current	PMI	Piccole e Medie Imprese
AMI	Advanced Metering Infrastructure	PtG	Power-to-Gas
AI	Artificial Intelligence	PtX	Power-to-X
BAT	Best Available Technologies	ROI	Return on investment
CAES	Compressed Air Energy Storage	SME	Small and Medium Enterprise
CCS	Carbon Capture and Storage	STATCOM	Static synchronous compensator
CCUS	Carbon Capture Utilization and Storage	TRL	Technology Readiness Level
CSP	Concentrated Solar Power	TSO	Transmission System Operator
CE	Comunità Energetiche	UN	United Nations
DC	Direct current	V <sub>2</sub> G	Vehicle to Grid
DSO	Distribution System Operator	V <sub>2</sub> H	Vehicle to Home
EF	Environmental Footprint	VRE	Variable Renewable Energy
EQF	European Qualification Framework	WAMPAC	Wide Area Monitoring, Protection and Control
EROEI	Energy Return On Energy Invested		
FACTS	Flexible Alternate Current Transmission System		
FER	Fonti Energetiche Rinnovabili		
FV	Fotovoltaico		
GHG	Greenhouse Gases		
GNL	Gas Naturale Liquefatto		
HVDC	High Voltage Direct Current		
ICT	Information and Communication Technology		
IoT	Internet of Things		
LAES	Liquid Air Energy Storage		
LCoE	Levelized Cost of Energy		
LV	Low Voltage		
MV	Medium Voltage		
MVDC	Medium Voltage Direct Current		
MSD	Mercato dei Servizi di Dispacciamento		
MT VSC	Multi Terminal Voltage Source Converter		
NECA	Nitrate Emission Control Area		
NPR	Next Production Revolution		
OCSE	Organizzazione per la Cooperazione e la Sicurezza in Europa		
PED	Positive Energy Districts		



## 5.4 Energetica ambientale

### Contesto attuale, motivazioni ed evoluzioni

L'energetica ambientale è indirizzata allo studio degli impieghi energetici volti ad assicurare un microclima in grado di garantire il benessere complessivo dell'uomo all'interno di edifici con destinazione residenziale, commerciale, terziaria ed industriale.

Il fabbisogno energetico degli edifici, che pesa per circa il 40% dei consumi finali di energia (nel seguito viene fornito qualche ulteriore dettaglio) è notoriamente un grave problema, che deve essere risolto per poter attuare la transizione energetica e la de-carbonizzazione (consumi ridotti e ben gestiti rendono, infatti, molto più semplice il loro soddisfacimento mediante fonti rinnovabili).

La notevole mole di attività di ricerca svolta in questo settore ha affrontato e brillantemente risolto molti aspetti del problema ed ha consentito di raggiungere un notevole livello di expertise diffuso sul territorio italiano, con un positivo impatto anche sull'industria che spazia da quella del settore termotecnico e fino ai materiali innovativi per l'edilizia. A titolo di esempio si cita il rilevante miglioramento delle prestazioni delle pompe di calore (ovvero l'incremento di scop), grazie, in particolare all'ottimizzazione del funzionamento a carico parziale, la messa a punto di sistemi ibridi pompa di calore combinata con caldaia a gas per gli interventi negli edifici esistenti e nei climi più rigidi, l'avanzato stadio di sperimentazione dei pcm (materiali a cambiamento di fase) per aumentare la capacità di accumulo nelle strutture edilizie, la diffusione ed il miglioramento delle prestazioni dei sistemi di ventilazione meccanica controllata (vmc) la penetrazione delle energie rinnovabili, in particolare solare fotovoltaico (PV) e termico laddove ciò non venga ostacolato da vincoli normativi e, non da ultimo, la progressiva integrazione dei sistemi di regolazione e di controllo degli impianti di climatizzazione con le tecnologie ICT per migliorare sia le strategie di regolazione che l'interfaccia con gli utenti finali.

Restano però due principali questioni irrisolte: la lentezza con cui avviene il rinnovamento/riqualificazione dello stock edilizio esistente e la mancanza di un **approccio di sistema** che affronti l'efficienza dello stock edilizio con una visione integrata e globale. Mentre la risposta al primo problema può essere essenzialmente ascrivibile alla disponibilità di risorse finanziarie ed alla razionalizzazione dei vincoli burocratici e normativi, la seconda questione richiede un salto di qualità dell'attività di ricerca che dovrà essere rivolta verso lo studio di sistemi complessi, interagenti tra di loro, da affrontare con un approccio interdisciplinare per trovare soluzioni che ottimizzino contemporaneamente una molteplicità di fattori.

A questo fine occorre metter a punto un più efficiente modello di gestione delle risorse, tra cui quelle energetiche, permettendo ai cittadini, alle aziende, alle istituzioni, di risparmiare, produrre e distribuire - e non solo consumare - energia. Tra i pilastri della ricerca del futuro c'è dunque lo sviluppo e la diffusione dell'integrazione tra edifici e "smart energy" community, con cui si intende una gamma di entità che condividono e collaborano nella gestione dell'approvvigionamento, del consumo, grazie all'implementazione di soluzioni tecnologiche per la generazione distribuita di energia, in primis da fonti rinnovabili, e la gestione "intelligente" dei flussi energetici anche grazie alle tecnologie di accumulo (storage) in varie forme (termiche ed elettriche). Una naturale conseguenza è la necessità di una migliore integrazione tra gli edifici e le reti di distribuzione dell'energia (energia multi-vettore, anche se è evidente la continua crescita della penetrazione elettrica) incrementando così la resilienza dell'infrastruttura energetica e migliorando il supporto alla mobilità elettrica.

In definitiva, l'incremento della prestazione energetica degli edifici non dipende solo dal miglioramento delle loro caratteristiche intrinseche (aspetto nondimeno importantissimo) ma anche da una intelligente (smart) gestione della domanda (demand side management) e dell'autoconsumo, oltre che da un più efficace ed attivo coinvolgimento dei loro occupanti. Ma quanto sopra richiede una conoscenza dell'effettivo comportamento dell'edificio ed una interazione in tempo reale con i suoi occupanti.

Inoltre, anche a scala più ampia (quartiere, città, comunità energetica) spesso mancano strumenti che possano efficacemente supportare le decisioni in materia di energia.



Il problema è indubbiamente in parte di tipo politico, giuridico ed economico per quanto riguarda l'accessibilità trasparenza e diffusione dei dati (energetici) e le modalità contrattuali con i quali i soggetti coinvolti (utilities, Esco, amministratori condominiali) comunicano i dati agli interessati. In parte, il problema è anche legato ad una carenza di cultura tecnico/scientifica relativa alle tecniche di analisi dei dati ed alla corretta installazione e gestione dei sistemi di acquisizione dei dati di supervisione e della sensoristica, carenza che andrebbe risolta con opportune azioni di formazione.

Restano comunque aperte, anche da questo punto di vista, numerose sfide da approfondire con dedicate attività di ricerca.

Occorre anzitutto mettere in primo piano il ruolo degli occupanti: è ovvio che l'efficienza energetica deve andare di pari passo con comfort e IAQ/ con particolare riferimento alle strategie di ventilazione che prevengano rischi epidemiologici ecc. e d'altro canto è necessario comprendere a fondo il comportamento degli utenti e come metterli in grado di prendere decisioni corrette.

Di pari passo l'edificio va considerato non solo per le sue qualità intrinseche: materiali, involucro, salubrità (si pensi al tempo complessivamente trascorso da un individuo al loro interno ed alla relazione con la salute: il covid-19, ad esempio, ha dimostrato, l'importanza della corretta gestione degli individui negli ambienti), prestazioni energetiche (più o meno spinte: NZEB/edifici passivi) ma anche, più in generale, in relazione con l'ambiente costruito alle diverse scale (edificio singolo e comparto edilizio urbano) tenendo ben presenti da un lato potenzialità e limiti della riqualificazione energetica del patrimonio esistente e, dall'altro, come le relazioni tra edifici vadano ad impattare su altri aspetti (diritto al sole, mobilità, reti multivettore, comunità energetica).

Infine, il ruolo della manutenzione, nella visione qui suggerita delle ricerche orientate alla decarbonizzazione dei sistemi antropici, non dovrà limitarsi ai tradizionali interventi "di riparazione" e ripristino dei componenti e dei sistemi energetici, ma dovrà proporsi come strumento di monitoraggio e verifica del mantenimento delle situazioni ottimali di efficienza energetica e sostenibilità ambientale previste in fase di progettazione. Naturalmente questa funzione coinvolge l'esteso utilizzo di una sensoristica avanzata e di tecnologie ICT.

Da quanto sopra indicato emerge abbastanza chiaramente quale potrà essere la presumibile evoluzione del settore energetico in edilizia:

- Migliore integrazione tra edifici e sistemi energetici e ulteriore progressivo incremento della penetrazione delle rinnovabili. Mentre appare evidente, in vista di una progressiva de-carbonizzazione del settore, la crescita dell'elettrificazione, il potenziale ruolo dell'idrogeno come vettore e/o accumulo rimane legato allo sviluppo tecnologico dei componenti impiantistici necessari al suo utilizzo ed alla scala temporale in cui questo potrà avvenire.
- Evoluzione del ruolo della regolazione dei sistemi impiantistici e della interazione con gli utenti grazie alla diffusione di IOT (Internet Of Things), di interfacce più ergonomiche con gli utenti finali ed alle applicazione di sistemi intelligenti.
- Ulteriore miglioramento delle prestazioni degli impianti di climatizzazione (in diverse direzioni: consumi energetici, emissioni inquinanti, comfort) in parte già avviato grazie alla ricerca ed alla pressione normativa.
- Un più lento miglioramento delle prestazioni dell'involucro dello stock edilizio esistente, necessariamente legato alle politiche di incentivazione.
- Auspicabilmente anche un miglioramento della qualità e della disponibilità dei dati relativi alle prestazioni energetiche a supporto delle decisioni e della gestione che riguardano il patrimonio edilizio, anche se non va nascosto che a questo proposito vi sono alcune resistenze diffuse a vari livelli.

Infine, l'interconnessione dell'ambito tematico "Energetica Ambientale", e con gli altri ambiti tematici del PNR, appare evidente in virtù del ruolo giocato dagli edifici nel pilotare il metabolismo urbano verso modelli più sostenibili, non solo dell'abitare, ma anche delle relazioni sociali e delle funzioni del costruito. La spinta che gli edifici possono produrre verso una profonda decarbonizzazione delle città e verso la realizzazione di ambiti urbani inclusivi e smart è decisamente centrale.

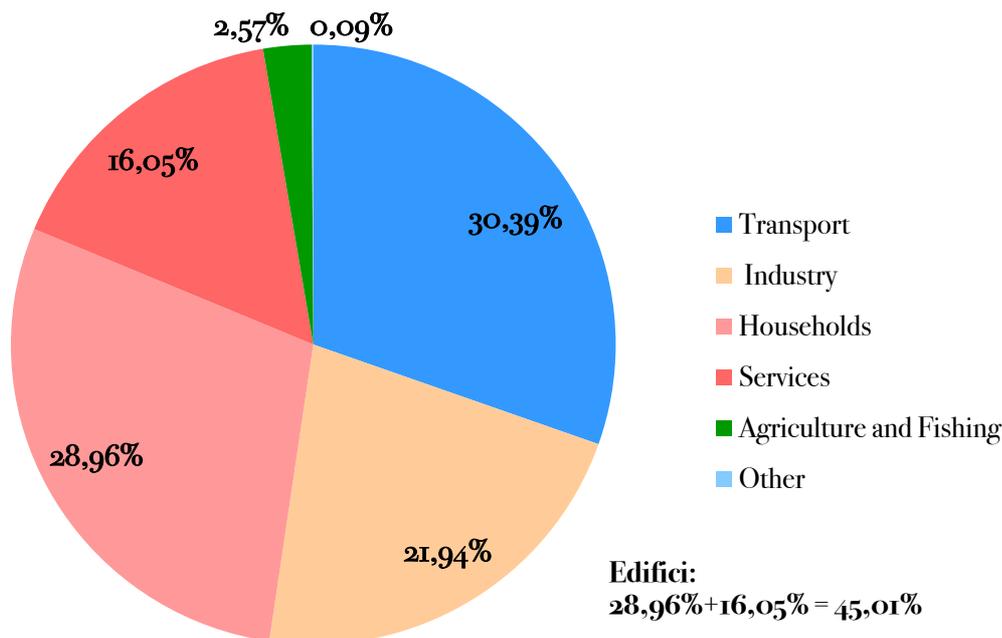


## Rilevanza rispetto alle transizioni ambientale, digitale, economica, energetica e sociale

### Transizione energetica, ambientale e digitale

Gli aspetti energetici, ambientali e relativi alle tecnologie ICT vengono affrontati insieme in quanto strettamente interconnessi.

Non è qui il caso di entrare nei dettagli, ma come ricordato in precedenza gli edifici, sia in Italia che in Europa, sono responsabili di circa il 40% dei consumi finali di energia (vedi, ad esempio, i dati 2017).



#### *Consumi finali di energia in Italia nel 2017*

(fonte: EU Energy in Figures - Statistical pocketbook 2019 - © European Union, 2019)

Nel settore residenziale, il consumo per la climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) assorbe circa il 70% dei consumi finali (dati 2017, fonte: "Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2019", 2019 ENEA). Va inoltre considerato il settore non residenziale (servizi) dove i consumi energetici, in particolare quelli elettrici dovuti alla climatizzazione estiva, sono comunque assai rilevanti

È quindi immediatamente evidente l'enorme impatto dei consumi energetici dovuti agli edifici sia direttamente sul settore energetico sia sull'ambiente a causa delle emissioni collegate: basti pensare, ad esempio, che i consumi per riscaldamento sono concentrati nel periodo invernale ed in particolare nei mesi di dicembre gennaio, e che, quindi, l'impatto delle emissioni dovute al riscaldamento nel periodo invernale è notevolissimo dato che, a tutt'oggi, nella maggior parte dei casi il riscaldamento è ancora ottenuto con impianti di combustione (e si tratta quindi di un numero molto elevato di impianti di combustione di taglia medio piccola per i quali è comunque difficoltoso garantire efficienze elevate malgrado i controlli che pur vengono effettuati).

Ma la rilevanza degli edifici nella transizione energetica ed ambientale non si limita ai consumi energetici ed all'impatto ambientale delle trasformazioni energetiche a servizio degli edifici: il recupero del patrimonio edilizio implica sistematicamente la scelta tra riqualificazione della struttura esistente o demolizione e ricostruzione con evidenti ricadute anche sugli aspetti relativi al ciclo di vita (LCA) per quanto riguarda le possibilità riciclo dei materiali derivanti dalla demolizione, l'origine e le modalità produttive dei nuovi materiali utilizzati per la riqualificazione/ricostruzione e, infine, la gestione del cantiere. Se, da un lato appare evidente come, sotto il profilo



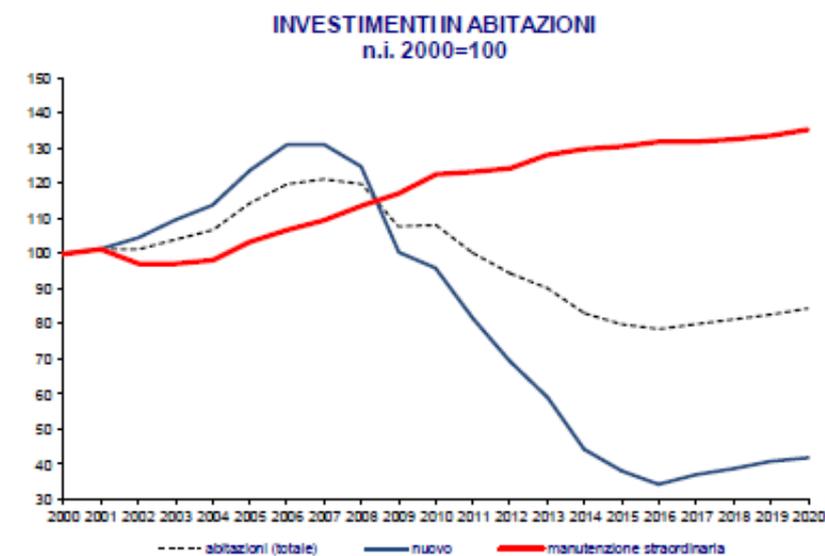
dell'impatto ambientale, l'ipotesi di recupero del patrimonio edilizio sia sempre preferibile rispetto all'opzione di demolizione con ricostruzione è pur vero che in Italia, paese con zone ad alta sismicità, tale ipotesi deve necessariamente essere verificata anche all'interno di un quadro prestazionale più ampio, che includa dunque anche le esigenze di sicurezza e salvaguardia della vita. (link con Patrimonio edilizio e Green technologies) . Va ricordato che in Italia sono presenti oltre 12 milioni di edifici e oltre 31 milioni di abitazioni (ISTAT). Il 15% degli edifici è stato realizzato prima del 1918 e circa il 65% è stato costruito precedentemente alla prima legge (373/1976) che introduceva criteri per il risparmio energetico ( Fonte ENEA: RAEE Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2016).

Le tecnologie digitali hanno, a loro volta una funzione che pur essendo ancillare risulta di fondamentale importanza per conseguire la riduzione dei consumi energetici (e, di conseguenza, l'impatto ambientale): oltre a supportare strategie di regolazione evolute che consentano il funzionamento ottimizzato degli impianti ed un'elevata qualità del microclima interno, debbono favorire il comportamento virtuoso dell'utenza fornendo informazioni in tempo reale chiare e comprensibili (feedback) sullo stato dell'edificio e sui consumi e, nel contempo, garantire un adeguato supporto alle decisioni grazie ad un agile accesso ai dati energetici ed a strumenti di modellazione e diagnostici.

A titolo di esempio si cita il report rds/par2014/081 enea-fire (analisi dell'impatto delle valvole termostatiche sui consumi finali degli utenti collegati alle reti di teleriscaldamento dei comuni montani delle zone climatiche E ed F) che stima in una riduzione dei consumi compresa tra il 10 ed il 20% l'effetto dell'adozione di valvole termostatiche + contabilizzazione+ formazione utenti; non è difficile intuire che tale tipologia di intervento può essere resa molto più efficace se combinata con tecnologie ICT (link con tecnologie ICT).

### Transizione economica

Dal punto di vista economico, il settore delle costruzioni rappresenta circa l'8% del PIL italiano ed il valore complessivo degli investimenti nel settore è di circa 130 miliardi di euro (fonte "Osservatorio Congiunturale Sull'industria Delle Costruzioni" a cura della Direzione Affari Economici e Centro Studi – Gennaio 2020) ed è rimasto stabile negli ultimi anni: il valore aggiunto nel 2019 è di 69.363,7 milioni di euro (dati ISTAT).



Fonte: Ance

*Investimenti in abitazioni* (fonte: ANCE OSSERVATORIO CONGIUNTURALE SULL'INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI Gennaio 2020 - © ANCE, 2020)

I livelli occupazionali sono di circa 1,4 milioni di persone impiegate nel settore in leggero calo (fonte ANCE citata). L'unico dato positivo in un settore sostanzialmente fermo riguarda gli investimenti in riqualificazione del patrimonio abitativo che mostrano un continuo incremento (attualmente rappresentano circa il 37% del valore degli investimenti in costruzioni – fonte ANCE citata).



L'innovazione in questo settore (che ovviamente comprende oltre agli aspetti energetici e di qualità dell'ambiente interno anche quelli strutturali) diventa quindi un elemento fondamentale per sostenere gli investimenti nel settore. Ma è evidente, anche per i motivi accennati in precedenza, che il recupero del patrimonio edilizio è parte integrante della "Green economy" sia per il ruolo fondamentale che in esso hanno le energie rinnovabili (a partire dal fotovoltaico) sia per gli aspetti di circolarità, riuso e riciclo connesso ai materiali (link con Green technologies).

In una prospettiva più ampia, la rilevanza del settore dell'edilizia è molto marcata: la Commissione UE stima in 185 miliardi di Euro il fabbisogno di investimenti annui per rendere compiuta al 2030 la transizione green degli edifici civili. Inoltre, lo sforzo di rendere l'Europa il primo continente climaticamente neutro entro il 2050, è recentemente confluito nel "Recovery Plan – Next generation EU", in seguito allo scoppio della pandemia di CoVid-19, conferendo in tal modo ulteriore importanza al settore dell'edilizia.

### Transizione sociale

La relazione tra edifici e società investe due aspetti principali: da un lato la qualità della vita che un edificio assicura ai suoi occupanti e, dall'altro, la responsabilità dell'occupante nella gestione sostenibile dell'edificio stesso.

Il ruolo degli edifici, residenziali ma anche in quanto sedi di attività lavorativa, nel garantire una adeguata qualità della vita è senza dubbio molto rilevante: l'ambito dell'energetica ambientale riguarda in particolare il controllo del microclima interno al fine di assicurare elevati livelli di comfort, la salubrità degli edifici (anche con riferimento ai problemi epidemiologici – covid 19) e la sostenibilità complessiva (quindi consumi limitati) tenendo ben presente che, comunque, la qualità della vita non può prescindere dalla qualità complessiva dell'edificio la quale, negli edifici residenziali non può prescindere dalle dimensioni degli alloggi: spazi adeguati al numero di occupanti sono comunque richiesti non solo per garantire il controllo del microclima (ventilazione, concentrazione di inquinanti) ma anche gli aspetti sociali (incluso, quando necessario, il distanziamento).

## Obiettivi 2021-2027

Sulla base di quanto affermato in precedenza, gli obiettivi ultimi per il settore 2021-2027 sono facilmente individuabili e possono essere riassunti in:

- **ridurre i consumi energetici** degli edifici ed aumentare la quota di energie rinnovabili utilizzata per coprirli;
- **ridurre l'impatto ambientale** delle trasformazioni energetiche funzionali agli edifici;
- migliorare, nel rispetto degli obiettivi menzionati in precedenza, **la qualità della vita** degli occupanti sia dal punto di vista della salubrità degli ambienti (in particolare per quanto riguarda gli aspetti epidemiologici, cfr. covid-19) che da quello del microclima.

Il problema è, ovviamente, come perseguire i suddetti obiettivi. Nei prossimi anni il contributo principale che la ricerca può dare è, come già detto, un salto di qualità che promuova un approccio di sistema sia allo studio che alla gestione degli edifici che tenga conto della complessità delle interazioni coinvolte.

A questo proposito, gli obiettivi individuati per l'attività di ricerca possono essere sintetizzati come segue:

- Ottimizzare l'integrazione degli edifici nel sistema energetico per promuoverne la resilienza e l'efficienza complessiva.
- Razionalizzare le tecnologie di rigenerazione del patrimonio edilizio con particolare riguardo a quello esistente
- Migliorare le tecnologie utilizzate per la climatizzazione temperando l'efficienza con la tutela della salute.
- Promuovere l'interazione con gli occupanti, per favorire un comportamento attivo e responsabile nella gestione degli immobili e migliorare le conoscenze relative ai fattori che determinano il comportamento stesso
- Incrementare la disponibilità, la qualità e l'affidabilità, dei dati raccolti, dei modelli previsionali e degli scenari utilizzati per lo studio, la gestione ed il supporto per le decisioni.



## Articolazione 1. Edifici, storage, ed interazione con energy communities e smart energy grid

Nonostante gli indubbi risultati raggiunti dalla ricerca scientifica, gli attuali livelli di consumo e di emissioni legati al “funzionamento” degli edifici, richiedono lo studio e l’implementazione diffusa di modelli energetici sostenibili che sfruttando l’evoluzione delle tecnologie dell’informazione e della comunicazione, consentano di migliorare la gestione delle risorse permettendo ai cittadini, alle aziende e alle istituzioni, di risparmiare, produrre e distribuire - e non solo consumare - energia. Tra i pilastri della ricerca del futuro c’è dunque lo sviluppo e la diffusione delle Smart Energy Communities.

La comunità energetica può essere definita come un aggregato di utenze (private, pubbliche o miste), localizzate in una zona non troppo estesa spazialmente, che decidono di effettuare scelte condivise per soddisfare il proprio fabbisogno energetico attraverso soluzioni di generazione distribuita, puntando soprattutto sull’utilizzo delle fonti rinnovabili con lo scopo di ottenere benefici sull’economicità e sostenibilità dell’approvvigionamento energetico. Se poi si aggiunge la capacità del sistema di autogestirsi e di ottimizzare il funzionamento anche tramite l’utilizzo dell’Internet of Things, si arriva al concetto di Smart Energy Community. Alla base della comunità energetica, vi è quindi il concetto di pluralità, intesa non solo come moltitudine di sistemi energetici e soggetti responsabili, bensì come insieme di diverse caratteristiche, tali da identificare possibilità di funzionamento complementare in grado quindi di mantenere o tornare rapidamente ai livelli di funzionalità ottimali anche al verificarsi di eventi sfavorevoli (resilienza).

La definizione di una Smart Energy Community implica un sistema di conversione, uno di trasmissione, uno di distribuzione e uno di utilizzazione analogamente ad un sistema energetico tradizionale, ma la differenza sta nel campo di applicazione e nella gestione che configura la formazione di una smart grid. Questa è caratterizzata da tre elementi fondamentali: a) nodi (le centrali, **gli edifici civili o industriali, i sistemi di stoccaggio dell’energia**); b) connessioni e quindi le infrastrutture fisiche “fisse” (reti elettriche, reti a fluido termovettore) e “mobili” (veicoli elettrici); c) i sistemi di monitoraggio, supervisione e gestione ottimizzata.

In quest’ottica è fondamentale individuare, con riferimento al ruolo degli edifici civili e industriali, campi di ricerca ben precisi sia con riferimento alle soluzioni tecniche e tecnologiche che con riferimento agli strumenti normativi e di finanziamento per quantificare e migliorare il livello di smartness di una società.

Ai nodi il ruolo di “consumer”, e quindi di ricettori dei servizi energetici al fine di garantire servizi alle persone ma anche di “prosumer”, e quindi partecipazione attiva al processo di condivisione energetica, favorendo l’autoconsumo inteso a livello di comunità. Fondamentale è da ritenersi l’approfondimento del ruolo degli edifici nei sistemi di accumulo termici ed elettrici, da intendersi come il buffer energetico atto a compensare, su base oraria, giornaliera ma anche stagionale, gli scompensi tra conversione e richiesta, sia a livello di singolo edificio che di distretto energetico. Questo richiede quindi lo studio di materiali e soluzioni innovative e allo stesso tempo con un elevato livello di sostenibilità sul ciclo di vita che consentano di massimizzare l’integrazione e lo sfruttamento in situ da fonti rinnovabili in modo da ridurre l’eccessiva sollecitazione e lo sbilanciamento delle infrastrutture di rete principali. La ricerca dovrà essere calata nel contesto industriale affinché la prototipazione mediante prove sperimentali di nuove soluzioni possa essere facilmente allargata alla scala produttiva e commerciale.

Alla rete, il ruolo di connessione, multi-verso e multi-energia, da studiare con approccio scientifico alla luce della complessità del contesto nazionale, e quindi diversificata in funzione della densità urbana, extraurbana, e della vocazione territoriale, in termini di fabbisogni ed usi energetici.

L’obiettivo della ricerca sarà il superamento della centralità della generazione e della unidirezionalità nel verso dell’approvvigionamento, sostituito da un concetto di diffusione e localizzazione distribuita sul territorio, in grado di interpretare le potenzialità della singola funzione e del sito. In questo sistema andrà valutata, anche, l’integrazione dei veicoli elettrici con il duplice ruolo di vettori sostenibili di persone e sistemi di accumulo di energia.

In questa nuova visione per consentire una corretta progettazione e gestione delle reti elettriche e termiche si dovranno mettere a punto modelli di controllo predittivo degli eventi, con riferimento agli edifici, che dovranno



essere integrati nel sistema di gestione, analizzando moltitudini di informazioni per garantire l'ottimizzazione del profilo di carico globale riducendo i picchi nelle ore più critiche e l'interazione con le sovrastrutture nazionali in modo da limitare anche gli scompensi connessi alla pervasività delle fonti rinnovabili.

Oltre ai problemi di natura tecnica, la ricerca scientifica dovrà supportare la risoluzione di un'altra serie di problematiche di carattere amministrativo, finanziario e sociale che coinvolgeranno pesantemente la gestione ed il funzionamento degli edifici, come la necessità di un sistema normativo per la determinazione delle implicazioni legali dello sharing energetico, la necessità di investimenti per l'ammodernamento delle reti, l'aumento dei conflitti e dello scetticismo verso investimenti e progetti comuni derivanti da una poca propensione verso la condivisione. Infatti, il sistema elettrico nazionale e le reti termiche non sono tecnologicamente pronte, ciò rende certamente necessaria l'introduzione di un sistema di supporto economico per l'implementazione di sistemi di gestione distribuita. Inoltre non esiste una normativa nazionale di settore per regolamentare l'accesso alla rete e la gestione dei flussi di energia da parte degli utenti (singoli e/o in condominio). L'attività di ricerca in questo campo consisterà nell'individuare scenari ottimali per l'integrazione degli edifici nelle smart energy communities in funzione del livello di sviluppo del territorio e dell'accessibilità alle diverse tipologie di fonti rinnovabile. Infine non saranno trascurate dalla ricerca le problematiche connesse alla rigenerazione e smaltimento dei sistemi di accumulo e di tutti gli elementi e le reti accessorie per la gestione nell'ottica di ridurre l'impatto del sistema edificio-impianti a livello globale.

## Obiettivi

Gli obiettivi principali della linea di ricerca sono:

- Lavorare su nuove soluzioni e materiali a basso impatto ambientale e basso costo, che consentano di sviluppare sistemi più compatti, flessibili ed efficienti per l'accumulo centralizzato e decentralizzato di energia negli edifici e, per lo stoccaggio di energia termica, anche su base stagionale, per il teleriscaldamento e il raffreddamento, a livello di comparto urbano e/o distretto;
- Sviluppare tecnologie fisiche, tecniche gestionali e strumenti normativi finalizzati ad una integrazione ottimale degli edifici nelle reti energetiche multi-verso e multi-energia, secondo metodiche ad hoc in funzione della densità urbana, extraurbana e della vocazione territoriale, in termini di fabbisogni, usi energetici, opportunità di conversione;
- Integrare negli edifici il supporto ai sistemi di trazione elettrica, considerandone il doppio ruolo di vettori di energia e di persone;
- Individuare le modalità ottimali di interazione con la rete a livello di distretto urbano e sub-urbano in funzione di pervasività e capillarità delle FER convertite in situ ;
- Sviluppare tecnologie e strumenti, compreso l'uso dell'Internet of Things e dell'intelligenza artificiale, finalizzate all'integrazione di diversi sistemi e vettori energetici, di sub-reti e infrastrutture energetiche con un diverso livello di sviluppo.

## Impatti

Da un punto di vista macroscopico, l'integrazione di edifici in comunità energetiche più o meno diffuse, consentirebbe al territorio nazionale di evolvere verso un insieme di microreti in grado di gestire il proprio fabbisogno ottimizzando i flussi energetici al proprio interno mediante sistemi di controllo (basati anche sull'Internet of Things), e che solo raramente si interfacciano al sistema nazionale. I vantaggi ottenibili, sono molteplici, ma quelli più importanti sotto questo punto di vista sono soprattutto la riduzione delle emissioni e il benessere sociale. Più in particolare gli impatti attesi sono:

- Incremento della sostenibilità energetica nazionale grazie al contributo degli edifici allo sviluppo capillare delle fonti rinnovabili e la conseguente riduzione della dipendenza energetica dall'estero e grazie alla riduzione delle perdite di rete in quanto l'energia resta circoscritta in aree nei pressi di centri di produzione;
- Miglioramento della stabilità, resilienza e dell'efficienza delle reti di approvvigionamento e di distribuzione dell'energia grazie al ruolo attivo degli edifici e perseguimento degli altri obiettivi connessi alla transizione verso la green economy;



- Incremento nella flessibilità nella risposta alle richieste energetiche massimizzando l'integrazione negli edifici di energia rinnovabile ed ottimizzando le tecnologie di stoccaggio anche mediante la valutazione della convenienza economica in ciascuna condizione di funzionamento;
- Sviluppo di sinergie tra gli edifici, i loro impianti e le diverse reti elettriche e vettori energetici, sistemi di accumulo, infrastrutture di trasporto e infrastrutture digitali per consentire il funzionamento intelligente, integrato, flessibile e verde delle comunità energetiche del futuro a qualunque scala esse siano sviluppate;
- Riduzione della spesa per l'approvvigionamento dei vettori energetici e miglioramento della qualità della fornitura per il singolo utente favorendo il funzionamento di ciascun impianto a pieno carico, il dispacciamento in tempo reale delle risorse locali e la partecipazione attiva alla gestione del sistema con conseguente riduzione degli sbilanciamenti della rete.

### Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

- Energetica Industriale
- Mobilità sostenibile
- Green Technologies

### Key Performance Indicators (KPI)

Il livello di diffusione e i benefici connessi all'integrazione degli edifici nelle Smart Energy Communities possono essere valutati attraverso diversi tipi di indicatori per misurare gli aspetti energetici; ambientali; economici; mobilità; tecnologie riguardanti i sistemi di informazione e telecomunicazione. In particolare:

#### → Indicatori energetici.

Si possono considerare il risparmio energetico e il grado di autoalimentazione da fonti rinnovabili. Il primo Questo KPI consiste nella riduzione del consumo di energia per raggiungere gli stessi servizi (ad es. Livelli di comfort) dopo gli interventi, tenendo conto del consumo di energia del periodo di riferimento. Invece il grado di autoalimentazione energetica da FER è definito come rapporto tra energia prodotta localmente da FER e consumo di energia per un periodo di tempo (ad esempio mese, anno) considerando separatamente l'energia termica (riscaldamento o raffreddamento) e l'elettricità.

#### → Indicatori ambientali.

Si possono considerare le emissioni evitate con riferimento non solo alle emissioni di gas a effetto serra ma anche a quelle totali, che possono essere assai rilevanti nel periodo invernale. Per consentire la comparabilità tra i sistemi, le emissioni possono essere correlate alla dimensione del sistema e all'intervallo di tempo considerato.

#### → Indicatori economici.

Gli indicatori economici più comuni sono l'investimento, il livello di finanziamento (sovvenzione) e il ritorno dell'investimento. Un investimento è definito come un'attività o un elemento che viene acquistato o implementato con l'obiettivo di generare pagamenti o risparmi nel tempo. L'investimento in un sistema di nuova costruzione è definito come pagamenti cumulati fino al funzionamento iniziale del sistema. L'investimento nella ristrutturazione di un sistema esistente è definito come pagamenti cumulati fino al funzionamento iniziale del sistema dopo la ristrutturazione. All'interno di una Smart Energy Community gli investimenti totali si applicano agli aspetti energetici del sistema. Il livello di finanziamento indica l'insieme di sovvenzioni non rimborsabili che un erogatore, come il governo, fornisce a un destinatario, per realizzare gli interventi necessari all'implementazione di una Smart Energy Community.

Il ritorno sull'investimento è una variabile economica che consente la valutazione della fattibilità di un investimento o il confronto tra diversi possibili investimenti. Questo parametro è definito come il rapporto tra reddito totale / utile netto e investimento totale del progetto.

#### → Indicatori mobilità.

Per valutare l'integrazione della mobilità elettrica o sostenibile è possibile introdurre un indicatore sul consumo di energia aggregati per combustibile di settore, sui chilometri di sistema di trasporto pubblico ad alta capacità in funzione della popolazione, sul numero di veicoli efficienti e puliti (elettrici, biocarburanti e idrogeno) impiegati



nella zona, sul numero di stazioni di ricarica nell'area e sul numero di posizioni di car sharing prima e dopo l'implementazione della smart grid .

→ **Indicatori sulle tecnologie di informazione e telecomunicazione.**

Gli indicatori possono misurare il livello di affidabilità, la maggiore flessibilità del sistema per prosumer e consumer, la riduzione del prezzo dell'energia, la riduzione del carico di picco, la capacità di hosting per FER, veicoli elettrici e altri nuovi carichi il livello di partecipazione dei consumatori. Il primo KPI vuole misurare il livello di affidabilità della rete in termini di numero di guasti e interruzioni che possono occorrere ma anche il tempo medio per la localizzazione e l'isolamento del guasto e per ripristinare la condizione pre-guasto. Misurare il livello di flessibilità significa misurare la capacità del sistema di rispondere - oltre a stabilizzare ed equilibrare - l'offerta e la domanda in tempo reale, come misura della partecipazione dal lato della domanda nei mercati dell'energia e nell'intervento di efficienza energetica.

La riduzione del prezzo dell'energia è un KPI che ha lo scopo di valutare i vantaggi economici di una strategia di pianificazione per i diversi soggetti coinvolti nella smart grid coordinati da un aggregatore. Un altro KPI può proporre il confronto tra la domanda di picco prima dell'implementazione della smart grid (baseline) con la domanda di picco dopo l'aggregazione (per consumatore finale, per alimentatore, per rete). Gli ultimi due indicatori consentono di fornire una indicazione sui carichi aggiuntivi che possono essere installati nella rete e di misurare il coinvolgimento dell'utente nella gestione del proprio consumo di energia.

## Articolazione 2. Rigenerazione e de-carbonizzazione del patrimonio edilizio

Nell'ambito dell'edilizia e, più in generale, delle trasformazioni territoriali ed ambientali connesse alle attività antropiche è evidente il progressivo interesse prodotto dall'introduzione di molteplici innovazioni di servizi e prodotti, ormai sperimentati e consolidati dalla ricerca e generalmente disponibili sul mercato, finalizzati al risparmio ed alla produzione di energia da fonti rinnovabili ("Renewable Energy Sources o RES") nel settore edile. A tale quadro si aggiungono le recenti disposizioni finalizzate all'aggiornamento delle precedenti direttive sulla certificazione energetica degli edifici e indirizzate al rafforzamento dei requisiti di prestazione, che individuano il livello di "energia quasi zero" come obiettivo da raggiungere negli edifici per le nuove costruzioni.

Tuttavia, nonostante il livello di fattibilità dei prodotti e servizi esistenti, cui si aggiungono le politiche di incentivazione finalizzate alla diffusione delle tecnologie per produzione di energia da fonti rinnovabili, e il progressivo incremento del target di efficienza dettato dalle disposizioni in materia di energia e cambiamento climatico, sono necessari ulteriori e consistenti sforzi per ridurre le emissioni di carbonio e il consumo di combustibili fossili all'interno del patrimonio edilizio esistente.

Gli edifici, com'è noto, sono fondamentali per la transizione energetica e il raggiungimento di un'economia neutrale dal punto di vista climatico. In Italia, quasi il 40% del consumo energetico -e oltre il 36% delle emissioni di gas serra- deriva dagli edifici. All'interno del patrimonio edilizio esistente, il settore residenziale costituisce il 63% del consumo totale di energia nel settore delle costruzioni.

In tale contesto generale, la situazione del patrimonio edilizio italiano, così come quella della maggior parte dei paesi europei, è caratterizzata dal fatto che la maggioranza di tali edifici sono stati costruiti ben prima dell'entrata in vigore delle misure prescrittive rispetto alla riduzione del consumo energetico, alla gestione razionale delle risorse e all'efficienza degli impianti.

È evidente come il potenziale energetico rappresentato dall'edilizia esistente assuma una rilevanza fondamentale, e come la ristrutturazione e l'efficientamento energetico di tale patrimonio rappresenti dunque un obiettivo imprescindibile.

È altresì evidente come diventa necessario spostare la ricerca, dai nuovi edifici, dai nuovi sviluppi urbani e dalle nuove costruzioni, agli edifici già disponibili all'interno delle aree urbane esistenti. Questo segmento del patrimonio edilizio rappresenta, di fatto, la sfida più grande, per una serie di aspetti in stretta relazione sinergica fra loro; infatti, a causa della diffusa presenza e quantità, il patrimonio edilizio esistente costituisce un potenziale enorme: I) in termini di riduzione di CO<sub>2</sub>; II) per la riduzione dei potenziali impatti altrimenti indotti dall'aumento del consumo di suolo per



nuove espansioni; III) per la potenziale riqualificazione dei siti urbani in cui si colloca e, quindi (IV) per il potenziale contributo all'avvio di processi di transizione che indirizzino tali luoghi verso la realizzazione di nuove comunità energetiche.

A tale quadro complesso si aggiunge un ulteriore elemento di criticità derivante dal fatto che gli edifici costruiti negli anni di massima espansione urbana costituiscono oltre il 60% del patrimonio edilizio complessivo e sono caratterizzati da questioni critiche ricorrenti e diffuse, prime fra tutte la vulnerabilità sismica, ricorrente in tanta parte del territorio nazionale. Tale aspetto, unitamente alle condizioni di obsolescenza e degrado, è imprescindibile quando si parla di recupero e ristrutturazione dell'esistente.

Le prospettive così delineate aprono a riflessioni più ampie in relazione al tema dell'energia ed ai suoi rapporti interdisciplinari ed inter-scalari, con particolare riferimento alle problematiche connesse ai temi della densità urbana e della riduzione del consumo di suolo, che costituisce un altro ambito di estremo interesse e attenzione nella lotta al cambiamento climatico.

## Obiettivi

Nell'ambito della riqualificazione del patrimonio edilizio, si studiano e si sperimentano ormai da tempo soluzioni legate alla realizzazione di nuovi involucri, alla sostituzione delle componenti finestrate, alla integrazione delle tecnologie finalizzate all'accumulo ed alla produzione di energia da fonti rinnovabili, come quella solare. Molte di queste ricerche sono sviluppate secondo modalità settoriali, che spesso trascurano il potenziale impatto di una possibile integrazione finalizzata ad un obiettivo multi-beneficio.

- Occorre incrementare il livello di approfondimento di tali soluzioni, particolarmente nel contesto attuale di mutata consapevolezza rispetto alle possibili calamità naturali dovute al cambiamento climatico e ai fenomeni sismici, ricorrenti nel nostro territorio nazionale. È necessario infatti indagare in maniera più accurata e puntuale il rapporto tra intervento di ristrutturazione energetica e esigenze di sicurezza sismica, oltre che di rinnovamento formale, evidenziando eventuali correlazioni o punti di conflitto tra le diverse categorie esigenziali cui uno stesso edificio è chiamato a rispondere.
- Occorre altresì indagare con maggior dettaglio il possibile ruolo delle modalità di integrazione tra tipologie edilizie e costruttive esistenti con strategie, servizi, tecnologie e materiali finalizzate all'aumento dell'isolamento termico, dell'inerzia termica, della ventilazione e micro-ventilazione naturale e passiva. In questo stesso ambito un terreno ancora non sufficientemente esplorato appare quello relativo alla possibilità di utilizzo duale, e quindi multi-beneficio, dei sistemi di generazione dell'energia con sistemi passivi per il riscaldamento ed il raffrescamento. (Si pensi, a titolo di esempio comune, l'effetto moltiplicatore sotto il profilo del controllo del surriscaldamento di una pergola fotovoltaica sopra una copertura verde; di una parete ventilata con pannelli fotovoltaici; di sistemi di micro-generazione eolica il cui utilizzo duale possa contribuire alla ventilazione passiva, ecc.).
- È noto come oltre alle soluzioni di adeguamento impiantistico, un ambito di applicazione delle soluzioni tecnologiche per l'efficientamento energetico degli edifici esistenti è infatti costituito dagli interventi possibili negli elementi dell'involucro edilizio, cioè in quel complesso insieme di fattori fisici e di componenti tecnico-architettoniche che maggiormente incide sul comportamento energetico, sul comportamento sismico, sulla caratterizzazione formale e la qualità figurativa degli edifici.
- L'integrazione di tali soluzioni sarà principalmente, ma non esclusivamente, da ricercare nell'involucro degli edifici e potrà considerare, allo scopo di moltiplicarne l'efficacia, anche i legami con altri benefici non necessariamente legati alle prestazioni energetiche (comfort, sicurezza, aumento di valore, attrattività).
- È inoltre necessario orientare la ricerca alla maggiore integrazione delle tecnologie finalizzate all'uso efficiente e sostenibile dell'energia per negli edifici, con particolare riferimento al patrimonio edilizio esistente, sia storico che moderno.
- Più in generale, le ricerche dovranno essere tese ad individuare metodi, strategie e soluzioni per la riqualificazione energetica e la de-carbonizzazione degli edifici, declinandone le modalità di integrazione e i livelli di trasformazione in ragione della articolata specificità propria degli organismi edilizi (edifici storico -



testimonial, edifici di recente costruzione, edifici per abitazioni e di servizio, terziari, scuole, ecc.) e cercando di ottimizzare l'efficienza energetica nei suoi caratteri di integrazione, complementarità e sovrapposibilità con il portato esigenziale complessivo dell'edificio.

- In aggiunta al carattere interdisciplinare degli obiettivi multi-beneficio alla scala dell'edificio, occorre anche ricercare soluzioni più efficienti, pulite e sicure per l'ambiente costruito alle diverse scale di intervento (edificio singolo e comparto edilizio urbano) e tali da considerare soluzioni per l'integrazione delle fonti rinnovabili e lo scambio energetico finalizzate al raggiungimento degli standard nZEB o energy plus buildings (anche facendo riferimento alle recenti indicazioni contenute nei PED – Positive Energy Districts, il cui campo di applicazione potrebbe essere quello delle aree dismesse o in trasformazione).

## Impatti

- Miglioramento del contributo del patrimonio edilizio alla de-carbonizzazione dei sistemi energetici ed incremento della resilienza degli edifici rispetto alle esigenze di risparmio energetico e sicurezza.
- Progressiva transizione degli edifici esistenti verso il target energia zero, lungo un percorso spinto di de-carbonizzazione che preveda anche la sostituzione selettiva, in linea con le direttive e le raccomandazioni internazionali.
- Implementazione di nuove tecniche e pratiche di retrofitting degli edifici esistenti, non solo per la nuova edilizia, ma anche per la riqualificazione degli edifici esistenti, il cui parco è numericamente molto più significativo.
- Identificazione di metodi, strategie e soluzioni complessive per la riqualificazione energetica e la de-carbonizzazione degli edifici esistenti declinando le modalità di integrazione e i livelli di trasformazione in ragione della articolata specificità propria degli organismi edilizi (edifici storico-testimonial, edifici di recente costruzione, edifici per abitazioni e di servizio, terziari, scuole, ecc.).
- Disponibilità di soluzioni che considerino gli obiettivi di integrazione, oltre che miniaturizzazione e delocalizzazione nel patrimonio storico e/o con valore testimoniale delle componenti tecnologiche basate sullo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili ed il controllo energetico anche grazie a modalità di scambio tra edifici di diversa tipologia ed uso.
- Integrazione delle tecnologie per il risparmio con la produzione di energia nell'involucro degli edifici, con attenzione alla riduzione dell'invasività dell'intervento.
- Promozione di un approccio multi-beneficio tra sistemi, prodotti e componenti, allo scopo di moltiplicarne l'efficacia, considerando anche benefici non legati alle prestazioni energetiche (comfort complessivamente inteso, sicurezza sismica, isolamento acustico, day-lighting, sicurezza, aumento di valore, attrattività).
- Promozione di soluzioni efficienti, pulite e sicure per l'ambiente costruito alle diverse scale di intervento (edificio singolo e comparto edilizio urbano) e tali da considerare l'integrazione delle fonti rinnovabili, lo stoccaggio e lo scambio energetico in maniera flessibile, efficiente, economicamente attrattiva rispetto agli investimenti pubblici e privati.
- Raggiungimento degli standard nZEB, energy plus buildings, e positive Energy Districts anche negli edifici esistenti e nei comparti in cui sussistano le condizioni di trasformabilità come, ad esempio, nell'ambito delle aree dismesse.

## Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

**AMBITO TEMATICO: Cambiamento Climatico, mitigazione e adattamento** (in particolare, Art. 4. Comprensione, valutazione e previsione degli impatti del cambiamento climatico su ambienti naturali e costruiti, sulla salute, sul benessere e sulla coesione delle società e Articolazione 7 – Sviluppo di strategie e azioni per l'attuazione di interventi di adattamento climatico);

**AMBITO TEMATICO: Green Technologies** (in particolare, Articolazione 2: Strategie per una gestione multiplatforma dell'energia elettrica da fonte rinnovabile, basata su stoccaggio e/o conversione in prodotti ad elevato valore aggiunto).



**AMBITO TEMATICO: Patrimonio culturale** (in particolare Articolazione 3. Sviluppo di tecnologie a sostegno del patrimonio diffuso e meno conosciuto e Articolazione 4. Applicazione al patrimonio culturale di nuovi modelli economici per la sostenibilità e la resilienza).

**AMBITO TEMATICO: Cultura-Creatività** (in particolare Articolazione 3. Sostenibilità sistemica di prodotti, processi, servizi).

### Key Performance Indicators (KPI)

Indicatori di riferimento in questo ambito tematico sono:

Indicatori energetici:

- risparmio energetico (in termini percentuali);
- livello di produzione e autoalimentazione da fonti rinnovabili prodotti localmente (on-site);
- livello di scambio dell'energia tra edifici.

Indicatori ambientali:

- Riduzione delle emissioni di gas a effetto serra;
- Riduzione delle emissioni inquinanti nei processi di costruzione, demolizione, ricostruzione.

Indicatori economici

- investimento (up-front cost);
- il ritorno dell'investimento (pay-back time o ROI Return of Investment) Vedi anche quanto citato in Articolazione 1.

## Articolazione 3. Impianti di climatizzazione, indoor air quality e comfort

Il livello di sviluppo raggiunto in Italia dall'impiantistica civile per la climatizzazione degli edifici è certamente significativo, sia dal punto di vista del controllo dei parametri fisici indoor (temperatura e umidità relativa dell'aria, velocità e direzione dei flussi d'aria indotti dalla ventilazione meccanica, filtrazione e ricambi d'aria, oltre alla salubrità e gradevolezza dell'aria percepita dagli occupanti), che dal punto di vista dell'efficienza energetica dei sistemi. Questi importanti risultati devono oggi confrontarsi con le nuove sfide determinate dall'emergenza sanitaria indotta dalla pandemia da CoVid-19: tali sfide impongono un salto di qualità alle prestazioni degli impianti di climatizzazione che, inevitabilmente, impatta con le loro prestazioni energetiche e, di conseguenza, con gli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione che le direttive internazionali suggeriscono per gli edifici.

Infatti, nonostante le ricerche di natura clinica ed epidemiologica concernenti il CoVid-19 stiano registrando una sensibile impennata in tutto il mondo, deve essere registrato un certo deficit di indagini verso un aspetto estremamente importante che coinvolge la salubrità e la sicurezza delle persone nei loro ambienti di lavoro e di vita. Per gli ambienti di lavoro, nei quali si svolgono attività del terziario, o commerciali (ma, in parte anche per gli edifici residenziali), occorre mettere in atto un profondo sforzo di ricerca volto a progettare ex-novo, o riqualificare, i sistemi di ventilazione e climatizzazione per adeguarli alle nuove esigenze imposte dalla pandemia - e, in genere, da eventuali altre epidemie -, e per rendere gli edifici maggiormente resilienti nei confronti di eventuali future situazioni di rischio sanitario.

D'altra parte, le mutate situazioni che coinvolgono le distanze interpersonali da mantenere, per un tempo ancora non quantificabile, richiedono una profonda riflessione sui sistemi di ventilazione e climatizzazione dei mezzi di trasporto, che appaiono allo stato poco consoni ai nuovi requisiti che si vanno imponendo in tutto il mondo.

Inoltre, l'Italia, con la sua forte aliquota di prodotto interno lordo generata dal turismo, è particolarmente interessata a queste innovazioni, che renderebbero più rassicuranti e, pertanto, più attrattivi sia il parco edilizio destinato alla ricettività, che i mezzi di trasporto con i quali i turisti si muovono per il Paese.



Infine, e ancora con preciso riferimento al CoVid-19, un attento ripensamento deve riguardare gli edifici del parco clinico e sanitario del Paese, in ordine ai metodi di progettazione e realizzazione degli impianti di ventilazione, climatizzazione e sanificazione di ambienti e percorsi destinati al flusso di pazienti e personale sanitario interessati dalla presente (ma non solo) epidemia.

Chiaramente, la progettazione e la realizzazione di siffatti sistemi implica un costo energetico che deve essere opportunamente valutato, allo scopo di ottimizzarne le prestazioni anche dal punto di vista economico, sebbene questo aspetto vada certamente commisurato e rapportato a quello prevalente della garanzia della salute degli occupanti. Più in dettaglio, la sfida con la quale confrontarsi consiste nell'evitare che i nuovi requisiti (generalmente *energy demanding*) imposti da esigenze sanitarie e di salubrità vanifichino i progressi che l'impiantistica civile aveva sin qui conseguito in termini di miglioramento dell'efficienza energetica e, indirettamente, di impatto esercitato nei confronti dell'ambiente; la sfida include, ovviamente, anche rinnovate strategie di manutenzione.

In sintesi, è di importanza preminente perseguire l'innalzamento dei livelli di qualità indoor degli edifici - in sintonia con gli obiettivi dell'Agenda 2030 -, alla luce delle esigenze imposte dalle minacce epidemiche.

Il posizionamento della presente articolazione nell'ambito del contesto internazionale della ricerca è principalmente individuabile nell'attenzione che viene suggerita verso ricerche, metodi di progettazione e procedure operative che coinvolgono la qualità dell'aria indoor degli edifici, in relazione alle nuove esigenze imposte dalle emergenze epidemiche, quali il CoVid-19, mantenendo nel contempo una forte attenzione all'efficienza energetica degli impianti.

## Obiettivi

Da tempo, nell'ambito della fisica degli ambienti interni, si studiano la dinamica delle polveri e il loro legame con la qualità dell'aria indoor, le modalità di immissione di aria esterna e le implicazioni termo-fluidodinamiche del trasporto di massa. Occorre però incrementarne il livello di approfondimento, particolarmente nel contesto attuale di mutata consapevolezza rispetto ai rischi epidemici, per indagare in maniera più accurata e puntuale il rapporto tra i terminali di impianto e i rischi sanitari, evidenziando eventuali correlazioni con la diffusione o l'amplificazione di infezioni a trasmissione aerea sostenute da patogeni batterici e virali. La maggior parte dei terminali d'impianto crea infatti movimento dell'aria e quindi facilita lo spostamento negli ambienti indoor di batteri e virus, veicolati sia da droplet che da aerosol; questo fenomeno è altresì condizionato dai livelli di umidità dell'aria interna, mentre l'eventuale ruolo giocato dalla presenza di polveri sottili deve ancora essere confermato. Mediante puntuali indagini CFD è possibile conferire maggiore accuratezza ai criteri che indicano le distanze di sicurezza necessarie, il posizionamento dei terminali in relazione al layout dell'edificio e la loro gestione.

Più in generale, occorre indagare con maggior dettaglio il possibile ruolo degli impianti di condizionamento nella riduzione del rischio di contagio negli ambienti interni e nel rendere più resilienti gli edifici rispetto alle minacce epidemiche. È pertanto necessario indirizzare la ricerca verso la progettazione di sistemi impiantistici in grado controllare opportunamente la movimentazione dell'aria indoor generata dal loro funzionamento, anche in relazione al ricircolo nell'ambiente confinato dell'aria di ripresa ed all'incremento degli attuali livelli di recupero termico.

L'obiettivo, a tal proposito, consiste nel rendere disponibili a progettisti e tecnici nuove procedure di progettazione (per la nuova edilizia) e di retrofitting degli impianti HVAC al servizio degli edifici esistenti, il cui parco è numericamente molto significativo, anche con un'attenzione a soluzioni progettuali che si rivolgano alle tecnologie emergenti basate sulla stato solido.

Oltre al necessario ripensamento delle modalità di funzionamento dei sistemi di climatizzazione, occorre uno sforzo di indagine verso lo sviluppo di sistemi di sanificazione dell'aria degli ambienti chiusi. È pertanto necessario immaginare nuovi prodotti e nuove tecniche di filtrazione che possano avere un'agevole diffusione nell'edilizia residenziale e commerciale. Anche l'uso di lampade UV in funzione battericida può presentare utili sviluppi.

Un'attenzione particolare va certamente posta alle situazioni impiantistiche delle strutture ricettive, che costituiscono un importante asset dell'offerta turistica del paese e la cui qualità condiziona e orienta le scelte dei turisti. Particolarmente, nell'attuale contesto epidemico, le strutture ricettive devono includere nel loro portafoglio dei servizi rivolti all'utenza un particolare riguardo alla limitazione, se non all'azzeramento, delle dinamiche di diffusione



dei virus. Sono certamente richieste, pertanto, ulteriori riflessioni e analisi per orientare più opportunamente la progettazione e la riqualificazione degli impianti di condizionamento (e, più generalmente, di gestione dei parametri indoor) di queste strutture edilizie, tenendo anche in considerazione la climatologia caratteristica dei diversi periodi dell'anno e la durata tipica giornaliera della loro occupazione.

Anche nei confronti degli impianti di condizionamento delle strutture sanitarie, dagli ospedali alle RSA, che pure costituiscono da tempo le frontiere di eccellenza della qualità di tali dispositivi, sono necessarie nuove riflessioni critiche che consentano di individuare più efficaci criteri per la loro progettazione e riqualificazione, con particolare riferimento alle tecniche di ventilazione e movimento dell'aria ("ventilation for infection control"). Anche i filtri attualmente in uso devono essere oggetto di ulteriori ricerche ed indagini, proprio sulla spinta delle nuove esigenze che scaturiscono dalla recente pandemia: infatti la capacità di filtrazione di tali dispositivi sembra mostrare degli importanti limiti tecnologici proprio in relazione alle dimensioni medie del virus, che sono significativamente al di sotto di quelle dei batteri, rispetto ai quali la tecnologia corrente è certamente efficace. Anche alle strutture scolastiche è opportuno dedicare una particolare attenzione poiché rappresentano dei possibili luoghi di diffusione delle infezioni respiratorie.

Queste ricerche coinvolgono ovviamente aspetti che non sono esclusivamente di natura tecnica ma rimandano a problematiche di tipo economico, visto il costo medio di tali apparecchiature.

Accanto allo sviluppo di nuovi sistemi d'impianto, la ricerca e la tecnologia dovranno essere in condizioni, nel breve e medio periodo, di rendere disponibile una nuova e più sofisticata sensoristica per il monitoraggio ed il controllo dei parametri fisico-chimici degli ambienti interni, anche in relazione alle richieste di comfort e di salubrità che provengono da un'utenza sempre più accorta ed esigente. A questi sensori è richiesto di rilevare con continuità ed accuratezza i valori dei parametri termoigrometrici e di qualità dell'aria interna, allo scopo di pilotare opportunamente gli impianti, in stretta relazione con l'utenza e con le modalità operative dei *supplier* che riforniscono di energia gli edifici del residenziale e del terziario. In altri termini, deve essere approfondito il ruolo che possono giocare la diffusione spinta dei dispositivi e delle tecnologie ICT nei sistemi edificio-impianto-utenza (l'ambito di pertinenza dell'*Internet of Things*), l'incremento dei livelli di qualità degli ambienti interni e la conoscenza *on-time* da parte degli utenti dei dati concernenti le condizioni indoor, sia termiche che di IAQ. Questo coinvolgimento attivo dell'utenza, indotto dall'utilizzo di tecnologie ICT, potrebbe altresì essere utilmente speso per consentire agli occupanti degli edifici di essere raggiunti ed interpellati da un sistema sanitario "di prossimità" che si ponga come obiettivo la salubrità degli ambienti indoor (Impatto EU2: "living and working in a health providing environment), conferendo un'ulteriore caratteristica di *smartness* agli edifici.

Sono altresì auspicabili soluzioni concernenti la scelta dei materiali per le superfici interne dell'involucro edilizio, possibilmente caratterizzati da bassi impatti ambientali (carbon intensity), da un contenuto consumo di materiali (material intensity), anche in relazione al tempo medio di persistenza del virus sulla loro superficie. Questo fronte di ricerca, rivolto a materiali bio-inspired, contribuirebbe a sincronizzare le esigenze di igiene molto spinte imposte dal Covid-19 (e da altre infezioni) con quelle dettate dall'Agenda 2030 in materia di energia, ambiente e sostenibilità dei Paesi Membri della U.E.

I mezzi di trasporto, particolarmente quelli pubblici, costituiscono un importante elemento di sviluppo dell'economia del paese, soddisfacendo la richiesta di mobilità dei cittadini, attraverso la quale si esplicano molte delle attività economiche della nazione. Naturalmente, il necessario distanziamento interpersonale è di difficile applicazione nei mezzi di trasporto, specialmente in orari di punta che interessano alcune importanti categorie di categorie di viaggiatori, come i pendolari. Ma anche gli spostamenti per ragioni ludiche o turistiche, che avvengono in buona parte tramite il sistema pubblico di trasporto, devono avvenire in condizioni di sicurezza sanitaria sia per le fondamentali ragioni legate alla salute delle persone che, indirettamente, per la maggiore o minore attrattività che mezzi di trasporto più o meno controllati dal punto di vista delle probabilità di diffusione delle infezioni possono indurre. A tal proposito, un aspetto particolare del quale la ricerca deve farsi carico è certamente costituito dal trasporto aereo, con le sue complesse esigenze specifiche di qualità dell'aria all'interno degli aeromobili. È, in sintesi, necessaria una profonda revisione critica degli impianti HVAC e IAQ installati nei sistemi di trasporto (pubblici, ma anche privati) ed



una intensa attività di ricerca volta alla progettazione di una nuova impiantistica rivolta al trattamento dell'aria in tali mezzi.

Questo approccio è inoltre allineato con gli obiettivi previsti nell'ambito di Horizon Europe (e, in particolare, con gli ambiti Clean Aviation e Integrated Air Traffic Management).

Se un incremento dei ricambi d'aria negli ambienti viene giustamente considerato uno strumento fondamentale di contrasto ai virus, permettendo una riduzione della concentrazione virale negli ambienti interni, va però rimarcato che il raggiungimento ed il mantenimento di elevati standard di efficienza energetica e ventilazione negli impianti, in linea con le nuove esigenze sanitarie, implica dei costi energetici, sia in fase di realizzazione che di gestione corrente, che potrebbero risultare poco sostenibili. Pertanto, accanto allo sforzo di ricerca necessario ad innovare l'impiantistica indoor, occorre perseguire soluzioni che siano economicamente sostenibili, anche in ragione dell'elevato numero di dispositivi da installare sul territorio nazionale.

### Impatti

- Contributo all'incremento della resilienza degli edifici, sia nei riguardi delle presenti e future minacce epidemiche, grazie all'innalzamento del livello di sicurezza e salubrità degli ambienti indoor, che dal punto di vista della elasticità di risposta della nuova impiantistica alle variazioni temporali delle condizioni di approvvigionamento energetico.
- Contributo ad una maggiore sincronizzazione dei sistemi edificio-impianto con gli obiettivi di decarbonizzazione, in linea con le direttive e le raccomandazioni internazionali (Direttiva Europea 844/2018).
- Contributo al rinnovamento del parco edilizio italiano ed alla trasformazione degli edifici in nodi attivi di smart grid, anche con una crescente interfacciabilità con il sistema di mobilità urbana.

### Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

L'articolazione presenta marcate interconnessioni con molti ambiti tematici del PNR. Tra questi, tutti i sotto-ambiti del tema "Clima, Energia, Mobilità sostenibile". Esiste inoltre una connessione con il sotto-ambito "Patrimonio culturale" della tematica "Cultura umanistica, Creatività, Trasformazioni sociali, Società dell'inclusione".

### Key Performance Indicators (KPI)

Gli edifici, e le loro prestazioni fisiche indoor, si rivolgono ad un panorama di utenza molto vasto e articolato: si va dagli occupanti ed ai proprietari degli immobili, ai tecnici e progettisti del settore dell'edilizia, ai provider dei servizi energetici, ai pianificatori ed urbanisti, ai decisori politici. Pertanto, gli indicatori di prestazione devono intercettare le sensibilità e gli interessi di queste variegate categorie. Sinteticamente, possono individuarsi alcuni KPI per ciascuna categoria, come segue.

Tecnici e progettisti del settore dell'edilizia:

- Sviluppo di modelli di simulazione degli edifici che includano la previsione dei livelli di sicurezza;
- Sviluppo di modelli e procedure per il retrofitting degli impianti di climatizzazione.

Provider dei servizi energetici:

- Sviluppo di dispositivi di interfaccia con l'utenza relativi ai consumi energetici istantanei e medi degli edifici, anche in relazione alle loro eventuali autoproduzioni energetiche.

Pianificatori ed urbanisti:

- Sviluppo di metodi per la valutazione del livello di *greening* raggiunto da singoli immobili e da cluster di edificio.

Decisori politici:



- Sviluppo di metodi per la valutazione del grado di *complying* del settore con le linee-guida nazionali ed internazionali di decarbonizzazione e sostenibilità (Action Plan e Green Deal).

## Articolazione 4. Occupant behaviour: models and impacts

Per raggiungere l'obiettivo di far sì che il funzionamento degli edifici diventi più sostenibile e contribuisca in modo sostanziale alla de-carbonizzazione grazie alla riduzione dei consumi energetici, non è possibile prescindere dal ruolo svolto dagli occupanti. È chiaro infatti che prestazioni potenzialmente anche molto elevate dell'involucro e gestione anche molto sofisticata degli impianti di climatizzazione possono essere vanificate da comportamenti non corretti o addirittura irresponsabili. Peraltro, comportamenti inadeguati possono certamente essere favoriti e/o indotti da modalità di gestione inidonee ad interagire con l'utente: a titolo di esempio si cita la situazione, frequente nel passato, in cui la ripartizione delle spese di riscaldamento nei condomini era basata sui millesimi di proprietà e la struttura dell'impianto era tale per cui risultava impossibile dosare la potenza termica erogata ai singoli ambienti con il risultato che, specie negli appartamenti situati nei piani intermedi, la temperatura dei locali veniva talvolta regolata aprendo le finestre! A questa situazione sta ponendo rimedio la legislazione e la normativa ad esempio con l'obbligo di contabilizzazione separata per unità immobiliare dei consumi di riscaldamento e di acqua calda sanitaria o con quello di dotare le unità terminali di sistemi di regolazione (es. valvole termostatiche nei radiatori) per limitare il surriscaldamento degli ambienti. Resta però il fatto che l'interazione con l'utente finale è ancora insoddisfacente e anche le innovazioni sopra citate non sono sempre comprese ed accettate. Una forte limitazione all'efficacia delle suddette misure deriva dal fatto che l'addebito delle spese relative ai consumi energetici arriva con notevole ritardo (alcuni mesi) rispetto al periodo in cui i consumi stessi si sono verificati e spesso non è possibile capire facilmente come i consumi vadano suddivisi tra il riscaldamento dei vari ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria. Il meccanismo di feed-back è quindi sostanzialmente inadeguato, basti il confronto con le automobili nelle quali, ormai da molti anni, il consumo **istantaneo** di carburante viene chiaramente segnalato al conducente. Anche per quanto riguarda i consumi elettrici il messaggio che è stato passato agli utenti è quello di un tariffa multioraria rigida con costi diurni più elevati e notturni e festivi più bassi, rinunciando ad abituare (progressivamente) gli utenti ad interagire con la rete in un modo più coerente con la situazione reale: come già ricordato diventerà in futuro indispensabile la gestione dei consumi energetici dal lato della domanda.

Quanto sopra illustrato pone due problemi principali a cui l'attività di ricerca deve dare risposta: da un lato occorre individuare il modo migliore con il quale interagire con gli utenti stimolando un comportamento virtuoso, dall'altro vi è la necessità di disporre di modelli che consentano di studiare e prevedere il comportamento degli utenti al fine di "incorporare" lo stesso nella progettazione dei sistemi di climatizzazione al fine di ridurre i possibili effetti negativi (ovvero di realizzare sistemi cosiddetti "robusti" che entro certi limiti possano tollerare comportamenti inadeguati).

Per quanto riguarda il primo aspetto, il punto chiave è l'**interazione** con gli utenti: questa richiede che vengano fornite agli utenti informazioni sia in tempo reale (consumi istantanei) che in forma di serie storica facilmente esplorabile (consumi dei giorni, settimane e mesi passati) e che all'utente venga data la possibilità di gestire in maniera semplice la climatizzazione modificando orari di funzionamento e temperature a livello di singolo locale. Tale interazione deve avvenire in modo semplice ed ergonomico senza richiedere procedimenti astrusi difficilmente comprensibili: è evidente che sensoristica, sistemi di regolazione, IOT, accesso remoto via internet debbono essere messi in campo in modo integrato per raggiungere questo scopo.

Quanto sopra richiede anche l'agevole disponibilità delle informazioni relative ai consumi che debbono essere raccolte, registrate e messe a disposizione degli utenti, nel rispetto delle normative relative alla privacy ma senza ostacoli burocratici e contrattuali. Inoltre vanno messi a disposizione degli utenti anche termini di confronto che consentano di capire la propria collocazione in modo da aumentarne la consapevolezza e stimolare la competizione (gamification) per il raggiungimento di migliori risultati. Ma richiede anche un'adeguata formazione degli utenti stessi

L'altro aspetto rilevante è lo sviluppo di modelli che consentano di correlare il comportamento degli utenti con il contesto: il microclima interno, le condizioni climatiche esterne, il livello di interazione possibile con il sistema



edificio impianto, la qualità delle informazioni disponibili e la formazione ricevuta: dovrebbe essere ovvio che tale attività di ricerca richiede la disponibilità di grandi quantità, dati, sia pure in forma aggregata.

## Obiettivi

Gli obiettivi principali della linea di ricerca sono:

- Strumenti di controllo semplici, affidabili e leggibili che forniscano informazioni sui consumi e la qualità globale dell'ambiente indoor e con i quali l'utente possa interagire in maniera intuitiva e veloce.
- Ricerca di soluzioni sistemiche che possano favorire comportamenti virtuosi, attraverso la promozione di forme e strumenti per produrre dati certi ed affidabili (supply-side), e di facile accesso e comprensione per gli utenti (demand-side).
- Sviluppo di strumenti di dialogo tra HVAC e ICT (smart meters, storage, ecc.) per la loro corretta e migliore interazione con gli utenti/abitanti in forma singola e associata (condomini e comunità). Ricerca di modalità "user-friendly", accessibili, attraenti ed economiche per favorire l'adattamento ambientale negli spazi confinati, la qualità dell'aria, lo sfruttamento dell'illuminazione naturale e la relazione proattiva tra utente ed edificio, allo scopo di favorire ed accelerare la transizione energetica.
- Fornire analisi e raccomandazioni per coinvolgere e responsabilizzare efficacemente i cittadini nella partecipazione alla transizione verso l'energia pulita, dalla pianificazione al processo decisionale, all'attuazione. I risultati della ricerca possono anche contribuire ad elaborare le strategie di transizione a livello più elevato.
- Gestione attiva dei sistemi di acquisizione dei dati di supervisione e della sensoristica, anche attraverso opportune azioni di formazione, oltre che di tecniche di "gamification", applicazioni software sui dispositivi personali, ecc.;
- Modelli statistici del comportamento degli utenti e tecnologie per ottenere edifici resilienti.

## Impatti

- Disponibilità di dati e modelli affidabili sul comportamento del cittadino, nel suo ruolo di "consumer", come ricettore dei servizi energetici, ma anche di "prosumer", quale entità che partecipa attivamente al processo di condivisione energetica. Tali conoscenze sono fondamentali per promuovere e verificare come evolve negli edifici l'efficienza energetica, la diffusione delle energie rinnovabili, la digitalizzazione e il funzionamento intelligente degli edifici, anche per promuovere l'autoconsumo a livello singolo e di comunità, diretto o mediato dagli accumuli.
- Disponibilità di tecnologie ICT in grado di portare gli utenti alla piena consapevolezza e di attivare, anche con modalità real-time, comportamenti pro-attivi da parte degli utenti stessi con l'obiettivo di una gestione consapevole ed informata dei consumi energetici, del comfort degli ambienti interni e della loro salubrità e della produzione di energia.
- Contributo alla riduzione dei consumi energetici ed alla ottimizzazione della interazione tra edifici e reti energetici grazie al comportamento virtuoso di una quota crescente di utenti.

## Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

- Trasformazioni sociali, società dell'inclusione
- Transizione Digitale
- High Performance Computing, Big Data
- Intelligenza Artificiale

## Key Performance Indicators (KPI)

- Numero di Installazioni di sistemi "friendly" per la gestione e la verifica delle condizioni indoor e del livello di sicurezza degli edifici.



- Numero di Installazione di sistemi per il monitoraggio dei consumi energetici per i quali è disponibile il feedback agli utenti.
- Impatto (in diminuzione) sui consumi energetici a seguito di installazione di sistemi informativi e voluti ed azioni di formazione dell'utenza.
- Messa a Disposizione di dati disaggregati relativi ai consumi energetici correlati ai sistemi di contabilizzazione.
- Disponibilità di modelli validati sul comportamento dell'utenza.

## Articolazione 5. Better data and models for optimizing the building performance

Il miglioramento dell'efficienza energetica e più in generale della sostenibilità dei centri urbani e sub-urbani non è solo una problematica di ottimizzazione tecnico-economica ma ha le caratteristiche di un problema decisionale non strutturato che coinvolge a più livelli decisori, progettisti e cittadini. In questo caso, tanto i dati di input del problema, ossia lo stato attuale delle caratteristiche delle utenze (edifici), delle infrastrutture di rete e dei sistemi di generazione di energia, quanto le metodologie per la sua risoluzione hanno un forte grado di indeterminazione che rende difficile definire efficaci programmi di implementazione diffusa di smart energy communities. Due sono gli elementi che si possono considerare chiave per rendere concreto un piano per la trasformazione urbana e l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche globali: da un lato la disponibilità e il grado di condivisione di dati reali e dall'altro le metodologie di modellazione e analisi dei risultati.

Lo sforzo della ricerca scientifica quindi deve essere incentrato sia nello studio e sperimentazione di tecnologie sempre più efficienti e capaci di integrarsi nell'ambiente costruito garantendo una continua condivisione della conoscenza orientata tra gli attori del processo di trasformazione urbana e, sia nella definizione di metodologie e strumenti a supporto della progettazione e gestione del sistema complesso. Queste due linee di ricerca sono quelle definite nell'articolazione in oggetto.

Più in dettaglio, con riferimento al primo aspetto, una delle sfide più importanti per la ricerca scientifica è lo sviluppo di metodologie e strumenti per definire la conoscenza (sistemi di monitoraggio, supervisione, previsione, controllo) che, pur limitando i costi per il reperimento e l'analisi dei dati, possano supportare i decisori nella definizione di molteplici scenari di riqualificazione degli edifici esistenti e di miglioramento della sostenibilità urbana. Allo stesso tempo la ricerca dovrà essere focalizzata sullo studio di modelli per la gestione delle informazioni che mediante la valutazione dell'interconnessione di diversi fenomeni fisici o situazioni consentano la partecipazione allargata di tutte le diverse tipologie di utenti del sistema urbano per ottimizzare le prestazioni energetiche globali. Di particolare interesse è lo studio delle potenzialità delle emergenti tecnologie per il monitoraggio ambientale e lo studio di metodologie di coinvolgimento diretto dell'utenti basate su interfacce di rappresentazione dell'informazione e sul feedback via web, su smart meters oppure tramite pratiche partecipative più tradizionali che favoriscano la creazione di un flusso informativo bidirezionale. La sensoristica può essere un efficace strumento di monitoraggio delle condizioni ambientali e delle prestazioni di un campione rappresentativo di utenze al fine di calibrare i modelli di calcolo previsionali delle prestazioni o aumentare l'efficienza della smart grid tramite l'ottimizzazione della regolazione di impianti e reti in tempo. La definizione dei protocolli di acquisizione e di elaborazione delle informazioni disponibili è uno dei punti cruciali per la sostenibilità energetica su larga scala, la ricerca scientifica dovrà essere orientata a definire una infrastruttura di dati orientata all'efficienza energetica del patrimonio immobiliare e, più in generale, al supporto di strategie di rigenerazione urbana, basata su un set di dati e delle procedure di rilievo comuni, capace di un approccio multi scalare che supporti il dettaglio del singolo edificio ma che possa essere generalizzato a scale più ampie.

Invece, il secondo aspetto riguarda l'utilizzo di strumenti complessi per la progettazione energetica sia con riferimento alle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianti che alla configurazione di una smart grid. In questo campo la ricerca scientifica sarà focalizzata sulla messa a punto di metodologie di ottimizzazione multi-obiettivo applicabili al singolo edificio e alla macro-scala urbana volte a definire scenari prestazionali potenziali attraverso l'implementazione di molteplici misure per l'efficienza energetica e per lo sfruttamento delle fonti



energetiche rinnovabili. L'analisi a più livelli dei dati acquisiti dovrebbe essere inoltre finalizzata allo studio del comportamento degli utenti (occupanti degli edifici ma anche gestori delle infrastrutture) in modo da creare modelli rappresentativi da implementare negli strumenti di calcolo e di valutare quale incidenza questi abbiano nello scostamento tra prestazioni attese e reali. La disponibilità di modelli affidabili consentirà lo studio di configurazioni progettuali molteplici alle quali andrà associata un'analisi del ciclo di vita.

Inoltre molto importante sarà la definizione e lo sviluppo di metodologie Rule Based e/o Model Predictive per la regolazione efficiente degli impianti di climatizzazione ambientale e controllo del microclima indoor, in base alle previsioni delle condizioni climatiche esterne e del comportamento ed esigenze degli occupanti o per la gestione dei sistemi di accumulo abbinati agli impianti in base alla maggiore convenienza tecnico-economica.

Infine i modelli dovranno supportare strategie ottimali per la manutenzione degli edifici e degli impianti.

## Obiettivi

Gli obiettivi principali della linea di ricerca sono:

- Definizione di sistemi di monitoraggio, supervisione, previsione, controllo ed interazione multilivello, dalla comunità energetica nel suo complesso, allo smart metering e decision making di singolo edificio e singola utenza.
- Sovrapposizione di una rete di ottimizzazione, controllo e gestione alla rete fisica, mediante modelli dinamici di singoli sistemi e meta-modelli della comunità complessa nella sua interezza.
- Sviluppo di opportune regole di associazione, atte ad interpretare relazioni tra fenomeni, e quindi consentirne supervisione, controllo di funzionamento, ma anche determinare l'entità di una risposta o anche operare una scelta tra la pluralità di quelle possibili.
- Sviluppo di specifici ed accurati modelli dinamici dei nodi (anche mediante digitalizzazione BIM dell'ambiente costruito), e meta-modelli e modelli surrogati del sistema complesso (la rete e la comunità), tra loro complementari.
- Metering (smart), livelli di comfort, interazione con l'utente finale (interfaccia) ed effettiva influenza su comportamento e accettazione.
- Sviluppo di Modelli di controllo predittivo degli eventi dovranno essere integrati nel sistema di gestione, analizzando moltitudini di informazioni (big data), nel rispetto della privacy di ciascun individuo nella comunità.
- Analisi della sensibilità dei modelli di calcolo rispetto alle incertezze dei parametri in ingresso ed al comportamento degli utenti.
- Indagine sul "performance gap" tra prestazioni previste ed attese e validazione dei modelli di calcolo e verifica delle prestazioni utilizzati nella normativa tecnica.
- Modelli e strumenti per l'ottimizzazione multi-criterio e multi-obiettivo della prestazione complessiva degli edifici sia in fase di progettazione (di nuovi edifici e di interventi di riqualificazione) che di gestione (incluse le strategie manutentive).
- Strategie di regolazione evolute - Rule Based e/o Model Predictive - che consentano di sfruttare al meglio i sistemi di accumulo, di vettori energetici termico e elettrico, in funzione delle condizioni climatiche (attuali e previste) e di carico e domanda, ottimizzando l'autoconsumo della conversione da rinnovabili, mediante continua interazione con le reti multi-vettore (e.g., elettricità, fluidi termovettori per riscaldamento e raffrescamento).
- Strumenti affidabili per l'elaborazione di scenari energetici e complementarietà nella gestione delle scelte alle diverse scale temporali, dallo specifico momento della giornata, alla stagione, al ciclo di vita, dal punto di vista dei costi e dell'impatto ambientale (e.g., Life Cycle Cost e Life Cycle Assessment), del contributo alla riduzione dell'impatto sulle risorse naturali (impronta di carbonio), dello sviluppo delle biodiversità nei contesti urbani, delle esigenze dell'utente, dell'accessibilità e della sicurezza.



## Impatti

La raccolta sistematica e partecipata dei dati sulle prestazioni del sistema edificio-impianti e delle infrastrutture energetiche è essenziale per ridurre tanto i tempi quanto i costi necessari per incrementare l'efficienza e la sostenibilità del settore civile. In questo senso i principali impatti attesi dalle linee tematiche proposte sono:

- Rendere disponibili le tecnologie e le conoscenze socio-economiche necessarie per raggiungere la piena decarbonizzazione del patrimonio edilizio entro il 2050 attraverso l'efficienza energetica, le energie rinnovabili, la digitalizzazione e il funzionamento intelligente degli edifici, tenendo conto delle esigenze degli utenti.
- Fornire analisi e raccomandazioni per coinvolgere e responsabilizzare efficacemente i cittadini nella partecipazione alla transizione energetica, dalla pianificazione al processo decisionale e alla sua attuazione.

## Interconnessioni con altri Ambiti Tematici

- Energetica Industriale
- Transizione Digitale

## Key Performance Indicators (KPI)

Gli indicatori di prestazione devono consentire la valutazione delle prestazioni del sistema in maniera efficace alla comunicazione ad utenti con diversi livelli di competenza tecnica e dunque per gli occupanti degli edifici interessati a ridurre consumi e costi, per i progettisti che si occupano di confrontare possibili nuove configurazioni o per i gestori che prendono decisioni circa la gestione della rete.

A livello degli occupanti degli edifici indicatori di prestazione importanti sono:

- il livello di consapevolezza in termini di consumi/ curve di carico;
- la capacità di comunicare con il sistema di monitoraggio per decidere le utenze da mantenere attive;
- la riduzione della domanda di picco e dei consumi nonché delle emissioni associate al funzionamento degli edifici.

Con riferimento ai progettisti e gestori, gli indicatori di prestazione sono:

- il numero (frequenza) di scambi di informazioni tra i diversi sottosistemi o utenti delle reti;
- i tempi connessi all'elaborazione dei dati associati per tipologia di utenze o di sottosistemi;
- i costi connessi all'acquisizione ed elaborazione dei dati associati per tipologia di utenze o di sottosistemi;
- il livello di infrastrutturazione delle reti per lo scambio di informazioni e la visualizzazione dei dati;
- l'affidabilità dei modelli di simulazione mediante valutazione post-occupancy.

