

Ministero dell'Università e della Ricerca

Programma Nazionale di Ricerche in Antartide



**Programma Nazionale di Ricerche in Antartide
per il triennio 2024-2026**

A cura della Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide

Roma, 7 maggio 2024

PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE

PNRA - Programmazione strategica per il triennio 2024-2026

Sommario

La Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide.....	5
1. Premessa	6
1.1 Il Sistema del Trattato Antartico	8
2. Le grandi sfide scientifiche globali, la ricerca polare nei prossimi anni	10
2.1 Questioni globali e ricerca polare	10
2.2 Le strategie internazionali per la scienza e la logistica in Antartide	11
2.2.1 La scienza	11
2.2.2 La logistica	14
3. Le linee strategiche del PNRA	15
3.1 Le iniziative internazionali a carattere scientifico	15
3.2 APECS - I giovani ricercatori per l'Antartide.....	20
3.2.1 Piano triennale dell'Associazione dei Giovani Ricercatori Polari in Italia (APECS Italia)	20
3.3 Le iniziative verso la costituzione di un'entità polare nazionale.....	22
4. Infrastrutture di supporto.....	23
4.1 Infrastrutture di supporto e operatività in Antartide	23
4.1.1 Le infrastrutture antartiche oggi	23
4.1.2 La capacità scientifica delle infrastrutture.....	25
4.1.3 Le prospettive di rinnovo e potenziamento	26
4.1.4 Aviopista a Boulder Clay.....	28
4.1.5 Collaborazione con l'Istituto Idrografico della Marina.....	28
4.1.6 I compiti scientifici, organizzativi, informativi e divulgativi del CNR.....	28
4.2 Grandi Infrastrutture di Campagna	29
5. Le linee scientifiche prioritarie del PNRA per il triennio 2024-2026- Le grandi tematiche	30
5.1 Interazioni Terra/Ghiaccio/Clima	30
5.1.2 Le dinamiche oceanografiche.....	30
5.1.3 Le dinamiche delle Calotte	31
5.1.4 Le interazioni tra la Litosfera e le Calotte	32
5.1.5 Le dinamiche Atmosferiche e Climatiche	32
5.1.6 Le dinamiche paleoclimatiche.....	33
5.1.7 Gli approcci scientifico-metodologici	34
5.1.8 Contesto Internazionale di riferimento	35
5.2 La vita in Antartide.....	36
5.2.1 Evoluzione, adattamento, biodiversità	36
5.2.2 Priorità per la biologia antartica	38

5.2.3	Approcci scientifico-metodologici	38
5.2.4	Il contesto internazionale di riferimento	38
5.3	Astronomia, astrofisica e space weather	39
5.3.1	Priorità scientifiche	40
5.3.2	Approcci scientifico-metodologici	40
5.3.3	Il contesto internazionale di riferimento	41
5.4	Impatto antropico e contaminazione ambientale	41
5.4.1	Priorità scientifiche	42
5.4.2	Approcci scientifico-metodologici	43
5.4.3	Il contesto internazionale di riferimento	43
5.5	Biomedicina e psicologia	43
5.5.1	Priorità scientifiche	44
5.5.2	Approcci scientifico-metodologici	45
5.5.3	Il contesto internazionale di riferimento	45
6.	Il sistema degli osservatori permanenti	45
7.	Tecnologia in Antartide	48
7.1	Tecnologia per l'ambiente	48
7.2	Collaborazione con le Agenzie Spaziali	48
7.3	Le piattaforme autonome per la ricerca scientifica	48
7.4	Aereo multiplatforma	48
7.5	Sistemi di comunicazione e trasmissione dati	49
7.6	Telerilevamento	49
7.7	L'intelligenza artificiale in Antartide	49
7.8	Sistemi di controllo termico e criogenico	49
8.	Specificità e diversificazione dei bandi pubblici per nuove proposte di ricerca	49
9.	Antartide e Società civile	51
9.1	Le ricadute delle attività della ricerca antartica come benefici per la Società	51
10.	Infrastrutture di supporto alla ricerca in Italia	51
10.1	Sorting Center - Museo Nazionale dell'Antartide "Felice Ippolito"	51
10.2	Il Sistema Interlaboratorio Antartico	52
10.3	Sistema di raccolta e diffusione dei dati	52
10.3.1	National Antarctic Data Center	52
10.3.2	Metodi di raccolta dei dati e metadati	52
10.3.3	Disponibilità dei dati per il PNRA e per la comunità internazionale	53
11.	Organismi nazionali e internazionali	54
11.1	Organismi nazionali	54
11.2	Organismi internazionali	54
12.	Previsione del fabbisogno finanziario	55
13.	Glossario, acronimi e siti internet	57

La Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide

nominata con Decreto MUR n. 181 del 30 marzo 2023,
Ministero dell'Università e della Ricerca, Largo Antonio Ruberti, 1 - 00153 Roma
<https://www.pnra.ag.it/csna> onofri@unitus.it

Silvano Onofri (Presidente)	Università degli Studi della Tuscia	Ministro dell'Università e della Ricerca	<i>onofri@unitus.it</i>
Giorgio Budillon (Vice Presidente)	Università Parthenope di Napoli	Ministro dell'Università e della Ricerca	<i>giorgio.budillon@uniparthenope.it</i>
Vincenzo Di Felice	Ministero dell'Università e della Ricerca	Ministro dell'Università e della Ricerca	<i>vincenzo.difelice@miur.it</i>
Elisa Mantelli	Università della Tasmania	Ministro dell'Ambiente e della sicurezza energetica	<i>elisa.mantelli@utas.edu.au</i>
Emilia La Nave	Consiglio Nazionale delle Ricerche	Dipartimento per la trasformazione digitale	<i>emilia.lanave@isc.cnr.it</i>
Daniele Bolzoni	Stato Maggiore Difesa	Ministro della Difesa	<i>quarto.log@smd.difesa.it</i>
Anna Maria Fioretti	Consiglio Nazionale delle Ricerche	Ministro degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale	<i>anna.fioretti@igg.cnr.it</i>
Roberto Danovaro	Università Politecnica delle Marche	Conferenza dei Rettori delle Università Italiane	<i>r.danovaro@univpm.it</i>
Carlo Barbante	Istituto di Scienze Polari - Consiglio Nazionale delle Ricerche	Consiglio Nazionale delle Ricerche	<i>barbante@unive.it</i>
Guido Di Donfrancesco	Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente	Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente	<i>guido.didonfrancesco@enea.it</i>
Stefano Urbini	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	<i>stefano.urbini@ingv.it</i>
Silvia Masi	Istituto Nazionale di Astrofisica, Roma	Istituto Nazionale di Astrofisica	<i>silvia.masi@roma1.infn.it</i>
Fausto Ferraccioli	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale	<i>fferraccioli@ogs.it</i>



1. Premessa

Il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA) organizzerà nel 2024 la 40ª spedizione italiana in Antartide, che sarà attuata nella stagione australe 2024-25. Attualmente il PNRA è regolato dal Decreto Interministeriale n. 170 del 20/7/2022, che incarica la Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (CSNA) di elaborare e proporre al Ministro, d'intesa con i soggetti attuatori (CNR, ENEA, OGS), il PNRA triennale, comprensivo delle relative Azioni Esecutive Annuali (AEA).

Nell'urgenza di predisporre l'AEA 2023, dato che la nuova CSNA, nominata con DM n. 181 del 30/3/2023, si è insediata il 16/5/2023, è stato elaborato e proposto al Ministro UR un aggiornamento 2023 del PNRA triennale 2020-2022, comprensivo dell'AEA 2023.

Nel 2024 dovranno anche iniziare le azioni relative al rinnovo e incremento delle capacità scientifiche delle stazioni Mario Zucchelli (MZS) e Concordia, grazie al finanziamento previsto dal DM n. 459 del 10/5/2023.

Nel triennio precedente sono state messe a bando (Bando PNRA 2022) le linee di ricerca:

- A. Campagne oceanografiche nell'Oceano Meridionale a bordo della nave italiana Laura Bassi;**
- B. Progetti di ricerca presso la stazione Mario Zucchelli;**
- C. Attività di raccolta e diffusione di dati di osservatori permanenti esistenti;**
- D. Attività di raccolta e diffusione di dati di osservatori permanenti di nuova istituzione;**
- E. Progetti di ricerca da svolgere su piattaforme fisse e mobili di altri paesi.**

La copertura finanziaria per € 6.440.000,00 è stata assicurata dalla disponibilità sui fondi dei Programmi Esecutivi Annuali 2020 e 2021.

Le linee C e D hanno reso operanti 19 osservatori permanenti, che hanno iniziato o continuato la loro attività nella 39ª spedizione; le altre linee (A, B, E), recentemente approvate in via definitiva, troveranno esecuzione durante le campagne 2024-2025 e 2025-2026.; sono stati finanziati 7 progetti di ricerca nella linea A (N/R "Laura Bassi"), 8 progetti nella linea B (MZS) e 7 progetti nella linea E, che saranno eseguiti in piattaforme straniere. Ne consegue che parte delle AEA relative sono vincolate dai progetti approvati nel Bando 2022.

Come risulta chiaro, il numero di progetti approvati e finanziati è drasticamente diminuito rispetto al passato e questo dovrà far decrescere anche il numero del personale coinvolto nelle spedizioni e il costo relativo. Sarà opportuno anche rivedere il meccanismo delle diarie antartiche e prendere in esame una possibile riduzione delle stesse, soprattutto nel progressivo aumento in relazione ai giorni di permanenza in Antartide e il conteggio delle stesse in dollari.

Si noti che tutti i progetti nelle linee A ed E che hanno raggiunto nella valutazione la soglia minima di 50 punti hanno ricevuto il finanziamento; nella linea B numerosi progetti sopra soglia non hanno potuto essere finanziati per esaurimento del budget a bando. La diminuzione del costo complessivo di spedizione è necessaria, stante l'attuale finanziamento, per finanziare i progetti di ricerca ed evitare che il PNRA si limiti ad un programma di sola manutenzione delle infrastrutture.

Per le ricerche a MZS e con la Nave si dovrà predisporre un bando PNRA nel 2025. Nel 2024 sarà necessario predisporre un bando per nuove proposte di ricerca a Stazione Concordia, dato che durante la 40a spedizione, saranno esaurite le attività residue di pochi progetti quadriennali, approvati nel Bando PNRA 2018 e le attività internazionali prioritarie.

Nell'AEA 2023 sono stati riservati ai bandi di ricerca € 3.760.000,00, dei quali 1 milione dovrà essere dedicato al bando PNRA 2024 riservato alle attività a Concordia. Per l'AEA 2024 saranno anche disponibili € 560.000,00, pagati dall'Università di Wellington (NZ), che ha svolto attività nel Mare di Ross nel corso della 39° campagna con la N/R Laura Bassi.

Nell'AEA 2024 dovrebbero essere disponibili almeno € 4.000.000,00, invece dei 2.113.000 euro disponibili, per poter emettere un bando PNRA all'inizio del 2025 da € 7.320.000,00.

Il Programma Nazionale della Ricerca 2021-2027 prevede fondi per il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, prevedendo quindi un finanziamento per il triennio 2024-2026.

Dal 2025 sarà necessario incrementare il finanziamento del PNRA da parte del MUR per poter garantire la regolare pubblicazione di bandi per progetti di ricerca, commisurati alle risorse infrastrutturali e logistiche disponibili.

Il presente PNRA triennale inizia con uno sguardo al quadro internazionale di riferimento, compreso anche l'impegno del nostro Paese, che ospiterà nel 2025 l'*Antarctic Treaty Consultative Meeting* (ATCM), con le riunioni del CCAMLR per la conservazione delle risorse marine e del *Committee for Environmental Protection* (CEP), organizzato dal MAECI, con il sostegno e la partecipazione del PNRA, prevedendo anche l'organizzazione di una Mostra del PNRA.

Lo sguardo si estende fino all'International Polar Year previsto per gli anni 2032-33, che prevede una fase preparatoria durante la quale si dovranno prendere accordi di cooperazione per contribuire poi a svolgere attività con altri paesi.

Segue una descrizione delle infrastrutture disponibili (MZS, Concordia e "Laura Bassi"), con le previsioni di miglioramento e incremento delle capacità scientifiche delle stesse, grazie al finanziamento del citato DM n. 459 del 10/5/2023.

Il 5 e 6 dicembre 2023 si è svolto a Roma il Workshop "Una visione del futuro", dove è iniziata la discussione per la programmazione del PNRA. Si sono formati in quella occasione gruppi di lavoro ampi, aperti e inclusivi per avviare un processo dal basso verso l'alto sul futuro della ricerca italiana in Antartide.

I gruppi di lavoro, coordinati prevalentemente da membri della CSNA, si sono occupati dei seguenti ambiti scientifici indicati dalla CSNA:

- **Interazioni Terra/Ghiaccio/Clima; Oceano, Litosfera e Atmosfera Antartiche**
- **La vita in Antartide; Evoluzione, adattamento, biodiversità e biocenosi**
- **Astronomia, astrofisica e space weather**
- **Impatto antropico e contaminazione ambientale**
- **Biomedicina e psicologia**
- **Tecnologia in Antartide**
- **Sistema di raccolta e diffusione dei dati**

I risultati di questa consultazione sono stati poi forniti alla CSNA, che ha stabilito per i diversi ambiti le priorità scientifiche del PNRA per il triennio, tenendo presente il quadro internazionale, le capacità scientifiche del sistema nazionale, e le infrastrutture e attrezzature di ricerca effettivamente disponibili.

Segue il capitolo degli osservatori permanenti, che saranno attivi per tutto il triennio, ma nelle AEA si ridurrà il personale coinvolto al minimo possibile per garantirne la funzionalità.

Un capitolo dedicato alla tecnologia in Antartide indica i possibili sviluppi di questo importante tema a sostegno della ricerca in Antartide.

Particolare attenzione è riservata al tema della informazione e comunicazione, e al *National Antarctic Data Center* (compiti in capo al CNR), e al Museo Nazionale dell'Antartide. A tal riguardo occorre considerare che nel triennio in questione cadrà il 40ennale del PNRA e tale evento dovrà essere celebrato opportunamente con azioni specifiche che saranno dettagliate nell'AEA di riferimento. Inoltre il Sistema Interlaboratorio Antartico necessita di attenzione per un rilancio.

1.1 Il Sistema del Trattato Antartico

Con l'adesione, nel 1981, dell'Italia al Trattato sull'Antartide (Washington 1 dicembre 1959) e successivi accordi (Convenzione per la Conservazione delle foche Antartiche CCAS; Convenzione per la Conservazione delle risorse marine viventi dell'Antartide CCAMLR; Protocollo per la protezione Ambientale dell'Antartide e suoi annessi) l'Italia è autorizzata a effettuare ricerche scientifiche e tecnologiche in Antartide nel pieno rispetto delle norme previste dal Sistema del Trattato.

Gli adempimenti di carattere internazionale previsti dal Trattato spettano al Ministro degli Affari Esteri e Cooperazione Internazionale (legge n. 284;10 giugno 1985). Il MAECI si avvale di un gruppo di lavoro guidato dal Coordinatore per la partecipazione dell'Italia ai programmi multilaterali riguardanti l'Antartide e coadiuvato da esperti dei settori di interesse.



Il meeting del Trattato Antartico si svolge annualmente con la partecipazione dei rappresentanti dei 56 Paesi membri del Trattato Antartico (29 consultivi e 27 non consultivi), di osservatori ed esperti per un totale di circa 450 presenze. La riunione è organizzata, a rotazione, dai Paesi Consultivi ed ha la durata di circa 2 settimane. Si tratta di un impegno eccezionale per il Paese ospite e di un'opportunità speciale per valorizzare a scala nazionale, oltre che internazionale, il contributo alla ricerca scientifica in Antartide. È previsto che nel 2025 questo impegno spetti all'Italia. Responsabile dell'organizzazione è il MAECI a cui il PNRA fornirà collaborazione e supporto.

Nell'ambito delle attività della CCAMLR, l'Italia è impegnata a supportare la realizzazione di un sistema rappresentativo di aree marine protette (AMP) nell'Oceano Meridionale, sostenendo la creazione di nuove AMP e contribuendo alla gestione dell'Area Marina Protetta della regione del Mare di Ross (RSRMPA), la più estesa al mondo, in vigore dal 2017. Il Comitato Scientifico della CCAMLR auspica il proseguimento degli studi mirati al miglioramento della conoscenza di questo importante ecosistema, continuando a raccogliere dati scientifici funzionali alla valutazione dello stato dell'ecosistema e degli effetti delle misure di protezione.

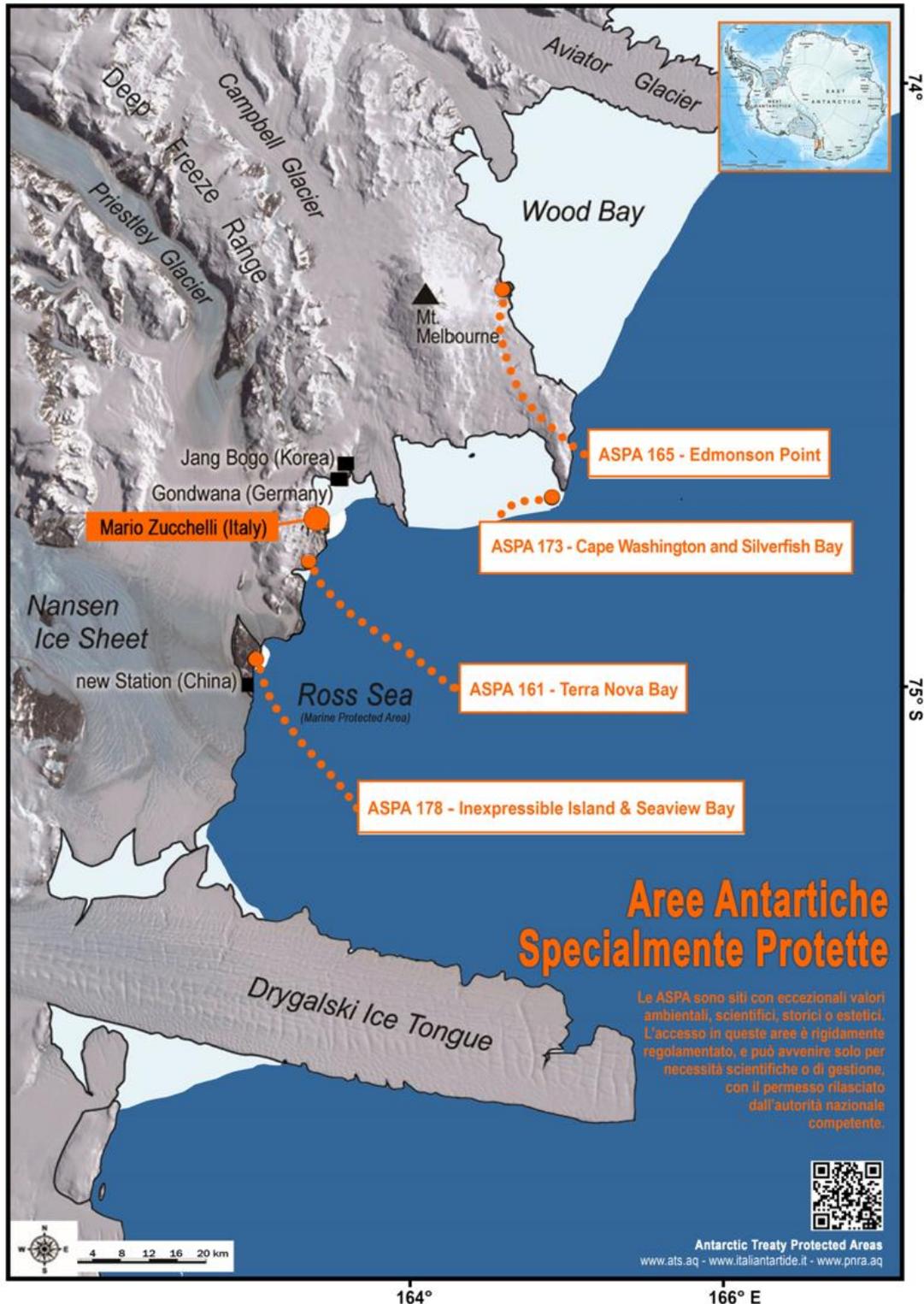
Di estrema importanza sono la valorizzazione dei dati raccolti negli anni passati e la prosecuzione dell'acquisizione di serie storiche di dati, al fine di sviluppare indicatori efficaci per definire la performance dell'AMP. L'AMP è infatti soggetta a revisione quinquennale e, in assenza di dati che ne confermino la necessità e l'efficacia, potrebbe essere ridimensionata o non rinnovata allo scadere di 35 anni dalla sua istituzione.

Va sottolineato che gli studi condotti dall'Italia nell'AMP del mare di Ross hanno offerto al PNRA una occasione unica di rilancio della sua azione di leadership in Antartide, in considerazione delle numerose campagne oceanografiche ivi condotte e delle irripetibili serie storiche di dati acquisite attraverso i suoi osservatori permanenti.

Non a caso Linee specifiche dei recenti Bandi di ricerca 2018 e 2019 furono finalizzate allo sviluppo di studi oceanografici e marini in quest'area. Nel 2022, in occasione della prima revisione quinquennale dell'AMP, l'Italia ha significativamente contribuito agli obiettivi dell'AMP presentando una sintesi dei risultati di 128 pubblicazioni PNRA (periodo 2017-2022) svolte anche nell'ambito di collaborazioni internazionali (per un totale di 24 Paesi coinvolti).

Di particolare rilievo per il contributo del Paese sono risultate le serie storiche di dati degli osservatori marini, le ricerche sulle colonie di pinguini, le osservazioni a lungo termine delle specie ittiche e del bentos.

Attualmente l'Italia ha la vicepresidenza del Comitato Scientifico della CCAMLR e contribuisce attivamente ai gruppi di lavoro *Ecosystem Monitoring and Management (EMM)* e *Statistics, Assessments and Modelling (SAM)*. L'Italia è proponente o co-proponente di 4(*) *Antarctic Specially Protected Areas (ASP)* designate per la loro importanza ecologica e scientifica. Le ASP mirano a proteggere ecosistemi antartici unici e a regolare le attività umane in modo che abbiano un impatto minimo sull'ambiente. I proponenti contribuiscono ad assicurare il monitoraggio delle attività all'interno dell'area designata, garantire che le restrizioni stabilite siano rispettate e aggiornare periodicamente, anche sulla base dei risultati scientifici, i relativi piani di gestione.



(*) ASP 161 Terra Nova Bay, Ross Sea (Italy); ASP 165 Edmonson Point, Wood Bay, Ross Sea (Italy); ASP 173 Cape Washington and Silverfish Bay, Terra Nova Bay, Ross Sea (Italy, United States); ASP 178 Inexpressible Island and Seaview Bay, Ross Sea (China, Italy, Korea).

2. Le grandi sfide scientifiche globali, la ricerca polare nei prossimi anni

2.1 Questioni globali e ricerca polare

Con il 21° secolo nuove sfide si presentano all'umanità. Impellente è l'interrogativo posto dai cambiamenti climatici globali in corso e previsti nelle prossime decadi, soprattutto, derivanti dall'innalzamento del livello del mare e dall'aumento della frequenza e intensità di disastri naturali.

I cicli naturali sempre più modificati dall'attività umana, avranno ricadute sulla disponibilità e produzione di risorse territoriali, idriche ed alimentari. È quindi fondamentale conoscere l'evoluzione futura della calotta antartica, il maggiore serbatoio naturale di acqua dolce del pianeta, per definire politiche sostenibili ed efficaci di adattamento globale.

La scienza polare si estende dal limite esterno dell'atmosfera e dello spazio circumterrestre alle profondità dei bacini oceanici; in termini di tempo, copre un intervallo che va dai miliardi di anni della storia geologica, per non parlare degli studi cosmologici che coprono tutta la durata dell'evoluzione dell'universo, alla variazione estremamente rapida della luce delle aurore; in termini di dimensioni spaziali dalla variabilità dell'estensione annuale del ghiaccio marino a quello continentale delle calotte polari; in termini biologici comprende la biologia marina, terrestre e delle acque dolci coprendo tutte le forme di vita conosciute; in termini di ambiente affronta nuove problematiche come quelle legate al trasporto di inquinanti emergenti e alla contaminazione a livello planetario.

A causa dell'interconnessione dei sistemi atmosferici, oceanici, ecologici e geologici su scala planetaria, il contributo della scienza polare è cruciale per la comprensione di come il sistema Terra operi a livello globale e determinanti sono le conoscenze che possono derivare dalla ricerca in Antartide e in Artide per qualunque previsione e tutela dell'ambiente globale futuro.



Campo remoto - Panorama

2.2 Le strategie internazionali per la scienza e la logistica in Antartide

2.2.1 La scienza

La visione dello SCAR



URGENT MESSAGES FROM THE SOUTH: ANTARCTIC AND SOUTHERN OCEAN SCIENCE AND POLICY

Strategic Plan 2023 - 2028

SCAR will focus on seven main objectives over the next five years:

i.

Promote SCAR's leadership in science by strengthening and expanding high-quality, collaborative, visionary and societally relevant research through international partnerships while addressing urgent global priorities including climate change and biodiversity.

ii.

Provide independent scientific advice to the Antarctic Treaty System (ATS) and other international bodies in response to science and knowledge needs identified by policymakers.

iii.

Encourage and facilitate unrestricted and free access to Antarctic research data and samples in support of all the above objectives.

iv.

Enhance and expand research capacity in SCAR's member countries, recruit new members, and encourage the support of research that addresses the above imperatives.

v.

Increase public awareness and understanding of Antarctic issues and the essential roles Antarctica and the Southern Ocean play in the Earth's climate systems.

vi.

Ensure equality, diversity, and inclusion (EDI) principles are applied to all of SCAR's activities and actions, including SCAR's management, structure, and the realization of its missions and vision.

vii.

Reduce the carbon footprint of all SCAR activities.

SCAR Scientific Research Programs (www.scar.org) - Lo *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR) è l'associazione di riferimento a livello globale per la promozione e coordinamento della ricerca antartica a cui l'Italia aderisce e partecipa attivamente. Lo SCAR partecipa come osservatore alle riunioni del Trattato sull'Antartide (ATCM), ed è regolarmente invitato anche come esperto del Comitato per la protezione

dell'ambiente (CEP) e del CCAMLR per fornire consulenza scientifica obiettiva e indipendente sulle tematiche di rilievo per la governance del Continente.

Lo SCAR organizza le sue attività scientifiche in modo articolato, con gruppi di lavoro e programmi che coprono tutte le discipline di interesse. L'Italia vede suoi rappresentanti, alcuni con ruoli rilevanti, in molti di questi gruppi. È compito del PNRA promuovere e sostenere la partecipazione dei ricercatori italiani nelle varie iniziative e indirizzare azioni a sostegno e in linea con quelli che sono i programmi scientifici dello SCAR.

In particolare, lo SCAR ha attualmente in corso alcuni programmi di ricerca scientifica a cui la CSNA ritiene strategico aderire promuovendo e favorendo la partecipazione da parte della comunità scientifica italiana. Questi sono:

Ant-ICON: *Integrated Science to Inform Antarctic and Southern Ocean Conservation*

INSTANT: *Instabilities and thresholds in Antarctic*

ANTCLIMnow: *Near-Term Variability and Prediction of the Antarctic Climate System*

READER: *Reference Antarctic Data for Environmental Research*

<https://scar.org/library-data/data/reader>

Di particolare interesse anche il

Programme Planning Group AGATA (*Antarctic Geospace and ATmosphere reseARch* <https://scar.org/science/research-programmes/agata>), partito recentemente e promosso anche da ricercatori della comunità nazionale, e lo

Expert Group ANTOS (*Antarctic Nearshore and Terrestrial Observing System* <https://scar.org/science/cross/antos>) che mira a stabilire una rete di osservatori marini e terrestri integrati con focus su aspetti biologici in tutto l'Antartide.

Si ricorda infine come lo SCAR abbia recentemente rilasciato il suo **Strategic Plan** per il periodo 2023-2028 che copre il periodo del presente triennale

(<https://scar.org/~documents/scar-publications/strategic-plans/scar-strategic-plan-2023-2028?layout=default>). Le indicazioni del piano sono punto di riferimento importante per il sistema nazionale.

Dal 19 al 23 agosto 2024 si terrà a Pucón, Cile, la 11ª SCAR Open Science Conference (appuntamento biennale della comunità antartica), che seguirà i diversi business meeting dei delegati SCAR.

<https://scar.org/~documents/scar-publications/strategic-plans/scar-strategic-plan-2023-2028?layout=default>

<https://www.pnra.aq/it/11th-scar-open-science-conference-19-23-august-2024-pucon-chile>

La visione dello **SCAR** è quella di creare un'eredità per la scienza e la conoscenza antartica e affrontare un aspetto fondante per individuare un percorso verso un futuro sostenibile per il nostro pianeta. La pianificazione strategica dà priorità alle aree di potenziale interesse più importanti.

In risposta all'emergenza climatica globale, questo Piano è orientato verso la scienza del clima che può essere affrontata in Antartide, concentrandosi su aumento delle temperature, fusione delle calotte glaciali e innalzamento del livello del mare, nonché impatto sul funzionamento di ecosistema, biodiversità e società umana.

Inoltre, lo SCAR continuerà a mantenere e coltivare un approccio ampio e profondo per le attività scientifiche, inclusa la scienza *curiosity driven*, che comprenderà la ricerca sui processi e caratteristiche fondamentali atmosferiche, oceanografiche, geologiche e biologiche. Alcuni di questi riguardano l'interfaccia tra le diverse componenti del sistema, come per esempio nell'ambiente subglaciale, esplorato con metodi geofisici e di trivellazione.

Comprendere la storia passata dell'Antartide è fondamentale per comprenderne il futuro: gli studi sui sedimenti, ghiaccio e roccia forniscono informazioni su come la calotta glaciale ha reagito e reagisce alle variazioni climatiche nel presente e nel passato, alle diverse scale temporali. Scienziati dell'atmosfera, astronomi e astrofisici possono usare l'Antartide come base privilegiata per rispondere a domande fondamentali sull'universo e sui fenomeni fisici che si verificano nell'alta atmosfera della Terra.

La strategia dell'European Polar Board



Scopo dell'**European Polar Board** (EPB) è promuovere e far avanzare il coordinamento e la collaborazione della ricerca polare con la comunità di ricerca polare europea. Il lavoro dell'EPB si basa su tre pilasti del lavoro dell'EPB (*Coordination, Collaboration and Communication*), ciascuno dei quali sia con attività interne dei Membri che sostengono tali attività, sia con attività esterne per una più ampia comunità di ricerca europea: Coordinamento, Collaborazione e Comunicazione.

<https://www.europeanpolarboard.org/about-us/strategy/>

L'ambizione del Consorzio EU-PolarNet 2



EU-PolarNet 2 è il più grande consorzio mondiale di competenze e infrastrutture di ricerca polare, composto da 25 partner che rappresentano tutti gli Stati membri europei e i paesi associati che hanno programmi polari consolidati.

L'ambizione di EU-PolarNet 2 è creare una piattaforma sostenibile e inclusiva per co-sviluppare e far avanzare le azioni di ricerca polare europea e fornire consulenza, basata sull'evidenza, ai processi decisionali. Questa piattaforma consentirà di sviluppare ulteriormente il coordinamento delle azioni di ricerca polare in Europa e con partner esteri.

Coinvolgendo tutte le parti interessate e i titolari dei diritti, sosterrà lo sviluppo di azioni di ricerca polare transdisciplinari e transnazionali di elevata rilevanza sociale. Per garantire che una piattaforma così importante venga mantenuta dopo la fine di EU-PolarNet 2, il progetto prevede anche la creazione di un ufficio di coordinamento polare europeo permanente.

<https://eu-polarnet.eu/>
<https://eu-polarnet.eu/publications/>

La partecipazione al Programma Europeo di accesso alle infrastrutture **POLARIN** potrà comportare la messa a disposizione di infrastrutture di ricerca italiane. Allo stesso modo i ricercatori italiani potranno beneficiare dell'accesso a numerose infrastrutture di ricerca internazionali messe a disposizione dal progetto europeo POLARIN.

[https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EXPO_IDA\(2023\)702589#:~:text=The%20EU%20continues%20to%20be,direction%20of%20EU%20Antarctic%20policy](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EXPO_IDA(2023)702589#:~:text=The%20EU%20continues%20to%20be,direction%20of%20EU%20Antarctic%20policy)

2.2.2 La logistica

Una delle linee programmatiche del programma triennale è la riduzione dei costi logistici, attraverso sinergie tra programmi e utilizzo di migliori tecnologie, considerato che a spesa invariata, una riduzione del 10% dei costi logistici può riverberarsi in un aumento intorno al 40% delle risorse per il finanziamento dei progetti di ricerca.

Un'altra rilevante linea di sviluppo strategico della logistica antartica - tracciata dal COMNAP - è rivolta a soddisfare le sempre più complesse operazioni che bisogna affrontare per superare le crescenti difficoltà connesse alle più alte priorità scientifiche: anche in questo caso, l'utilizzo di nuove tecnologie, lo sviluppo delle infrastrutture e la cooperazione internazionale sono gli strumenti attraverso cui raggiungere l'obiettivo.

Ciò può realizzarsi sia mediante azioni dirette, attraverso un'effettiva "riduzione" del fabbisogno di supporto logistico, sia mediante azioni indirette di miglioramento dell'efficienza dei sistemi. Fra le diverse opportunità per rinforzare e rendere più efficiente il programma antartico del futuro sono da evidenziare:

- **Collaborazioni internazionali** per l'utilizzo coordinato di piattaforme fisse e mobili;
- **Condivisione di mezzi di trasporto** (aerei, navi cargo e anche icebreaker);
- **Sviluppo e utilizzo di nuove tecnologie** (per es. energie rinnovabili: eolica, solare).



Logistici al lavoro - Movimentazione materiale nei pressi della Stazione Mario Zucchelli

3. Le linee strategiche del PNRA

3.1 Le iniziative internazionali a carattere scientifico

Antarctica InSync

Il programma di ricerca Antarctica InSync (*International Science & Infrastructure for Synchronous Observation*) è una proposta per una missione scientifica coordinata nell'Antartide e intorno all'Antartide. Il suo obiettivo è condurre una valutazione completa delle interconnessioni tra ghiaccio, oceani, clima, ambiente e vita, includendo impatti umani e soluzioni come la conservazione marina.

Il **Piano d'Azione per l'Oceano Meridionale** dello SCAR ha evidenziato la necessità di una ricerca antartica completa che spazi in vari campi scientifici. Questa iniziativa si basa su un attento esame all'interno delle comunità scientifiche, inclusi SOOS, GOOS, ACCE e altri.

Il piano per questa missione sincronizzata sarà sviluppato in partnership con lo SCAR, che ha istituito un **Centro Collaborativo delle Nazioni Unite** (DCC) per l'Oceano Meridionale. La pianificazione si effettuerà dal 2024 al 2026, con implementazione e sintesi previste dal 2027 al 2030.

Questa missione è destinata a contribuire a SCAR e ai programmi regionali e tematici del Decennio delle Nazioni Unite per la Scienza dell'Oceano a scopo di Sviluppo Sostenibile, sottolineando soluzioni scientifiche innovative e cooperazione globale basate su successi passati. Oltre alla ricerca oceanica, incorporerà osservazioni terrestri e aeree simultanee, utilizzando tutte le piattaforme e gli osservatori disponibili nella regione.

InSync mira a riunire i programmi nazionali antartici per favorire sforzi collaborativi e sinergici focalizzati su osservazioni sincrone tra il 2027 e il 2030.

La condivisione dei dati aderirà ai principi FAIR, promuovendo nel contempo lo sviluppo di capacità scientifiche di nuova generazione, coinvolgendo giovani scienziati e responsabili politici di tutte le Parti e Osservatori del ATCM/CEP.

Numerosi leader delle istituzioni e agenzie di ricerca antartiche in Australia, Germania, Regno Unito, Francia, Italia, Norvegia e USA, appoggiano il concetto di questa missione pan-antartica e sono pronti a partecipare. Molti altri hanno mostrato interesse, inclusa l'Associazione Internazionale delle Scienze della Criosfera (IACS) e l'Associazione Internazionale per le Scienze Fisiche degli Oceani (IAPSO). Il programma è inserito anche fra le iniziative di avvicinamento al prossimo IPY 2032-2033.

IODP e ICDP

IODP (International Ocean Discovery Program - <http://www.iodp.org/>) e ICDP (International Continental Scientific Drilling Program <https://www.icdp-online.org>) sono programmi internazionali di perforazione degli oceani o della crosta continentale, che da oltre 50 anni, hanno l'obiettivo di recuperare carote di rocce e sedimenti, per studiare l'evoluzione geologica e climatica del Pianeta Terra. L'Italia è uno dei 21 paesi che aderiscono a IODP con un finanziamento ad-hoc del MUR.

Dal 2025 IODP evolverà in IODP3 che comporterà la riorganizzazione dei ruoli delle nazioni coinvolte e dell'utilizzo dei mezzi logistici impiegati per effettuare le perforazioni. L'Italia manterrà invariata la sua partecipazione all'interno del consorzio europeo di cui ora è coordinatore scientifico.

Sono in programma altre spedizioni IODP3 nell'arco dei prossimi 6-10 anni in Antartide in particolare nel Mare di Ross, sul margine del George V Land e nell'offshore della Sabrina Coast, basate su dati di site survey acquisiti anche dal PNRA. Tali spedizioni vedranno il coinvolgimento di una numerosa parte della comunità geologica e geofisica italiana, ma anche di quella glaciologica e oceanografica, con la quale sarà necessario interfacciarsi per comprendere le interazioni tra le diverse componenti terra-ghiaccio-oceano, nel presente e nel passato, a diverse scale temporali.

L'Italia aderisce all'ICDP tramite un finanziamento dell'INGV. Nell'ambito dell'ICDP si stanno svolgendo le attività di perforazione per il progetto SVAIS2Sea, sulla prosecuzione di quelle condotte nel decennio precedente dal consorzio Cape Roberts e Andrill, di cui il PNRA faceva parte. Altri programmi ICDP sono previsti nei prossimi anni, con l'ottica di raccogliere carote di sedimenti sotto alla calotta e nelle zone costiere nel Mare di Ross.

Il fine dei programmi IODP e ICDP in Antartide è quello di ricostruire l'evoluzione paleoclimatica e paleo-oceanografica delle zone attualmente al di sotto della calotta glaciale e sul margine continentale, durante le fasi passate glaciali ed interglaciali (ultimi 20 milioni di anni). I dati raccolti fino ad ora hanno già fornito informazioni chiave che evidenziano una chiara connessione tra espansione e ritiro dei ghiacci, oscillazioni climatiche e importanti cambiamenti nella circolazione oceanica.

In particolare, le carote di sedimento raccolte nel 2018 dalla spedizione IODP 374 nel Mare di Ross, nell'Amundsen Sea e lungo l'Arco di Scozia dimostrano come la calotta glaciale, la polynya del Mare di Ross, l'ACC hanno risposto ai cambiamenti climatici su scala millenaria, legata ai cicli orbitali, a partire da 18 milioni di anni fa. Alcuni record marini IODP nel Mare di Ross, ma anche a largo del Mare di Weddell sono direttamente confrontabili con le variazioni di temperatura e di accumulo di ghiaccio ricavabili dalle carote di ghiaccio. Il record paleo-oceanografico dei sedimenti confrontato con il record paleoclimatico delle carote di ghiaccio fornisce informazioni circa l'impatto sull'ambiente antartico e sulla circolazione oceanica delle oscillazioni del bilancio di massa, permettendo inoltre di andare indietro nel passato oltre il milione di anni.

La sfida dei prossimi anni sarà quella di acquisire nuovi dati anche in altre zone, basandosi sui risultati ottenuti (eccellenti ma ancora troppo sparsi) per comprendere i tempi e le modalità di reazione della calotta glaciale al riscaldamento climatico previsto per i prossimi secoli. Singoli programmi nazionali non sono in grado di effettuare le perforazioni profonde necessarie a raccogliere informazioni dal passato geologico, uniche ed indispensabili a ottenere modelli attendibili di previsione dei cambiamenti ambientali globali. Il PNRA ha le conoscenze, i dati e i mezzi per continuare a dare il suo contributo e mantenere il suo ruolo di protagonista anche in questo ambito.

IPICS

IPICS (*International Partnership in Ice Core Sciences*) sta sviluppando iniziative internazionali di medio-lungo periodo, sotto l'egida dello SCAR, PAGES e con un ampio contributo internazionale per il coordinamento della ricerca e delle necessità logistiche.

Tra le attività di IPICS, **Beyond EPICA Oldest ICE** rappresenta un'iniziativa di punta nel campo delle ricostruzioni paleoclimatiche attraverso lo studio di carote di ghiaccio antartico. Un record climatico che copra un milione e mezzo di anni consentirebbe, infatti, di ottenere informazioni fondamentali per comprendere la dinamica del clima del Quaternario e, soprattutto, le relazioni tra gas serra, clima e criosfera.

Le informazioni sulle carote di ghiaccio della calotta est-antartica completeranno le conoscenze esistenti derivanti dallo studio dei carotaggi di sedimenti marini. Un progetto di questo tipo va ben al di sopra delle capacità logistiche e scientifiche che le singole nazioni possono mettere in campo individualmente e può quindi essere portato avanti solo nell'ambito di una collaborazione internazionale. La Commissione Europea sta finanziando un progetto di sette anni per estrarre il ghiaccio vecchio di un milione e mezzo di anni. Il progetto è coordinato dall'Istituto di Scienze Polari del CNR.



Little Dome-C – Il campo dove viene eseguita la perforazione del ghiaccio per il progetto Beyond EPICA Oldest Ice

ICE MEMORY

I ghiacciai di alta quota preservano al proprio interno informazioni formidabili sul clima e sulle condizioni ambientali del passato, accumulate nel corso dei secoli e dei millenni. Il progetto internazionale *Ice Memory*, mira a estrarre carote di ghiaccio dai più importanti ghiacciai delle zone non polari e che sono pesantemente minacciati dal riscaldamento del pianeta e di trasportarle, per uno stoccaggio a lungo termine, presso la base italo-francese di Concordia, il luogo più freddo del pianeta, creando così un deposito unico per la scienza futura.

Ice Memory vuole preservare questi importanti archivi in via di estinzione al fine di conservare le informazioni che contengono, e renderli disponibili per l'uso da parte delle generazioni future, in particolare per condurre indagini scientifiche oggi impossibili a causa di limiti nelle tecniche analitiche, o nella comprensione dei processi.

Questo ambizioso progetto, che prevede sforzi coordinati da parte di molte nazioni e specialmente nell'implementazione della governance futura, è una vera corsa contro il tempo e la sua importanza è stata riconosciuta dall'UNESCO, che ha concesso il patrocinio all'iniziativa e incoraggia le nazioni a sostenerlo. È

attualmente in corso la preparazione della valutazione di impatto ambientale per rischio minore o transitorio (*Initial Environmental Evaluation – IEE*), che verrà presentata a breve all'ATCM.

POLEMP

POLEMP (*Establishing a concept for a POLar Environmental Monitoring Programme*) è un progetto internazionale che mira a sviluppare una rete per il monitoraggio ambientale in Antartide dei contaminanti chimici persistenti ed emergenti, armonizzando le ricerche dei singoli programmi nazionali, favorendo l'accesso e la condivisione di dati e campioni, suggerendo procedure standard di campionamento e analisi, e integrando le attività delle banche campioni ambientali.

SALE-DC

SALE-DC (*Subglacial Lake Exploration in Dome C Area*). Negli ultimi decenni sono stati scoperti più di quattrocento laghi sotto la calotta glaciale antartica. Molti sono nascosti sotto diversi chilometri di ghiaccio e sono stati isolati per decine di milioni di anni. Rappresentano uno degli ambienti più inaccessibili e avvincenti del pianeta e potenzialmente detengono registrazioni molto preziose dei cambiamenti nel sistema Terra e delle nuove forme di vita. Sono stati effettuati diversi tentativi di perforazione nei laghi subglaciali.

Il lago subglaciale Whillans (SLW) è stato perforato da un consorzio statunitense, dove l'Italia ha partecipato per la caratterizzazione geochimica. SLW è un lago speciale in quanto è poco profondo ed è collegato direttamente all'oceano aperto e quindi non può essere utilizzato per rispondere alle domande chiave della storia glaciale e della biologia. Nell'area di Concordia, grazie alle esplorazioni geofisiche italiane degli anni novanta e del primo decennio del duemila sono stati scoperti numerosi laghi subglaciali.

Ultimamente, grazie alle indagini radar per l'individuazione del sito di perforazione di Beyond EPICA sono stati individuati nuovi laghi subglaciali che forniscono un'ottima opportunità di esplorazione, con una copertura di ghiaccio relativamente sottile (2,6 km); la vicinanza alla stazione Concordia e la presenza di sedimenti nel fondo del lago offrono un'eccellente opportunità di accesso a un antico sistema di acque profonde, isolato e con fortissime implicazioni in campo microbiologico, e di esobiologia, nonché della storia climatica della calotta antartica. È opportuno per questo attivare delle solide collaborazioni internazionali per poter sfruttare le competenze logistiche nell'accesso rapido già acquisite da partner internazionali.

SEEDS FOR FUTURE - Global Wild Plant Seed Vault

Circa il 20% delle 391.000 specie di piante vascolari è minacciato di estinzione. Una iniziativa di ampio respiro che il PNRA vorrebbe perseguire in ambito internazionale sarebbe quello di partecipare alla realizzazione di un deposito globale di semi di piante selvatiche minacciate in Antartide, il congelatore più affidabile e naturale al mondo, per garantire lo stoccaggio sicuro dei semi delle specie vegetali più minacciate, da affiancare al deposito di semi di piante coltivate realizzato alle Svalbard.

Questo deposito di duplicati del germoplasma delle specie minacciate, a cui parteciperanno le maggiori banche del germoplasma di tutto il mondo, sarà l'ultimo baluardo per la conservazione della biodiversità vegetale in caso di eventi catastrofici che distruggano il patrimonio conservato nelle banche stesse.

GRUAN

Il *Global Climate Observing System (GCOS) Reference Upper-Air Network (GRUAN)* è una rete internazionale di riferimento per l'osservazione di siti che misurano le variabili climatiche essenziali sopra la superficie terrestre, progettata per colmare un'importante lacuna nell'attuale sistema di osservazione globale.

Le misurazioni GRUAN stanno fornendo registrazioni di dati climatici di alta qualità e a lungo termine dalla superficie, attraverso la troposfera e nella stratosfera. Questi vengono utilizzati per determinare tendenze, vincolare e calibrare i dati provenienti da sistemi di osservazione più estesi dal punto di vista spaziale (compresi i satelliti e le attuali reti di radiosonde) e fornire dati appropriati per lo studio dei processi atmosferici. GRUAN è previsto come una rete globale di eventualmente 30-40 siti che, per quanto possibile, si basa sulle reti e sulle capacità di osservazione esistenti. <https://www.gruan.org/>

WMO

Il WMO (*World Meteorological Organization*) è l'organo delle Nazioni Unite che ha come compito fondamentale quello della cooperazione e il coordinamento internazionale sullo stato ed evoluzione dell'atmosfera terrestre, sulla sua interazione con la terra e gli oceani, sul clima e sulla distribuzione delle risorse idriche. Da diversi anni il suo interesse verso le regioni polari è andato aumentando.

Tre sono le linee lungo cui il WMO promuove una maggiore presenza e ruolo nelle attività in Antartide:

- **Il miglioramento delle capacità previsionali a diverse scale** – in questo ambito sono state promosse iniziative come il programma PPP (*Polar Prediction Program*) che ha sviluppato l'attività YOPP-SH (*Year of Polar Prediction – Southern Hemisphere*), con una significativa partecipazione italiana agli *Special Observing Periods (SOPs)* nell'estate australe 2018-19 e inverno 2022.
- **La realizzazione di un Antarctic Regional Climate Center (Ant RCC)**, quale struttura attraverso cui poter fornire su base annua una chiara idea sullo stato climatico del continente e previsioni su scala stagionale ed annuale (long-term forecast). E in questo modo anche favorire la cooperazione tra i vari membri del WMO impegnati in Antartide. Su questa linea si vanno concentrando molti sforzi e interazioni sia con ATCM che COMNAP. La comunità italiana, grazie anche al contributo PNRA, ha ospitato a Bologna

lo scoping workshop nel 2019 e si è inserita in modo significativo nella struttura del futuro Ant RCC, con il compito di coordinare e promuovere i servizi che si legano al climate monitoring. Questa attiva partecipazione, supportata anche dal PR preso il WMO che ha nominato allo scopo un Focal point, fa sì che l'Italia sia parte dell'Advisory Group per l'Antartide a supporto delle azioni di ECPHORS e quindi Executive Council. Un Implementation workshop (Melbourne 2022) e un più recente meeting per valutare stato avanzamento (Febbraio 2024) hanno seguito lo scoping workshop e consolidato tale ruolo e presenza.

- **Una attiva presenza delle stazioni Antartiche alle reti WMO** – qui negli ultimi due anni l'attenzione non è più solo dedicata alla rete CRYONET nell'ambito del Global Cryosphere Watch (GCW) <https://globalcryospherewatch.org/cryonet/sitepage.php?surveyid=64> alla quale l'Italia partecipa con il sito di Concordia, ma anche a una presenza significativa alle nuove reti GBON (Global Basic Observing Network) e GSRN (GCOS Surface Reference Network). Rispetto a questi nuovi network che nascono dalle esigenze di avere misure sempre più accurate proprio in chiave climatica, l'Italia attraverso il PNRA può dare un significativo contributo meglio integrando e coordinando azioni e siti osservativi già esistenti. L'azione potrebbe portare anche a un significativo aumento della collaborazione con il servizio meteo dell'AM che rappresenta l'Italia nel WMO e ha il compito di promuovere a livello nazionale le azioni e le priorità che si definiscono in ambito WMO.

Dal punto di vista dell'**Astronomia e Astrofisica**, come ben rappresentato durante il recente workshop svoltosi alle isole Svalbard (7th SCAR Astronomy and Astrophysics from Antarctica, Settembre 2023), ci sono da segnalare iniziative a carattere internazionale:

CMB-S4

Grande iniziativa per il CMB, installerà a South Pole negli anni '30 sia telescopi di grandi dimensioni (LAT) che compatti (SAT), per la misura definitiva della polarizzazione CMB grazie a un totale di più di 500000 rivelatori.

South Pole Telescope

In attività da diversi anni, ha prodotto risultati molto importanti, sia per la anisotropia che per la polarizzazione CMB, oltre ad essere uno dei nodi della rete planetaria di telescopi che forma l'*Event Horizon Telescope* e che ha prodotto le prime immagini dell'orizzonte del buco nero centrale nella nostra galassia e in M87.

COSMO

Iniziativa sinergica e complementare alle misure di polarizzazione del CMB, misura le sue distorsioni spettrali, per le quali si hanno finora solo limiti superiori. Collaborazione a guida Italiana, con partners inglesi, francesi e giapponesi, prevede di effettuare le prime misure da Dome-C. Tali misure saranno fondamentali anche in vista delle misure di distorsioni spettrali da pallone stratosferico BISOU (CNES con partner internazionali) e COSMO-balloon (ASI).

Cryoscope

Collaborazione Australia-Francia-USA per la costruzione di un telescopio infrarosso criogenico da 1.2 metri accoppiato ad una camera con un grande campo di vista (50 deg²) dedicato ai follow-up transienti di eventi osservati con antenne gravitazionali. Il programma è in fase di approvazione e installazione prevista nel 2025 (*pathfinder*) e nel 2030 (versione finale).

Dome-A

La comunità cinese ha compiuto alcune traverse, in collaborazione coi colleghi Australiani, verso Dome-A. Sono stati mantenuti o installati circa 10 telescopi, includendo il 50 cm AST3-2 e due telescopi per il vicino infrarosso, oltre a strumenti per il *site-testing*, con uno span in frequenze che va dall'ottico, al vicino IR, al terahertz, e al radio. L'Australia è stata coinvolta soprattutto per l'infrastruttura PLATO-A. per il trasferimento dei dati è stata usata con successo la connessione fornita da Starlink.

ITM

L'ITM (*International Telescope Maffei*) è un telescopio per il visibile e vicino e medio infrarosso, con apertura di 80 cm, installato Dome-C e robotizzato. A guida italiana, ha collaboratori internazionali. Tra gli obiettivi la misura di serie temporali lunghe di stelle AGB, in modo da definire una nuova classe di candele standard presenti in galassie ellittiche, e la misura delle curve di luce di stelle alla ricerca di pianeti extrasolari.

IceCube

IceCube è l'esperimento più importante per le astroparticelle, operante a South Pole, presso la base Americana Amundsen Scott (<https://icecube.wisc.edu/>). È dedicato alla rivelazione dei neutrini di origine cosmica di altissima energia. Recentemente, dai neutrini rivelati è stata derivata una mappa della nostra Galassia, soprattutto alle latitudini vicine al piano galattico. Supportato da NSF, con la collaborazione internazionale di 14 paesi membri. L' **IceCube Upgrade** ha completato con successo una stagione di misure da South Pole, ed è in linea con il programma previsto che lo porteranno a utilizzare altre 7 stringhe di sensori ottici nella campagna 2025-26.

Dal punto di vista dello **Space Weather**, ci sono da segnalare iniziative a carattere internazionale:

AGATA

AGATA (*Antarctic Geospace and ATmosphere reseArch*) Program Planning Group dello SCAR, è un coordinamento a livello mondiale per monitorare, indagare e comprendere la fisica dell'atmosfera polare e l'impatto delle interazioni Sole-Terra sulle regioni polari. Avrà tre principali obiettivi: studiare l'atmosfera polare, al fine di comprenderne meglio i processi fisici; contribuire alla comprensione delle interazioni Sole-Terra e del trasferimento di energia nell'atmosfera polare superiore; supportare le scienze interessate a rimuovere, o mitigare, il contributo atmosferico che influenza negativamente le loro osservazioni e fornire informazioni sui disturbi nei segnali radio ricevuti. Trarrà vantaggio dalla strumentazione esistente e pianificata in Antartide, ma anche nell'Artico, e dalle osservazioni satellitari. La prospettiva bipolare consentirà lo studio di significative asimmetrie interemisferiche.

SuperDARN

SuperDARN (*Super Dual Auroral Radar Network*) è composto da più di 30 radar HF a bassa potenza che monitorano la convezione ionosferica nelle regioni polari nord e sud fino a medie latitudini. Due di questi, DCE e DCN sono installati da qualche anno a Dome-C sotto la responsabilità italiana. Queste osservazioni sono correlate con lo space weather. Il vento solare trasferisce energia alla magnetosfera attraverso processi che avvengono alla magnetopausa. Tale interazione influisce sulla ionosfera di alta latitudine, accoppiata alla magnetosfera esterna ed al vento solare per l'alta conduttività elettrica lungo il campo magnetico.



1 SuperDARN – il radar a bassa frequenza installato presso la Stazione Concordia

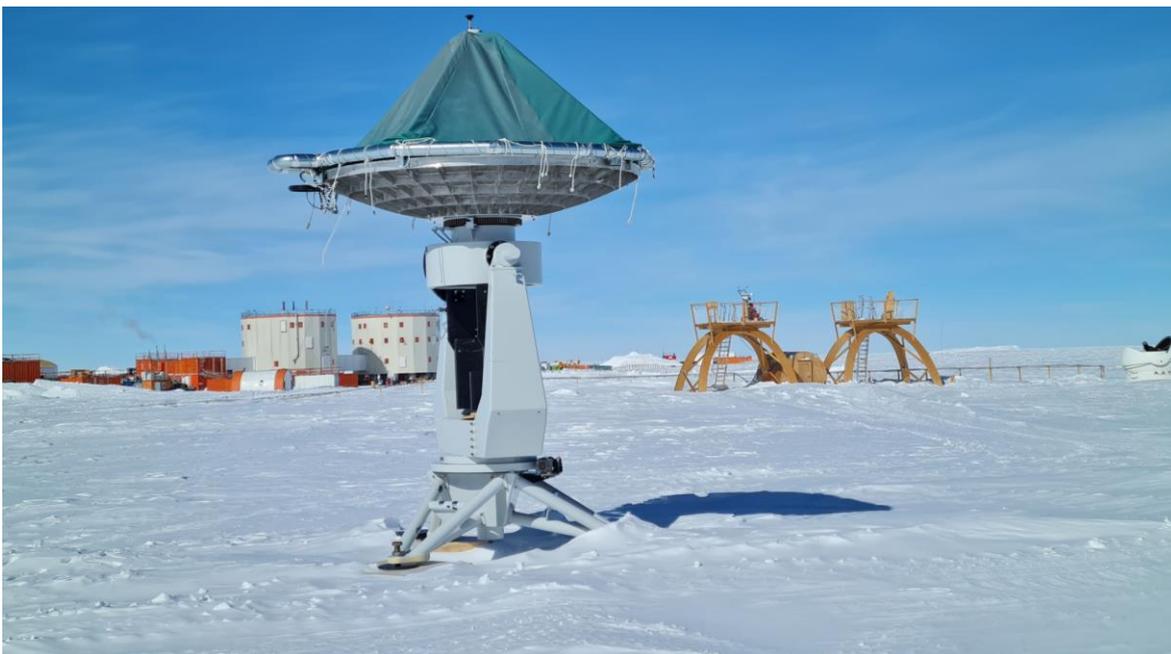
Inoltre, questi osservatori ionosferici consentono di investigare la struttura e la dinamica della convezione ionosferica, la coniugazione inter-emisferica dei fenomeni ionosferici, la convezione associata alle substorm, la fisica delle irregolarità ionosferiche associate alle strutture di plasma alle alte latitudini e le onde elettromagnetiche (MHD, ULF, Magnetic Field Line Resonances).

AASWO

AASWO (*Argentinian Antarctic Space Weather Observatory*) è un osservatorio per ricerca di interazioni terra/sole in fase di installazione presso la stazione di San Martin, prevista per la prossima estate australe, mentre è terminata la costruzione presso la stazione Belgrano II dell' *Argentine Antarctic Robot Observatory (AARO)*, e ne è iniziata l'automatizzazione.

SOLARIS

SOLARIS è un osservatorio per misure continue del sole in banda W (75-110 GHz) per monitorare le regioni attive. Dopo il ripristino dei telescopi antartici OASI alla stazione Mario Zucchelli e COCHISE alla stazione Concordia, la collaborazione italiana è in contatto con alcuni gruppi scandinavi per replicare l'osservatorio solare anche nella regione artica e operare durante tutto l'anno.



COCHISE - In primo piano, Cochise, un telescopio di 2,6 metri di diametro dedicato ad osservazioni di cosmologia in banda millimetrica e sub-millimetrica installato a Dome-C nei pressi della Stazione Concordia.

3.2 APECS - I giovani ricercatori per l'Antartide

L'Associazione dei Giovani Ricercatori Polari in Italia (APECS Italia) è il ramo locale dell'Associazione dei Giovani Ricercatori Polari (*Association of Polar Early Career Scientists - APECS*), dedicato agli interessi dei giovani ricercatori polari (Early Career Researcher - ECR), quali studenti universitari, dottorandi, post-doc, giovani accademici, nonché educatori e altri professionisti nell'ambito delle scienze polari.

Il suo obiettivo principale è quello di creare una rete interdisciplinare, nazionale ed internazionale per i giovani ricercatori polari, facilitando lo scambio di conoscenze e la collaborazione attraverso diverse iniziative.

APECS Italia offre supporto e opportunità di sviluppo per i giovani ricercatori, promuovendo l'interesse per le regioni polari attraverso l'educazione, la formazione e la divulgazione.

APECS Italia, in seguito allo scioglimento del precedente comitato nazionale avvenuto nel 2020, è stata rifondata nel 2021 grazie all'impegno dei giovani ricercatori polari italiani provenienti da diverse istituzioni. Da allora, l'associazione ha registrato una crescente presenza sul territorio nazionale, contando attualmente un numero significativo di membri in continua crescita anche grazie ai numerosi nuovi programmi legati alle scienze polari sul territorio (e.g. Dottorato di Interesse Nazionale in Scienze Polari).

Nel corso degli ultimi anni, APECS Italia ha promosso una serie di iniziative, tra cui workshop, seminari disciplinari condotti da esperti del panorama polare italiano e tre convegni nazionali svoltisi rispettivamente nel 2021, 2022 e 2023. Queste attività hanno contribuito a creare un ambiente stimolante e collaborativo per i giovani ricercatori polari italiani, offrendo loro opportunità di apprendimento, condivisione di conoscenze e *networking*. APECS Italia si impegna a continuare a sostenere e promuovere la ricerca polare nel paese, fungendo da punto di riferimento per i giovani ricercatori.

3.2.1 Piano triennale dell'Associazione dei Giovani Ricercatori Polari in Italia (APECS Italia)

Nel corso del prossimo triennio, APECS Italia si prefigura una serie di obiettivi strategici mirati a consolidare e potenziare il suo ruolo nel panorama scientifico nazionale e internazionale. Una delle priorità principali sarà lo sviluppo di una rete di coordinamento locale, nominando dei giovani ricercatori polari come punti di riferimento sul territorio.

Nel prossimo triennio l'obiettivo sarà la promozione delle scienze polari sociali ed umanistiche sia a livello nazionale che internazionale. Questo significa favorire una maggiore comprensione dei fattori sociali, culturali ed etici legati agli ambienti polari, oltre a valorizzare lo sviluppo di approcci interdisciplinari che integrino le prospettive delle altre sfere con quelle delle scienze sociali e umanistiche. Inoltre, l'associazione si propone di stabilire e rafforzare collaborazioni con istituti accademici, centri di ricerca e organizzazioni attive nel campo delle scienze polari, sia a livello nazionale che internazionale, al fine di promuovere lo scambio di conoscenze e l'implementazione di progetti concreti in questo settore.

APECS Italia intende continuare ed intensificare le attività di *outreach* e sensibilizzazione sul territorio, con l'obiettivo di coinvolgere un pubblico più ampio possibile, attraverso iniziative educative, divulgative e di comunicazione sui temi polari. Questo include l'intenzione di mantenere l'annuale Conferenza Nazionale come consolidato evento di ritrovo per i giovani ricercatori polari italiano ma, in contemporanea, la realizzazione di

eventi pubblici, la produzione di materiale divulgativo, nonché l'organizzazione di workshop e attività educative rivolte a scuole e comunità locali.

APECS Italia si pone l'obiettivo di promuovere e consolidare collaborazioni internazionali con altre sedi APECS, mirando a favorire lo scambio di conoscenze ed una maggiore collaborazione tra giovani ricercatori polari di altri paesi. In particolare, l'associazione Italiana sta già attivamente lavorando alla creazione di partnership con APECS Francia e l'obiettivo è quello di ampliare il numero di collaborazioni nei prossimi anni.

Infine, uno degli obiettivi strategici di APECS Italia sarà il riconoscimento legale dell'associazione a livello nazionale.



APECS Italy - L'Associazione dei Giovani Ricercatori Polari in Italia - <https://www.apecsitaly.it/>

3.3 Le iniziative verso la costituzione di un'entità polare nazionale

Il concetto di un'entità polare nazionale rappresenta un'importante iniziativa strategica per un paese, specialmente quando si tratta di regioni estreme come l'Artico e l'Antartide. Questa entità unificata, auspicata recentemente dal nostro Ministro al *One Planet Polar Summit* di Parigi nel novembre 2023, mira a coordinare e consolidare le risorse e gli sforzi nazionali relativi alla ricerca, alla logistica e alla presenza scientifica in queste regioni polari cruciali. Nel contesto italiano, la proposta di creare un'entità polare nazionale è stata avanzata più volte negli scorsi triennali dalla Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (CSNA), al fine di affrontare le sfide legate alla partecipazione a progetti internazionali di lungo termine e all'ottimizzazione delle risorse disponibili. Tale entità avrebbe il compito di integrare sotto una singola direzione strategica la ricerca, la logistica e la scienza antartica e artica, consentendo una gestione più efficace e coerente delle attività polari del paese.

In conclusione, l'istituzione di un'entità polare nazionale rappresenta un passo importante per l'Italia nel consolidare le sue attività e il suo impegno nelle regioni polari, consentendo una partecipazione più efficace e significativa agli sforzi globali di ricerca e conservazione in queste aree vitali per il pianeta.



2Little dome-C - Il sito dove è in corso il progetto Beyond EPICA Oldest Ice, (panorama)

4. Infrastrutture di supporto

4.1 Infrastrutture di supporto e operatività in Antartide

4.1.1 Le infrastrutture antartiche oggi

4.1.1.1 La Stazione Mario Zucchelli



La Stazione Mario Zucchelli - Panorama

La Stazione scientifica Mario Zucchelli (MZS) è situata su un promontorio granitico, nella Terra Vittoria sul Mare di Ross ed è in grado di garantire lo svolgimento dell'attività scientifica nel corso dell'estate australe. Ha una ricettività nominale di circa 90 persone con picchi occasionali, in caso di necessità, di 120 persone.

La superficie complessiva coperta è di circa 8.000 metri quadri e comprende un corpo principale, su più livelli, dove sono situati i laboratori scientifici e le principali *facilities* necessarie all'alloggiamento del personale, due hangar all'interno dei quali sono allestite le officine meccaniche, l'autoparco ed il magazzino, tre edifici in legno, di cui due utilizzati per l'alloggiamento di piloti e personale in transito ed uno per attività ricettive.

Completano la Stazione, le infrastrutture che ospitano gli Osservatori scientifici permanenti, l'acquario, gli impianti tecnologici per la produzione di energia elettrica e termica, dell'acqua potabile, gli impianti di trattamento di acque reflue, rifiuti organici e di stoccaggio e distribuzione del carburante.

Presso la Stazione sono disponibili mezzi di supporto all'attività scientifica e logistica di diversa tipologia quali elicotteri, velivoli leggeri, natanti minori, compreso il *Malippo*, mezzi battipista, mezzi movimento terra, motoslitte, skydoo, che consentono lo spostamento del personale via terra, mare o ghiaccio marino.

La Stazione Mario Zucchelli prevede collegamenti intercontinentali con la Nuova Zelanda e la Tasmania, grazie alla realizzazione di una pista sul ghiaccio marino, nei pressi antistante alla Tethys Bay che consente l'esecuzione di una decina di voli, nel corso del primo mese della Campagna, per la movimentazione di personale e materiali destinati a MZS e a Concordia.

I collegamenti interni con le stazioni Concordia, Dumont D'Urville, McMurdo sono garantiti per mezzo di un aereo leggero Basler tipo DC 3 in grado di trasportare fino a 18 passeggeri e circa 2 tonnellate di materiali. Con l'avanzare della stagione estiva, le condizioni del ghiaccio marino non consentono più lo svolgimento delle attività aeree continentali, le quali vengono trasferite sull'aviopista realizzata su terra sul sito di Boulder Clay, distante circa 7 km dalla Stazione.

4.1.1.2 La Stazione Concordia



La stazione Concordia - Panorama

Le attività del PNRA nel sistema Concordia sono regolate nell'ambito dell'accordo italo-francese tra IPEV e PNRA sottoscritto nel 2017. L'accordo regola sia la gestione estiva sia quella invernale della Stazione Concordia, oltre che della Stazione *Robert Guillard*, sita presso *Cape Prud'Homme*, luogo di partenza delle traverse logistiche per il rifornimento di Concordia.

Le attività aeree da/per Concordia sono gestite dal PNRA, mentre i convogli terrestri di rifornimento sono gestiti dall'IPEV anche con supporto di personale logistico del PNRA. La gestione operativa della Stazione è suddivisa tra PNRA e IPEV sulla base di una ripartizione per settori, dove al PNRA competono attualmente le telecomunicazioni, l'informatica, l'utilizzo e la manutenzione delle macchine operatrici (incluse alcune tra quelle impiegate nelle Traverse logistiche tra *Cap Prud'Homme* e Concordia), i sistemi aeronautici e meteo, i controlli ambientali, il servizio sanitario, la gestione dei viveri ed il servizio di cucina.

Tutte le attività prevedono anche l'approvvigionamento dei materiali e delle attrezzature necessarie al loro completamento, quando non presenti in loco.

Alle infrastrutture della Stazione dedicate alle attività scientifiche del PNRA si aggiungono quelle del campo remoto di *Little Dome C*, sito a circa 40 km dalla Stazione, che supportano le attività del progetto di ricerca europeo *Beyond Epica Oldest Ice*.

4.1.1.3 La N/R "Laura Bassi" in Antartide



La Nave rompighiaccio "Laura Bassi"

La N/R Laura Bassi è la principale infrastruttura navale utilizzata dal PNRA. La nave ha caratteristiche multiscopo ed è adatta sia per la ricerca scientifica che per il supporto logistico. Lo scafo ed il sistema di propulsione le permettono di operare agevolmente in condizioni di ghiaccio tipiche del Mare di Ross durante il periodo estivo permettendo il rifornimento della base, elemento fondamentale per la logistica scientifica.

La nave ha una lunghezza di 80 metri ed un dislocamento di 4028 t con 3000 m³ di spazio in stiva riscaldata. La nave di proprietà dell'OGS dispone di sistemi di strumentazione scientifica all'avanguardia.

4.1.2 La capacità scientifica delle infrastrutture

4.1.2.1 La Stazione Mario Zucchelli

Presso la Stazione Mario Zucchelli sono disponibili sedici laboratori scientifici attrezzati, recentemente ristrutturati negli arredi, impianti e nella strumentazione, che consentono l'implementazione dei progetti, nei vari ambiti di ricerca. Alcuni laboratori sono costituiti da un singolo modulo Iso 20 mentre altri sono a doppio modulo. In generale, è possibile dedicare un locale ad ogni progetto di ricerca che in questo modo può gestire lo spazio in completa autonomia.

Sono disponibili tre cappe a flusso laminare e cinque cappe chimiche, dotate di armadi sotto cappa per solventi organici e per acidi/basi e diversa strumentazione quali centrifughe, stufe termostatiche, bilance, macchina per ghiaccio granulare, autoclavi, agitatori, liofilizzatori, microscopi. Sono anche presenti numerosi frigoriferi e congelatori distribuiti nei vari laboratori. Inoltre, è a disposizione dei ricercatori uno strumento RT-PCR per l'amplificazione e rivelazione di DNA/RNA.

Vista la sua posizione costiera, presso la Stazione MZS vengono portate avanti molte attività scientifiche nell'ambito della biologia marina, nell'area del mare di Ross. A tale scopo è disponibile un importante laboratorio acquario, recentemente ampliato ed ammodernato con consta di un'ala di recente costruzione costituita da vasche di diverse dimensioni, con temperatura prossima a quella del mare antartico, dove possono essere posizionate temporaneamente le diverse specie marine, oggetto delle osservazioni e degli studi. In una seconda ala sono disponibili altre vasche in cui è possibile la manipolazione della temperatura e tavoli attrezzati per attività di prelievo di campioni organici.

Le attività di campionamento delle specie marine vengono condotte con l'ausilio del personale specialistico fornito dal Ministero della Difesa, che effettua immersioni subacquee in acque fredde. A tal fine, è disponibile un impianto iperbarico per il quale è già stato pianificato un intervento di ammodernamento e adeguamento strutturale.

Sono infine disponibili gli Osservatori permanenti astronomico/astrofisico e, presso le strutture di Oasi e Grotta Sismica, Meteo climatologico, Geodetico, Geomagnetico, Sismologico.

4.1.2.2 La Stazione Concordia

Concordia, grazie alla sua posizione in quota, al bassissimo contenuto di umidità ed all'elevata trasparenza dell'atmosfera, è considerato il luogo ideale per le osservazioni astronomiche e le ricerche sull'interazione atmosfera-criosfera e di fisica dell'atmosfera legate allo studio della ionosfera e del cambiamento climatico.

Inoltre, la sua lontananza dall'influenza delle perturbazioni marine favorisce gli studi di sismologia.

Gli esperimenti sono ospitati in appositi shelter costruiti su palafitte per evitare che nel tempo la neve trasportata dal vento li seppellisca.

Concordia rappresenta anche la stazione di riferimento per la realizzazione di campi remoti sul plateau antartico, come quello importantissimo chiamato Little Dome C del progetto internazionale *Beyond Epica Oldest Ice*, realizzato ad alcune decine di km dalla stazione.

Attualmente sono ospitati presso la Stazione 16 osservatori permanenti che operano ininterrottamente tutto l'anno e gestiti congiuntamente dai programmi nazionali francese ed italiano a cui si aggiungono circa 35 progetti di ricerca dei bandi nazionali di IPEV e del PNRA che possono essere sia di tipo solo estivo ma anche implementati per l'intero anno.

Stante la particolare caratteristica di isolamento nel plateau antartico tipicamente invernale della Stazione, ai progetti nazionali si aggiungono quelli dell'accordo trilaterale ESA-PNRA-IPEV che si concentrano sugli aspetti di simulazione di sopravvivenza nello spazio, nonché su studi di biologia e medicina volti a comprendere i meccanismi di adattamento dell'uomo alle condizioni ostili.

4.1.2.3 La N/R "Laura Bassi" in Antartide

A partire dal 2019, la nave è stata sottoposta ad una costante attività di potenziamento delle sue capacità scientifiche, grazie a finanziamenti del MUR veicolati dall'OGS, CNR, PNRA. Attualmente la nave dispone di sistemi acustici tipici di navi da ricerca di elevato livello quali: *multibeam* (KG EM304, KG 2040C), *sub bottom profiler* (Topas 12), due ADCP, sonar da pesca (EK80), un sistema sismico Sercel 428 con 1500 metri di sezione attiva, vi è inoltre presente una stazione PAM (passive acoustic monitor) per il monitoraggio dei cetacei. La nave può effettuare campionamenti del fondo marino mediante *piston corer* (15 m), *multicorer* e benne.

Per quanto riguarda la parte oceanografica, vi sono rosette, di cui una pulita, operate da camera baltica.

Sono tre i laboratori a bordo, due umidi ed uno secco, con dotazione di cappe aspiranti. Sono due i sistemi di prelievo in continuo di acqua di mare per misure *underway*, per le misure meteorologiche è installata una centralina meteo completa, dotata di anemometro sonico. In controplancia è in via di installazione uno spettrometro digitale gamma-ray.

La connettività, elemento essenziale per la scienza, viene garantita da tre sistemi StarLink operati parallelamente.

4.1.3 Le prospettive di rinnovo e potenziamento

Nel quadro del Decreto Ministeriale n. 459 del 10-05-2023, con il quale è stato finanziato il piano infrastrutturale per il rinnovo e il potenziamento scientifico delle Stazioni MZS, compreso il funzionamento dell'aviopista, e Concordia, gli Enti attuatori, mediante apposita convenzione, effettueranno le azioni di esecuzione del piano. Per tali azioni sarà anche necessario prevedere le spese per il personale relativo.

4.1.3.1 La Stazione Mario Zucchelli

Le azioni di rinnovo e potenziamento della Stazione MZS sono distinguibili nell'ottica di soddisfare un duplice obiettivo.

Il primo, di priorità più stringente, è quello di provvedere all'esecuzione di un piano di rinnovamento di infrastrutture, mezzi ed impianti tecnologici, finalizzato a garantire con regolarità e continuità il funzionamento della Stazione, negli anni futuri. Il secondo, attuabile con una strategia di medio-lungo periodo, è volto a provvedere ad un piano di ampliamento infrastrutturale e di potenziamento delle facilities, rispetto alle esistenti, al fine, di adeguare le infrastrutture alla crescente operatività logistica della Stazione e garantire adeguati spazi per l'esecuzione delle attività scientifiche.

Nell'ambito del piano di ammodernamento degli impianti tecnologici, le azioni dovranno essere proposte non solo in termini di garanzia di continuità di funzionamento nel tempo, ma anche per provvedere al rispetto dei requisiti di sicurezza e dei criteri ambientali previsti dalla normativa vigente e volto all'incremento dell'efficienza energetica ed alla riduzione delle emissioni clima alteranti. In questo ambito, le esperienze sinora condotte hanno suggerito in maniera netta che le possibilità di implementazione di altri impianti da fonti di energia alternativa è concreta e perfettamente adattabile al contesto antartico nell'ottica di ridurre, sensibilmente, la "dipendenza" dal combustibile fossile.

Tra le azioni prioritarie, riveste un ruolo fondamentale anche il rinnovamento del sistema di produzione e distribuzione dell'energia "invernale" (nuova piattaforma PAT) per l'alimentazione della strumentazione scientifica e delle facilities logistiche che sono attive nel periodo in cui la Stazione resta non presidiata.

Per una maggior efficienza del supporto alla Ricerca, lo sviluppo infrastrutturale dovrà tendere da una parte a rendere disponibili nuovi spazi più confortevoli per l'esecuzione di lavori propedeutici o di preparazione alle attività scientifiche quali montaggio o messa a punto di strumentazione ingombrante e/o sistemi di acquisizioni dall'altra a garantire lo stoccaggio o la messa in conservazione dell'attrezzatura scientifica. Dovrà essere, infine, potenziata la disponibilità di strumentazione di elevato valore tecnologico come droni, veicoli sottomarini, natanti di supporto alle attività scientifiche.

4.1.3.2 La Stazione Concordia

Le infrastrutture principali della Stazione hanno una vita più che ventennale, quindi si approssimano al loro fine vita dato che sono state progettate per una durata di circa 30 anni in funzione delle condizioni ambientali specifiche in cui si trovano.

A queste si aggiungono le infrastrutture che oggi ospitano il personale estivo, per lo più ricercatori dei progetti implementati nelle campagne estive, ma che risalgono al progetto Epica avviato a partire dalla metà degli anni Ottanta e che quindi sono attualmente in condizioni precarie.

Stante l'attuale situazione, lo Steering Committee di Concordia ha definito un piano decennale di interventi di rinnovamento delle infrastrutture della Stazione, dei suoi impianti e di quelle a supporto della scienza che in futuro sarà svolta presso il sito della Stazione stessa e nei suoi dintorni.

Il piano prevede il rinnovamento degli impianti principali della Stazione, partendo da quelli di produzione dell'energia, puntando anche alle fonti rinnovabili, il rinnovamento del *Summer Camp* destinato ad ospitare la maggior parte dei ricercatori estivi, il rinnovo del parco mezzi della Stazione che supportano attività logistiche e scientifiche, includendo anche la mobilità elettrica ed i mezzi di sollevamento a supporto delle traverse logistiche e delle attività di campo, e l'investimento in nuove infrastrutture dedicate alla ricerca sia presso la Stazione che in siti remoti al momento non raggiungibili se non con i mezzi aerei.

4.1.3.3 La N/R "Laura Bassi" in Antartide

Le linee di rinnovo e potenziamento si sviluppano su quattro principali filoni:

- **sicurezza** - verrà installato un Ice-RADAR per la mappatura entro le 20 miglia dello stato del ghiaccio ed altri sistemi volti ad una maggiore *situation awareness* del comando nave;
- **abitabilità** - si prevedono interventi volti a migliorare e rinnovare gli spazi interni della nave dedicati al personale dapprima nelle aree comuni e successivamente alle cabine;
- **sistemi scientifici** - nel 2024 è prevista la fine dei lavori della camera baltica; successivamente si prevede di installare un sistema di lancio e recupero per AUV; nell'area poppiera si prevede un nuovo verricello da pesca e la realizzazione di un portale laterale sullo specchio a dritta.
- **digitalizzazione** - si prevede con un ulteriore rafforzamento dei sistemi di comunicazione di bordo e la realizzazione di un vero gemello digitale che progressivamente interesserà anche la strumentazione scientifica.

4.1.4 Aviopista a Boulder Clay



L'Aviopista costruita su Morena a Boulder Clay a pochi chilometri dalla stazione Mario Zucchelli

La Stazione Mario Zucchelli può avere, nel corso del prossimo futuro, un ruolo sempre crescente come gateway antartico visto l'incremento, a cui si è assistito negli ultimi anni, delle attività logistiche per il trasferimento di personale e materiali anche di supporto a Programmi antartici internazionali quali NSF, IPEV, KOPRI, ANZ, BGR. Il completamento della realizzazione della pista permanente nel sito di Boulder Clay, unito ad un consolidato *know how* acquisito dal personale nella gestione dei collegamenti aerei continentali ed intercontinentali potrebbe offrire nuove opportunità di cooperazione internazionale oltre che garantire una maggiore flessibilità del ricambio del personale scientifico e logistico.

L'intensificarsi dell'attività aeroportuale richiederà tuttavia la necessità di realizzare delle facilities per il buon funzionamento dell'aeroporto. Nel tempo, sarà necessario provvedere alla fornitura di nuovi mezzi per il trasporto di persone e cargo, alla realizzazione di un hangar per il rimessaggio dei mezzi, all'installazione di sistemi di produzione e distribuzione dell'energia e di controllo e monitoraggio delle operazioni aeree, oltre che al miglioramento delle vie di comunicazione con la Stazione.

L'intensificarsi dell'attività aeroportuale richiederà, inoltre, la necessità di incrementare la capacità di alloggiamento del personale operante presso la Stazione e/o in transito al fine di poter gestire, in sicurezza e con il giusto confort, i picchi di presenze che inevitabilmente potrebbero presentarsi in caso, ad esempio, di overnight di voli intercontinentali a causa di avverse condizioni meteo. Per soddisfare tale esigenza, dovrà essere programmata la realizzazione di un edificio, di nuova concezione, separato dal Corpo principale, in grado di poter ospitare quaranta/cinquanta persone e dotato dei principali servizi.

4.1.5 Collaborazione con l'Istituto Idrografico della Marina

L'Istituto Idrografico della Marina opera da anni in Antartide per cartografare una porzione del Mare di Ross e che questa attività ha prodotto già tre carte nautiche.

È in costruzione una nuova unità idrografica ice class (in costruzione presso i cantieri navali di Fincantieri) che sarà destinata principalmente alle aree polari.

La nave, che avrà le dimensioni di circa 120 m. per 6000 tonnellate e che potrà ospitare 85 uomini di equipaggio e 50 ricercatori, sarà pronta nell'estate del 2026. Il costo previsto per la costruzione della nave è di circa 360 milioni di euro. Sarà equipaggiata per la ricerca e in particolare ospiterà mezzi *unmanned*, per studi sottomarini e di interfaccia.

L'Istituto Idrografico mette questa nave a disposizione delle attività di ricerca, specialmente per quelle del PNRA. L'Istituto propone anche di iniziare da subito una collaborazione mettendo a disposizione degli scienziati i dati *multibeam* raccolti durante i rilievi fatti per la realizzazione delle carte nautiche e ipotizzando il trasporto di mezzi *unmanned* sulla "Laura Bassi".

4.1.6 I compiti scientifici, organizzativi, informativi e divulgativi del CNR

I compiti scientifici, organizzativi, informativi e divulgativi del CNR sono stati recentemente normati dal Decreto Interministeriale n. 170 del 20 luglio 2022 (Regolamento recante le modalità per l'approvazione e per

l'aggiornamento del Piano nazionale di ricerche in Antartide, i soggetti attuatori e i meccanismi di coordinamento tra le amministrazioni pubbliche interessate; GU Serie Generale n.261 del 08-11-2022) che ha, tra l'altro, individuato i soggetti attuatori del PNRA (CNR, ENEA ed OGS) ed i loro compiti specifici.

Avvalendosi di proprie strutture dedicate il CNR ha il compito di:

- **assicurare il coordinamento scientifico delle attività, delle strutture e delle unità di ricerca;**
- **assicurare la raccolta dei risultati e dei dati scientifici**, d'intesa con il Ministero e la CSNA;
- **assicurare un costante raccordo con l'ENEA e l'OGS** per gli aspetti tecnologici e tecnico-operativi;
- **monitorare lo stato di attuazione del PNRA e definire gli eventuali interventi correttivi** riferendone annualmente al Ministero e alla CSNA;
- **acquisire ed organizzare**, in un'apposita banca dati pubblica accessibile gratuitamente e on-line, **i risultati delle attività scientifiche derivanti dall'attuazione del PNRA;**
- **curare, con risorse proprie, le attività di informazione e comunicazione istituzionale** per la diffusione dei risultati conseguiti attraverso le attività svolte in attuazione del PNRA, avvalendosi dei principali strumenti e canali di comunicazione.

Le attività devono essere finalizzate, in particolare, a:

- **illustrare le attività di ricerca svolte nell'ambito del PNRA;**
- **promuovere conoscenze allargate e approfondite su temi della ricerca in Antartide;**
- **favorire la conoscenza dell'impegno italiano e internazionale nella ricerca antartica;**
- **promuovere la disseminazione, divulgazione e formazione permanente**, con particolare riferimento alle scuole e ai cittadini, sull'importanza degli ambienti antartici.

Dando seguito a quanto stabilito, il CNR ha provveduto con Delibera del CdA n. 184 del 23 maggio 2023, a costituire una propria struttura ad hoc denominata POLAR HUB, incardinata nell'ambito dell'Ufficio Infrastrutture di Ricerca (UIR), dedicata ad assolvere i compiti previsti dal DI 170/22, ed ha nominato il prof. Carlo Barbante quale *Scientific Advisor* del *Polar Hub*.

Secondo quanto previsto dal citato decreto, i soggetti attuatori hanno stabilito le modalità ed i termini della collaborazione mediante una apposita convenzione, di durata decennale, stipulata il 12 luglio 2023.

La convenzione chiarisce i ruoli e le funzioni dei soggetti attuatori, che hanno collaborato nell'ambito del PNRA fin dai primi anni della sua istituzione, pur con ruoli e funzioni che nel tempo sono stati in parte modificati da successivi interventi ministeriali.

In particolare, per quanto attiene alle attività di informazione e comunicazione istituzionale ENEA e CNR stanno provvedendo – per quanto di competenza - al passaggio di consegne per raggiungere quanto prima la piena operatività della nuova struttura CNR.

4.2 Grandi Infrastrutture di Campagna

Il sistema GIC, costituito con la finalità di favorire l'utilizzo comune di infrastrutture installate sia presso le stazioni scientifiche antartiche sia su piattaforme mobili, dovrà essere verificato dal punto di vista dell'efficienza della strumentazione e adeguatamente potenziato.

Il gruppo di lavoro *ad hoc*, costituito in data 6 febbraio 2018 dal Direttore del DSSTTA-CNR, ha provveduto alla ricognizione e alla verifica dello stato di efficienza delle infrastrutture di campagna, mirata a realizzare un graduale aggiornamento e un possibile potenziamento. Nel triennio dovranno essere stipulati opportuni accordi con i responsabili della manutenzione e gestione delle attrezzature per assicurarne la funzionalità e la fruibilità da parte della comunità scientifica.

Nell'ambito delle GIC nel corso del triennio, qualora la disponibilità economica lo consenta, sarebbe opportuno prevedere l'acquisto di infrastrutture nel quadro descritto al capitolo 7 tecnologia, mediante aggiornamento del PNRA triennale.

5. Le linee scientifiche prioritarie del PNRA per il triennio 2024-2026- Le grandi tematiche

5.1 Interazioni Terra/Ghiaccio/Clima



Tethys Bay, nei pressi della stazione Mario Zucchelli (panorama)

Oceano, Criosfera, Litosfera e Atmosfera Antartiche - Un sistema complesso e interconnesso

Le interazioni tra oceano, criosfera, litosfera ed atmosfera influenzano il funzionamento, l'evoluzione e la vulnerabilità del sistema Antartico. La conoscenza di queste componenti e delle loro interazioni migliora la comprensione degli effetti e degli impatti globali dei cambiamenti climatici passati, presenti e futuri in Antartide. Si propongono cinque tematiche di ricerca principali interconnesse tra loro: le dinamiche oceanografiche; le dinamiche delle calotte; le interazioni tra la litosfera e le calotte; le dinamiche atmosferiche e climatiche; le dinamiche paleoclimatiche.

5.1.2 Le dinamiche oceanografiche

La dinamica dell'Oceano Meridionale (OM) influenza la circolazione oceanica ed il clima, l'assorbimento di CO₂ e la produttività primaria. L'Antarctic Bottom Water (AABW) alimenta la circolazione termoalina e ventila l'oceano. Il Mare di Ross (MdR) è la seconda più grande sorgente di AABW, che deriva dal mescolamento delle acque che si formano sulla piattaforma continentale legata alla High Salinity Shelf Water (HSSW), la Ice Shelf Water (ISW) con la *Circumpolar Deep Water* (CDW).

L'AABW ha subito un riscaldamento, diminuzione di salinità e perdita di volume multidecadale, ed è previsto un rallentamento della sua produzione in futuro. A partire dal 2015, i dati dell'*Osservatorio Marino del Mare di Ross* evidenziano tuttavia l'inversione del *trend* di salinità ed un aumento della produzione di AABW.

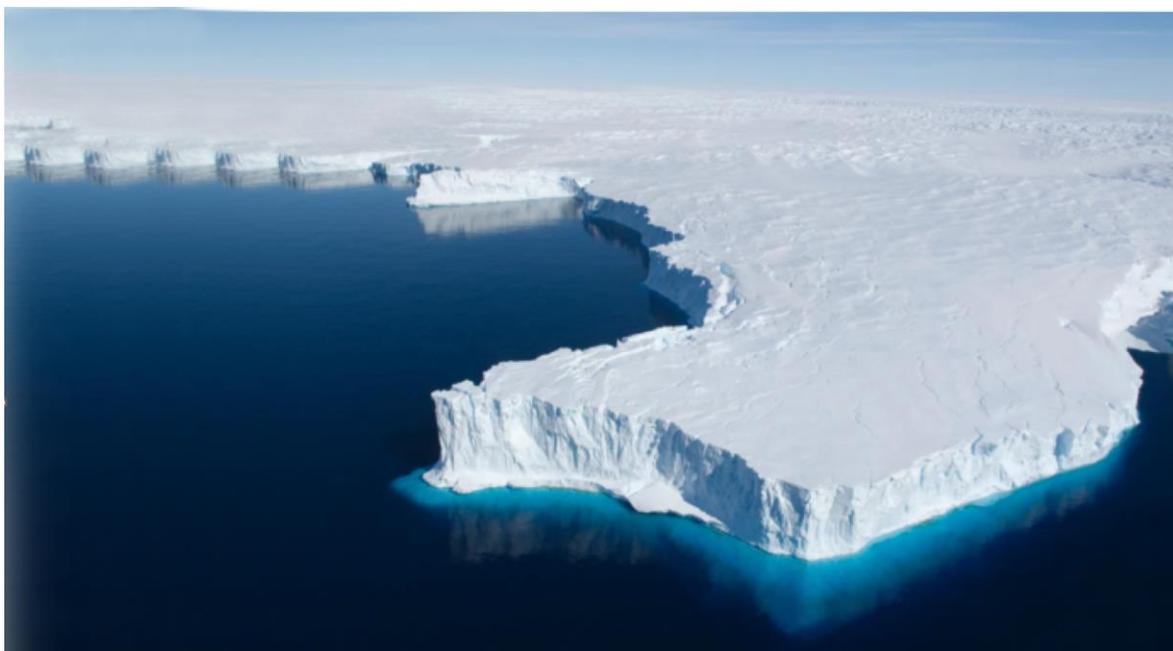
Sviluppare nuove ricerche focalizzate sulle dinamiche oceanografiche è fondamentale per comprendere la loro variabilità nello spazio e nel tempo. Le regioni in cui opera maggiormente il PNRA sono il MdR occidentale, ma è importante sviluppare nuove ricerche anche in quello orientale nel quale entrano le acque meno salate di fusione del *West Antarctic Ice Sheet* (WAIS) ed il ghiaccio marino trasportato dall'*Antarctic Slope Current* (ASC). Studiare il ruolo e la variabilità del ghiaccio marino risulta chiave, così come lo studio delle polynye, dove le interazioni tra l'atmosfera e l'oceano determinano le caratteristiche delle acque di piattaforma che alimentano la AABW.

Le priorità scientifiche nell'ambito dello studio delle dinamiche oceanografiche sono:

- **Determinare la variabilità delle HSSW e ISW** tramite lo studio delle acque di piattaforma, l'analisi di come si modificano, ed il monitoraggio dei processi connessi con la produzione ed esportazione di AABW.
- **Migliorare le stime del bilancio di sale nel MdR**, valutando il contributo delle masse d'acqua meno salate provenienti dai mari di Amundsen e Bellingshausen.

- **Analizzare i processi che influenzano la stabilità del fronte del Ross Ice Shelf (RIS)**, tramite la valutazione del trasporto di calore, la quantificazione della variabilità delle HSSW nell'area di polynya e delle ISW prodotte all'interno della cavità, e lo studio degli effetti delle intrusioni della CDW.
- **Quantificare il ruolo della ASC ed analizzare l'effetto delle forzanti oceaniche e atmosferiche a grande scala sulle dinamiche del MdR e dei settori ad esso limitrofi**, come per esempio il margine della George V Land nell'Antartide Orientale.

5.1.3 Le dinamiche delle Calotte



Ice Shelves

Lo studio delle dinamiche delle calotte Antartiche è fondamentale per comprendere le risposte della criosfera al riscaldamento climatico. L'arretramento e l'accelerazione dei ghiacciai del WAIS, sta contribuendo all'innalzamento del livello medio del mare globale, ed è legato all'assottigliamento e/o disintegrazione delle piattaforme (*ice shelves*) adiacenti.

I recenti cambiamenti del WAIS sono dovuti alle interazioni con l'oceano. L'incursione sotto agli ice shelves di CDW continuerà probabilmente, in particolare nel Mare di Amundsen, determinando un ulteriore assottigliamento del WAIS nei prossimi decenni. Ma come risponderà l'East Antarctic Ice Sheet (EAIS) che è molto più grande del WAIS ai cambiamenti climatici ed oceanici a più lungo termine? L'EAIS sembra al momento più stabile rispetto al WAIS.

Tuttavia, durante periodi geologici più caldi, quando le temperature erano simili a quelle previste dopo il 2100, anche l'EAIS ha subito processi di instabilità. Per poter quantificare gli impatti globali dei cambiamenti antartici è quindi importante focalizzare nuove ricerche non solo sul WAIS ma anche sul EAIS.

Le priorità scientifiche nell'ambito dello studio delle dinamiche delle calotte sono:

- **Migliorare le stime di bilancio di massa e la comprensione dei cambiamenti nelle due calotte e nel permafrost**, anche in relazione alle variazioni di accumulo nevoso e di radiazione solare, la comprensione dei processi nelle grounding zones e lo studio del permafrost, inclusa la quantificazione degli effetti della sua degradazione.
- **Analizzare la stabilità degli ice shelves**, tramite lo studio dei fenomeni di fratturazione, distacco e/o collasso in relazione alla fusione basale e superficiale, l'analisi delle conseguenze sulle proprietà dell'oceano e del ghiaccio marino, e la valutazione dei processi di run-off, anche in relazione alle connessioni sia con i laghi subglaciali che supragliaciali.
- **Comprendere i cambiamenti indotti da fenomeni estremi ed i tipping point**, anche tramite l'analisi degli effetti di Heat Waves e degli Atmospheric Rivers.
- **Lo sviluppo di modelli previsionali delle calotte**, tramite l'assimilazione delle condizioni al contorno, batimetriche, topografiche, idrologiche e geologiche, la stima della sensitività della criosfera ai forzanti climatici ed oceanici, la validazione dei modelli basata sui comportamenti attuali e nel passato, e la stima dei loro contributi all'innalzamento del livello medio mare.

5.1.4 Le interazioni tra la Litosfera e le Calotte



Ghiacciai nelle Valli Secche

Le interazioni con la litosfera hanno influenzato le dinamiche delle calotte fin dalla loro nascita 34 milioni di anni fa.

Nuove ricerche sulla topografia subglaciale, batimetria, crosta e litosfera terrestre ed il flusso di calore geotermico, e sulla reologia del mantello che influenza i processi glacio-isostatici sono importanti per:

- **determinare come sono cambiate le condizioni al contorno che influenzano le calotte;**
- **quantificare l'entità e la rapidità delle risposte dinamiche delle calotte alle forzanti climatiche ed oceanografiche.**

Le priorità scientifiche nell'ambito dello studio delle interazioni litosfera-calotte sono:

- **Determinare le interazioni tra il WAIS e il West Antarctic Rift System**, tramite gli studi sulla tettonica, erosione, sedimentazione, magmatismo e paleotopografia associati al sistema di rift, in relazione alla storia evolutiva della calotta.
- **Valutare le interazioni tra l'EAIS, la Catena Transantartica ed il Bacino di Wilkes**, tramite l'analisi dei processi tettono-termici, vulcanici, erosivi, ed isostatici.
- **Stimare i flussi di calore subglaciale sotto il WAIS e l'EAIS**, tramite la modellazione della crosta e della litosfera e l'assimilazione dei vincoli petrofisici e geologici per valutare l'influenza del flusso di calore sull'idrologia subglaciale e sulla dinamica delle calotte.

5.1.5 Le dinamiche Atmosferiche e Climatiche

L'atmosfera Antartica gioca un ruolo chiave nei processi che regolano il clima. La conoscenza dei processi fisici, radiativi, chimici e di trasporto è fondamentale per capire come l'azione antropica e le variazioni naturali impattano sul clima.

Il bilancio di massa delle calotte è legato a precipitazioni nevose ed ai venti catabatici. I processi atmosferici influenzano l'estensione del ghiaccio marino, impattando sui cicli biogeochimici ed il ciclo di carbonio. I processi di trasporto influenzano la distribuzione di particolato, gli scambi aria-mare, la formazione di nubi, ed il bilancio energetico.

La crescente sensibilità dell'Antartide all'aumento della temperatura, la possibilità di eventi climatici estremi sempre più frequenti e la conoscenza in parte limitata, rende fondamentali nuove ricerche sui processi dinamici atmosferici e climatici.



Vento catabatico

Le priorità scientifiche nell'ambito dello studio delle dinamiche atmosferiche e climatiche sono:

- **Comprendere i processi delle nubi** tramite lo studio delle variabilità chimiche (e.g. dell'ozono) e dinamiche, l'analisi delle interazioni tra nubi e aerosol e la quantificazione degli effetti del trasporto di aerosol.
- **Determinare le relazioni tra cicli biogeochimici e SLCF (Short-Lived Climate Forcer)**, tramite lo studio dei gas reattivi nell'atmosfera, anche in relazione agli ecosistemi, e la caratterizzazione dell'influenza dei composti organici reattivi in atmosfera.
- **Analizzare i processi atmosferici e le interazioni con la criosfera ed idrosfera** tramite le ricerche sui feedback, lo studio delle precipitazioni e degli effetti dei venti sul bilancio di massa delle calotte, e l'analisi degli scambi atmosfera-oceano.
- **Valutare gli impatti delle teleconnessioni tra l'Antartide e le medie latitudini** anche tramite lo studio di eventi estremi e la quantificazione degli effetti sulle precipitazioni, nuvolosità, abbondanza di aerosol e bilancio radiativo.

5.1.6 Le dinamiche paleoclimatiche

I record satellitari non consentono di prevedere se l'assottigliamento nel WAIS segnali instabilità irreversibili e se l'EAIS sarà soggetto a simili instabilità future. Per comprendere la variabilità naturale delle calotte è necessario lo studio delle dinamiche paleoclimatiche su scale temporali più lunghe, che consente di documentare gli effetti dei cambiamenti oceanici e climatici e le teleconnessioni globali in un arco temporale da centinaia a milioni di anni.

Nuove ricerche focalizzate sui *tipping point* criosferici, climatici ed oceanografici del passato, oltre i quali le calotte hanno assunto nuove configurazioni, aiuteranno a definire con minore incertezza gli impatti futuri dei cambiamenti nelle calotte, inclusa l'entità e la rapidità di aumento nel livello mare globale.

Quantificare la stabilità delle paleo-calotte durante i regimi di alta concentrazione di CO₂ e temperatura del passato è una priorità di ricerca per poter informare e validare i modelli previsionali delle calotte Antartiche.

Le priorità nell'ambito della tematica sulle dinamiche paleoclimatiche sono:

- **Comprendere le dinamiche e la stabilità delle paleocalotte Antartiche** tramite la definizione della variabilità del paleoWAIS e del paleoEAIS e l'analisi delle loro interazioni.
- **Quantificare l'influenza dei processi paleoclimatici e paleo-oceanografici sulla stabilità delle calotte**, in particolare durante i periodi caldi del passato, tramite lo studio di variabili ambientali, quali: l'estensione del ghiaccio marino, delle *paleo-ice-shelves* e *paleo-ice streams* (mediante lo studio delle paleo-grounding zone), velocità e caratteristiche della circolazione marina e dei sistemi idrici subglaciali, inclusi gli *outburst floods*.

- **Analizzare le dinamiche e i feedback del ciclo biogeochimico e dell'anidride carbonica e della variabilità nelle dinamiche climatiche e oceanografiche**, prima, durante e dopo la transizione del Pleistocene Medio (ca 1.25– 0.7 milioni di anni fa) e negli intervalli geologici più antichi;
- **Sviluppare modelli delle interazioni passate nel sistema climatico e valutare le implicazioni per gli scenari climatici futuri**, tramite l'assimilazione dei vincoli paleoclimatici e paleoceanografici, l'inclusione dei processi a lungo termine e dei tipping point del passato.

5.1.7 Gli approcci scientifico-metodologici

Queste priorità scientifiche richiedono lo sviluppo di strumentazione e approcci metodologici. La nave Laura Bassi è fondamentale per le campagne in mare e come piattaforma per il lancio di strumentazione autonoma necessaria per estendere le aree di misura nelle zone coperte da ghiaccio e superare le limitazioni imposte dal ghiaccio marino. Compatibilmente con l'esecuzione dei progetti approvati, sarebbe utile estendere ad aree poco esplorate l'osservazione continua tramite i *mooring*.

L'Italia detiene serie storiche trentennali nell'area di polynya di Baia Terra Nova e c'è l'opportunità di estendere le informazioni nel MdR orientale. I droni consentiranno nuovi studi sulle interazioni oceano-atmosfera, come dimostrato da un test durante la 39ª spedizione. Si è inoltre testato l'utilizzo di Argo-float durante l'inverno, ottenendo serie temporali annuali di temperatura e salinità nelle due aree di polynya, un approccio da continuare nei prossimi anni.

La certificazione a -30°C della N/R Laura Bassi consentirà, insieme alla pista di atterraggio a Mario Zucchelli (MZS), di studiare anche i processi inizio/tardo autunnali. Un percorso di rientro alternativo della nave attraverso i mari di Amundsen e Bellingshausen e lo stretto di Drake consentirebbe inoltre di misurare l'ASC e Antarctic Coastal Current, per comprendere gli effetti del flusso d'acqua proveniente dal WAIS. Un'ulteriore opportunità è nello sviluppo di modelli previsionali delle dinamiche oceanografiche e delle forzanti di grande scala.

I metodi aerogeofisici consentono di determinare condizioni al contorno chiave per le calotte. I dati radar rivelano il loro spessore, la morfologia del bedrock subglaciale, i laghi subglaciali e la stratigrafia della calotta. I dati aeromagnetici ed aerogravimetrici mappano la geologia subglaciale e la crosta. Potrebbero contribuire insieme ad innovativi approcci radiometrici da aereo e da satellite e ai vincoli sismologici nella determinazione di nuove stime del flusso di calore. Un'opportunità è quella di estendere le attuali conoscenze tramite rilievi aerogeofisici sui ghiacciai della Terra Vittoria, sui laghi subglaciali a Concordia e nel Bacino di Wilkes, e anche sugli ice shelves. Questo può essere realizzato tramite collaborazioni con partner internazionali e, a medio termine, con lo sviluppo di una piattaforma aerea e droni italiani.

Gli approcci metodologici integrati, con misure GPR, sismiche, geodetiche, sismologiche e da satellite, e i carotaggi consentiranno nuovi studi integrati sui ghiacciai. Risulta importante l'acquisizione dati lungo traverse per quantificare il bilancio di massa del EAIS e le interazioni atmosfera/ghiaccio sugli ice shelves, per comprendere la dinamica dei laghi supraglaciali e il drenaggio delle acque di fusione. Per studiare l'EAIS è inoltre utile continuare lo studio delle meteoriti (che svelano anche l'evoluzione dei corpi rocciosi del Sistema Solare).

L'integrazione di metodi aerogeofisici, sismologici, geodetici, di geologia e geofisica marina, di geocronologia, geochimica e petrofisica renderebbe possibile lo sviluppo di modelli più realistici della crosta e della litosfera e delle sue interazioni dinamiche con il WAIS e l'EAIS. Un esempio di opportunità è lo sviluppo di metodologie per esplorare il funzionamento dei sistemi vulcanici, non solo in relazione ai processi tettono-magmatici, ma anche delle interazioni glacio-isostatiche, che a loro volta sono influenzate da processi climatici, litosferici ed astenosferici.

Per lo studio dell'atmosfera e delle sue interazioni è necessaria la continuazione di programmi osservativi di lungo termine, campagne intensive di misura e lo sviluppo di modelli. Le osservazioni atmosferiche dallo spazio necessitano di validazione da terra e da aereo, soprattutto per le correzioni atmosferiche. Le osservazioni meteorologiche, sia alla superficie che attraverso sondaggi della colonna atmosferica, le misure della trasparenza dell'atmosfera, caratteristiche delle nubi, precipitazioni, carico di aerosol, radiazione solare e terrestre, dinamica dello strato limite e termodinamica, sono essenziali per gli studi di bilancio energetico.

Le misure dei composti chimici atmosferici, strato di ozono stratosferico (con i fenomeni collegati) e la valutazione dei processi di trasporto a lungo raggio delle sorgenti, sia a livello regionale che al di fuori dell'Antartide, sono chiave per gli studi dei processi che governano lo stato chimico nella troposfera e stratosfera e le loro interazioni.

Per quantificare il bilancio di massa e l'influenza delle calotte sul livello del mare sono necessari studi integrati sulle proprietà atmosferiche, in relazione all'accumulo e alla rimozione della neve, alla rugosità della superficie, all'albedo e ai parametri chimico-fisici della neve, oltre che sull'accoppiamento tra atmosfera e la perdita di ghiaccio terrestre e marino. Risultano importanti approcci per lo studio delle interazioni legate agli scambi aria-mare (ad es. ciclo del carbonio e cicli biogeochimici) e all'emissione di nuclei di condensazione, in particolare nelle zone di polynya.

Analizzando le carote di ghiaccio prelevate a Little Dome C nell'ambito di Beyond Epica diventeranno possibili nuovi approcci interdisciplinari per determinare l'evoluzione paleoclimatica, inclusa l'enigmatica transizione del Pleistocene Medio. La partecipazione italiana alle perforazioni Swais2C fornirà nuovi vincoli geologici sul

comportamento del WAIS nell'Olocene e nell'ultimo periodo interglaciale. I nuovi indicatori ambientali ottenuti da questi archivi geologici aiuteranno a valutare le potenziali dinamiche future del WAIS e del Ross Ice Shelf, anche nel caso di un riscaldamento climatico più limitato, in linea con gli Accordi di Parigi.

La combinazione di metodologie di datazione ed analisi geomorfologica a terra con quelle geofisiche a mare offre nuove opportunità per studiare la variabilità spazio-temporale nei processi di deglaciazione nel WAIS e nel EAIS, in particolare dall'Ultimo Massimo Glaciale, dei *tipping point*, e l'analisi delle interazioni tra le calotte ed i processi atmosferici ed oceanografici. L'analisi del patrimonio di dati sismo-stratigrafici antartici, in particolare nel Mdr, beneficerebbe dell'implementazione di approcci innovativi di machine learning/AI per esplorare la variabilità nelle interazioni soprattutto durante i periodi caldi, dell'Oligocene, Miocene e Pliocene. In questi studi sarà importante includere anche i cambiamenti nella paleotopografia, in funzione dell'erosione, della tettonica e dei processi glacio-isostatici.

Due grandi sfide per i prossimi anni sono:

- **estendere le investigazioni geofisiche, geologiche ed oceanografiche nel settore più vulnerabile del EAIS nell'area del Bacino di Wilkes;**
- **far avanzare la modellistica delle calotte** tramite una migliore rappresentazione dei complessi processi fisici, che includa anche le interazioni dinamiche idrosfera-criosfera-litosfera ed atmosfera.

5.1.8 Contesto Internazionale di riferimento

Le tematiche di ricerca e le priorità inerenti allo studio dell'idrosfera, criosfera, litosfera ed atmosfera e le loro interazioni nel sistema climatico si allineano con il programma internazionale dello SCAR *INSTANT*. Questo programma si propone di migliorare le conoscenze sui processi, le instabilità e le soglie di irreversibilità nei cambiamenti delle calotte Antartiche ed il loro contributo all'innalzamento del livello del mare nel passato, presente e futuro.

Le ricerche oceanografiche proposte sono in linea con le priorità di *SOOS*. Inoltre, i risultati delle ricerche sulle dinamiche atmosferiche, climatiche ed oceanografiche forniranno nuovi contributi agli altri due programmi internazionali dello SCAR **AntClim^{now}**, che focalizza sulla variabilità a più breve termine nel sistema climatico, e **AntICON** sulla conservazione dell'Antartide e dell'Oceano Meridionale, oltre che ad un nuovo programma (a leadership italiana) **AGATA**, che include studi sulla fisica dell'atmosfera.

Particolarmente significativa nell'ambito della tematica sulle calotte e delle interazioni con l'oceano e la litosfera è l'action group dello SCAR **RINGS** che si propone di coordinare l'esplorazione delle grounding zone a scala continentale per ridurre le incertezze nella stima dei contributi Antartici all'innalzamento del livello mare globale.

Le sinergie con il progetto EU **Beyond EPICA-Oldest Ice** sono chiave nell'ambito delle ricerche paleoclimatiche. Con il completamento di **EU-PolarNet 2**, ulteriori sinergie saranno incentivate nell'ambito del progetto EU **POLARIN**, che favorirà l'accesso transnazionale alle infrastrutture di ricerca polari europee, incluse quelle italiane, la N/R Laura Bassi e le basi MZS e Concordia.

Le ricerche italiane forniranno contributi per iniziative internazionali come **InSync** (2027-2030) che si propone osservazioni sincrone in Antartide e nell'Oceano Meridionale per studiare le interazioni tra le calotte, l'oceano, il clima, l'ambiente e la vita. Infine, le ricerche e le metodologie sulle interazioni sono rilevanti per agenzie spaziali, inclusa l'ASI, l'ESA e la NASA.

5.2 La vita in Antartide

5.2.1 Evoluzione, adattamento, biodiversità



Habitat marino

La regione antartica rappresenta un territorio fondamentale per il progresso delle scienze biologiche. Le condizioni estreme rendono l'Antartide una regione di interesse prioritario anche per lo studio dell'adattamento degli organismi.

Il suo isolamento geografico, durato milioni di anni, inoltre, offre opportunità uniche per gli studi relativi all'evoluzione biologica e ai processi di speciazione. Svariati taxa si sono infatti adattati al progressivo raffreddamento dell'ambiente terrestre e marino avvenuto in seguito al distacco dell'Antartide dal supercontinente Gondwana, seguito da un movimento verso sud che ne ha determinato un progressivo isolamento biogeografico, culminato con l'instaurarsi della Corrente Circumpolare Antartica (ACC) nel tardo Oligocene (~ 23 Ma).

La calotta di ghiaccio che da allora ha ricoperto il continente è andata incontro a molteplici cicli glaciali ed interglaciali con espansioni e contrazioni della stessa, fino all'Ultimo Massimo Glaciale di circa 15.000 anni fa. Tracce di queste dinamiche, oltre che nei sedimenti marini, possono essere riscontrate anche in diverse aree terrestri, come nelle Valli Secche di McMurdo della Terra Vittoria del Sud, in alcuni *nunatak* interni e nelle catene montuose in quota, ove anche gli organismi terrestri hanno sviluppato adattamenti a condizioni estreme.

Queste zone sono considerate analoghi extraterrestri, di straordinario interesse anche per l'esplorazione spaziale. Sebbene la biologia dell'oceano meridionale e del continente antartico sia in larga misura legata alla componente marina, esiste quindi anche una componente terrestre di estremo interesse scientifico, anche se ancora poco studiata.

Lo sviluppo di analisi genetiche e molecolari ha permesso di dimostrare come la persistenza e l'isolamento geografico del biota terrestre e marino antartico abbiano profondamente modificato le forme viventi qui presenti che infatti mostrano una rilevante componente endemica (ovvero esclusiva di questo territorio).

L'Antartide include il 10% delle piattaforme continentali del Pianeta, ma anche un'enorme variabilità di condizioni ambientali responsabili della segregazione di molte specie marine costiere. Questo è dovuto principalmente alla frammentazione delle popolazioni determinata dall'avanzamento e dal ritiro dei ghiacciai di calotta durante i cicli glaciali ed interglaciali.

L'elevato livello di diversità criptica riscontrato in varie specie marine è infatti imputabile a questi fenomeni che, nel complesso, hanno favorito processi di speciazione (*biodiversity pump*).

La grande eterogeneità di ambienti profondi evidenzia come questo continente non sia solo biogeograficamente unico, ma probabilmente costellato al suo interno da un mosaico di diverse aree biogeografiche.

L'Antartide svolge inoltre un ruolo chiave nei cicli biogeochimici globali e nel sequestro di carbonio grazie alla sua enorme produzione algale e dalle sue straordinarie biomasse.

Le acque profonde antartiche controllano la biologia di ampi settori del Pacifico australe e l'Oceano meridionale nel suo complesso influenza la biologia dell'Oceano Indiano e dell'Oceano Atlantico. Le interazioni tra biomi ed oceani ad alte e medie latitudini rendono lo studio della regione antartica di grandissimo interesse per indagini innovative che si estendono dalla biologia fondamentale fino alle scienze applicate e alle biotecnologie.

Come nel recente passato, certamente anche negli anni a venire l'interesse della comunità scientifica internazionale si concentrerà sulla biodiversità degli organismi antartici per comprenderne a pieno l'enorme ricchezza (seconda solo a quella delle scogliere coralline a livello globale), la distribuzione e il portafoglio di funzioni genetiche ed ecologiche.

Nonostante i progressi scientifici fatti negli ultimi decenni molti dei segreti e delle domande della biologia antartica restano ancora irrisolti: qual è l'impatto dei cambiamenti climatici sul biota antartico? L'ingresso di organismi non autoctoni (specie aliene) negli ecosistemi sia terrestri sia marini può rappresentare una minaccia per la vita in Antartide? Quale sarà l'impatto della crescente presenza dell'Uomo? Quali sono le interazioni tra componenti microbiche e i grandi organismi, inclusi mammiferi e uccelli?

La vulnerabilità degli ecosistemi antartici suggerisce che variazioni anche minime in termini di riscaldamento delle acque e fusione del ghiaccio della calotta avranno impatti rilevanti su tutti i processi ecosistemici antartici, che si sommeranno a quelli dell'acidificazione e alla diminuzione della salinità delle acque.

Molte anche le teorie da testare e i misteri da chiarire, come la bipolarità delle specie polari la cui distribuzione potrebbe essere connessa a quella degli ambienti ultra-abissali ed a variazioni nelle dinamiche della circolazione termalina globale. Restano senza risposta anche molte domande relative alla ridotta numerosità di specie di pesci, all'assenza apparente di squali e dei potenziali tassi di perdita di biodiversità e di funzioni ecosistemiche dovuti all'azione diretta dell'Uomo o ai cambiamenti in corso.

Le recenti informazioni sulla biologia antartica stanno creando nuovi paradigmi scientifici che per la loro comprensione richiedono studi trans- e interdisciplinari, in alcuni casi di lunga durata (*long-term monitoring*), capaci di connettere le conoscenze biologiche con quelle geologiche (inclusa la tettonica placche), glaciologiche, oceanografiche, fino alla comprensione dei cambiamenti nelle condizioni chimico-fisiche delle acque e delle terre di questo continente. L'Antartide rappresenta quindi un laboratorio naturale potenzialmente foriero di molteplici scoperte scientifiche nell'ambito delle scienze della vita.

Maggiori conoscenze sulla biologia antartica sono quindi necessarie non solo per fare progressi fondamentali nella conoscenza della biologia del Pianeta, ma anche per individuare soluzioni e misure atte a proteggere questo continente e l'oceano che lo circonda, la biodiversità e le indispensabili funzioni ecosistemiche svolte dagli organismi presenti.



Colonia di Pinguini Imperatore

5.2.2 Priorità per la biologia antartica

- **Impatto climatico sulla biodiversità e gli ecosistemi antartici.**
- **Analisi della biodiversità marina e terrestre Antartica** con approcci integrati su tutte le componenti biologiche con approccio end-to-end (dai virus ai grandi vertebrati), volti a comprendere pattern e driver e contributo al funzionamento degli ecosistemi e ai servizi ecosistemici.
- **Potenziale degli organismi antartici per la ricerca biotecnologica.**
- **Esplorazione degli habitat e degli ecosistemi meno conosciuti dell'Oceano meridionale** (e.g., Mare di Ross Orientale, gli ambienti profondi).
- **Conservazione della biodiversità antartica** (e.g., "Ross Sea region Marine Protected Area" RSr MPA).
- **Contributo della ricerca biologica antartica agli obiettivi della "UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development" (UNDOS).**
- **Contributo della ricerca biologica ai programmi SCAR.**
- **Contributo della ricerca biologica al "Southern Ocean Action Plan 2021-2030"**
- **Comprendere il ruolo del sistema antartico e del funzionamento degli ecosistemi nel sequestro di carbonio.**
- **Limiti e strategie dell'adattamento in ambiente terrestre.**
- **Studio di analoghi terrestri per la ricerca delle possibilità di vita al di fuori della Terra.**

5.2.3 Approcci scientifico-metodologici

Al fine di minimizzare l'impatto delle attività di ricerca sugli ecosistemi antartici, è necessario che le future attività di ricerca si svolgano avvalendosi di metodologie non distruttive di indagine e raccolta dei campioni (e.g., ROV, eDNA, sistemi robotici in situ, fotogrammetria, etc.). I progetti dovranno produrre un piano di mitigazione degli eventuali impatti (ad esempio limitando il prelievo di organismi in campo al minimo indispensabile).

L'utilizzo di campioni e materiali già raccolti in precedenti spedizioni e disponibili in Italia dovrà essere promosso e supportato dal PNRA sia per evitare la raccolta di campioni ridondanti sia per valorizzare il patrimonio di risorse già raccolto.

Nell'ambito di attività di monitoraggio a lungo termine, come ad esempio quelle tese a comprendere gli effetti dei cambiamenti climatici o dell'impatto antropico sugli ecosistemi antartici, è di primaria importanza associare all'acquisizione di dati fisico chimici anche di dati biologici ed ecologici. Queste informazioni sono infatti di importanza strategica sistemi di acquisizione integrata dei dati per il contributo italiano ai programmi internazionali (e.g. SCAR-ANTOS, vedi sezione 2.2.1) anche per consentire confronti dei dati a scala continentale o dell'Oceano Meridionale.

È prevista la standardizzazione dei metodi di campionamento, di osservazione, di elaborazione di diffusione dei dati anche in accordo ai principi FAIR in modo tale da contribuire alla pianificazione del quinto anno polare internazionale (IPY) (2032-33) e nella definizione del ruolo che il PNRA potrà avere all'interno dello stesso.

Le ricerche dovranno anche contribuire, in accordo alle policy internazionali, ad aumentare la consapevolezza e la comprensione del pubblico sull'importanza della ricerca biologica antartica, sull'impatto dei cambiamenti climatici in Antartide e nell'Oceano Antartico, sul ruolo essenziale dell'Antartide e dell'Oceano Antartico nel sistema climatico e sulla necessità di conservazione della biodiversità, protezione degli ecosistemi e gestione dell'ambiente.

5.2.4 Il contesto internazionale di riferimento

Negli oltre 60 anni della sua esistenza, il Comitato Scientifico per la Ricerca in Antartide (SCAR) si è evoluto in un'organizzazione internazionale che ha creato l'*Antarctic Treaty System* (ATS).

Nel maggio 2022, il rapporto "**Antarctic Climate Change and the Environment: A Decadal Synopsis and Recommendations for Action**" (Chown et al. 2022) presentato al XLIV ATCM, ha sottolineato l'urgenza della crisi climatica che ha colpito anche il continente antartico, evidenziando come questa regione sia strettamente legata alla Terra nel suo insieme, e come sia prioritaria la ricerca globale congiunta relativa all'impatto di questi cambiamenti sulla biodiversità e il funzionamento dell'Oceano Meridionale rappresenti che a loro volta sono fondamentali per il funzionamento di una larga parte degli ecosistemi globali e per il benessere umano.

Nei prossimi anni, SCAR si impegnerà a orientare la priorità della ricerca allo studio, la protezione e il ripristino della regione antartica. A tal fine, SCAR cercherà di garantire che la ricerca sia effettivamente supportata e facilitata a livello globale, in modo che i suoi risultati siano comunicati in modo efficiente alla società e ai decisori, stabilendo così una comprensione più completa e dettagliata degli elementi più critici dei sistemi biologici e fisici e le loro interazioni in Antartide e nell'Oceano meridionale (cfr. rapporto *Antarctic Climate Change and the Environment: A Decadal Synopsis and Recommendations for Action*).

Il 5° Anno Polare Internazionale (IPY) pianificato tra il 2032 e 2033 dalla collaborazione tra l'International Arctic Science Committee (IASC) e dallo SCAR, offrirà un'importante opportunità per colmare importanti lacune

conoscitive attraverso azioni mirate e coordinata a livello globale necessarie per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite. Oltre a IASC e SCAR, il 5° IPY è sostenuto anche dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), dall'International Science Council (ISC), dall'Università dell'Artico, **dall'International Arctic Social Sciences Association (IASSA)**, dall'**Association of Polar Early**.

Queste collaborazioni saranno fondamentali per condividere i dati biologici, ecologici e ambientali raccolti in Antartide, e per analizzare la biodiversità marina e terrestre a tutti i livelli (dai microbi, ai funghi, dalle microalghe alle comunità simpagiche), analizzare le reti trofiche, effettuare studi di *bioprospecting*, e alla ricerca biotecnologica (e.g., enzimi adattati al freddo e metaboliti secondari, sempre nell'ambito dei principi guida della comunità scientifica internazionale e del Codice di condotta SCAR - CoC).

5.3 Astronomia, astrofisica e space weather

L'Antartide è un sito privilegiato dal quale è possibile studiare processi fisici che avvengono nello spazio vicino e nell'universo. Sul plateau antartico, infatti, si hanno trasparenza e stabilità atmosferiche elevatissime. Inoltre, lo studio delle relazioni Sole-Terra e dello spazio vicino avviene attraverso le osservazioni della forte variabilità dell'alta atmosfera, e del suo accoppiamento con il vento solare, fortemente caratterizzata dall'ingresso di particelle cariche che, per la conformazione del campo magnetico terrestre, penetrano più facilmente nelle zone polari.

È stato ampiamente documentato (ad es. dai Programmi SCAR, come AAA (*Astronomy & Astrophysics from Antarctica*), dalla visione europea di ARENA, dal programma CMB-S4) come il plateau antartico sia particolarmente adatto per le misure che richiedono un tempo di osservazione lungo in condizioni ambientali stabili, difficilmente ottenibili in altri siti osservativi.

Di seguito sono riportate le tematiche scientifiche di interesse in ambito astrofisico e spaziale agevolate dalle condizioni ineguagliabili del plateau antartico.

- **Le condizioni ambientali del plateau sono fondamentali per le osservazioni dell'Universo primordiale attraverso la Radiazione Cosmica nelle Microonde (Cosmic Microwave Background, CMB)**, in particolare per la misura dei modi-B di polarizzazione, che sono generati dal fondo di onde gravitazionali originatesi durante il periodo di *Cosmic Inflation*, e per la misura delle distorsioni spettrali della CMB, generatesi sia durante *l'Inflation* sia durante fasi evolutive successive dell'universo caratterizzate da leggero non equilibrio, dovuto, ad esempio, al decadimento di particelle instabili, o ai primi eventi di formazione stellare. Queste misure sono quindi di estremo interesse sia per la cosmologia che per la fisica fondamentale.
- **L'elevata qualità dell'atmosfera al di sopra del plateau antartico consente di effettuare osservazioni in bande di frequenza che in altri siti risulterebbero proibitive, in modo particolare nel vicino, medio e lontano infrarosso.** Nel sub-millimetrico si possono effettuare studi cosmologici con osservazioni di oggetti ad alto redshift, come ad esempio gli ammassi di galassie. Nel medio e vicino infrarosso si possono osservare sorgenti di particolare interesse come regioni di formazione stellare, supernovae e resti di supernova, nane brune e pianeti extrasolari. La lunga notte antartica facilita inoltre lo studio dei fenomeni transienti associati a queste sorgenti.
- **Durante l'estate antartica il Sole è visibile di continuo per diversi mesi. Questo, in aggiunta al basso seeing atmosferico del plateau, favorisce l'osservazione del Sole, ed in particolare della corona solare, dei buchi coronali, o delle regioni attive, con qualità ineguagliabile altrove.** Si può così studiare la fisica del plasma solare ed i processi che danno luogo al rilascio esplosivo di energia e materia, come le espulsioni di massa coronale (CME, *Coronal Mass Ejections*). La piena comprensione di questi processi è importante anche perché danno origine a fenomeni che possono avere un'influenza diretta sulle attività umane.
- **Le strutture di plasma del vento solare, i transienti interplanetari che hanno origine nell'atmosfera solare, e i fasci di particelle energetiche solari (SEPs) emesse in associazione ai brillamenti e alle CME, possono influenzare significativamente lo spazio intorno alla Terra, la magnetosfera e la ionosfera.** Questi fenomeni possono provocare effetti negativi sulle infrastrutture tecnologiche, disturbando le comunicazioni e i sistemi di navigazione, e sulla salute umana, esponendo i passeggeri di voli di linea e gli astronauti a elevati livelli di radiazione. La ricerca condotta in Antartide ha un'importanza cruciale per la comprensione dei processi di fisica spaziale alla base dello *Space Weather* e per aumentare la capacità di previsione degli effetti da questo provocati.



Coronografo Solare - installato a Dome-C, presso la stazione Concordia

5.3.1 Priorità scientifiche

- **Osservazioni dell'universo primordiale**, ed in particolare delle distorsioni spettrali del CMB, possibili solo da Concordia (esperimento COSMO)
- **Osservazioni dell'universo nel visibile e nell'infrarosso** (osservazione di esopianeti, regioni di formazione stellare, sorgenti galattiche, galassie, ammassi di galassie) (Telescopio ITM)
- **Osservazioni solari coronografiche (esperimento ESCAPE) e monitoraggio del sole nelle microonde (osservatorio SOLARIS)**
- **Osservazioni del sistema magnetosfera-ionosfera** nell'ambito delle relazioni Sole-Terra (*Space-Weather*) per mezzo degli Osservatori Permanenti (radar DCE e DCN di SuperDARN, Osservatorio ISACCO e Osservatori Geomagnetici), delle camere aurorali e delle misure di variabilità raggi cosmici. Tali osservazioni sono potenziate attraverso un importante impegno di coordinamento internazionale grazie ai programmi AGATA e GRAPE.

5.3.2 Approcci scientifico-metodologici

I progetti osservativi in cosmologia, specialmente per la CMB, richiedono strumentazione avanzata. I rivelatori, altamente sofisticati, sono fondamentali per rilevare segnali deboli, e la strategia osservativa svolge un ruolo chiave in questo processo.

La dimensione della strumentazione influisce direttamente sulla sensibilità. Obiettivo dell'esperimento COSMO è la misura delle distorsioni spettrali della CMB. COSMO è una collaborazione internazionale a leadership italiana, nel quale si impiega un gran numero di rivelatori a induttanza cinetica realizzati in Italia grazie a un finanziamento PNRA tecnologia. La strategia osservativa include due livelli di modulazione (angolare e spettro-interferometrica) per assicurare il controllo accurato degli effetti sistematici.

Nel caso di osservazioni di sorgenti, siano esse ammassi di galassie, o stelle in formazione, o pianeti extra-solari (ITM International Telescope Maffei a Concordia) o il monitoraggio del sole nelle microonde (osservatorio Solaris), la bassissima emissione atmosferica nel visibile, nell'infrarosso e alle microonde compensa la relativa risoluzione angolare consentita dai telescopi in uso a Concordia. Tuttavia, in presenza di una logistica più efficiente, telescopi con specchi di ampio diametro (2-10 metri in infrarosso o sub-millimetrico) sono preferiti.

Da diversi anni il compito di raffreddare a temperature criogeniche questi rivelatori è affidato a refrigeratori a tubo pulsato, che sostituiscono l'elio liquido, di difficilissima gestione ed elevatissimo costo specialmente in situazioni remote come le basi antartiche. Questi refrigeratori richiedono una potenza elettrica dell'ordine di 15kW. Progetti di questa portata richiedono quindi supporto logistico e stazioni funzionali sia nell'implementazione che nella raccolta dati.

Lo studio delle relazioni Sole-Terra e dello *Space Weather* richiede un sistema integrato di osservatori. La rete SuperDARN di radar ad alta frequenza (HF), le ionosonde e i ricevitori GNSS per scintillazioni ionosferiche

studiano la dinamica della convezione ionosferica e la variabilità spazio-temporale della densità elettronica in alta atmosfera.

Gli osservatori geomagnetici sono cruciali per raccogliere dati a lungo termine e su varie scale temporali sul campo geomagnetico. La collocazione geografica degli osservatori geomagnetici nella rete di stazioni a Mario Zucchelli, Dumont d'Urville e Scott Base (lungo il parallelo geomagnetico a 80°S) è ideale per studi longitudinali delle variazioni del campo magnetico esterno.

Concordia, vicina al polo geomagnetico, permette poi lo studio delle variazioni latitudinali. Gli osservatori aurorali, la strumentazione per le osservazioni della corona solare ed il monitoraggio del sole in microonde a Concordia e le misure della componente cosmica particellare, completano la caratterizzazione fenomenologica dello *Space Weather*.

I dati degli Osservatori sono messi a disposizione della comunità scientifica attraverso numerose banche dati; per l'alta atmosfera www.eSWua.ingv.it. Le informazioni caratterizzanti dei dati sono poi rese disponibili a tutta la comunità scientifica attraverso il portale del PNRA.

5.3.3 Il contesto internazionale di riferimento

L'esperimento COSMO, a cui partecipano Italia, Francia, UK e USA, è il primo passo di un programma internazionale a lungo termine per lo studio delle distorsioni spettrali CMB, che proseguirà con una misura da pallone stratosferico circum-antartico a lunga durata (NASA-CSBF e ASI, e uno studio di fase A BISOU, su pallone da emisfero nord, è stato recentemente finanziato da CNES), seguita da una grande missione ESA VOYAGE-2050.

Va rimarcata inoltre la sinergia col grande sforzo internazionale per la misura dei modi B della polarizzazione del CMB, per la quale NSF ha investito molti milioni per la realizzazione Pole del *South Telescope* e dell'esperimento BICEP-Keck presso *South Pole Station*, con una continuazione altrettanto ambiziosa e impegnativa nel progetto CMB-S4. Sia la misura delle distorsioni spettrali che quella dei modi-B della polarizzazione sono sinergiche nell'usare il CMB per studiare la fisica dei primi attimi dopo il big bang.

L'osservazione di diverse sorgenti nella finestra Infrarossa è preferita rispetto al visibile a causa della presenza di polvere interstellare. Telescopi in questa banda possono operare solo da siti come Concordia. In questo ambito è in fase di valutazione da parte di IPEV la proposta di un telescopio Franco-Australiano, "Cryoscope", completamente criogenico. Il *pathfinder* potrebbe essere già operativo nel 2025-26, mentre il telescopio di classe 1 metro sarà pronto nel 2030.

I due radar HF di Concordia sono parte della rete internazionale Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) dedicata allo studio della ionosfera ad altitudini comprese fra i 100 ed i 400 km. Fanno parte della rete più di 30 radar ad alta frequenza (8-20 MHz) dislocati nelle zone aurorali e subaurorali in entrambi gli emisferi.

SuperDARN è stata realizzata e viene mantenuta grazie al comune sforzo di Istituti di ricerca, Università e Enti finanziatori di dieci nazioni: Australia, Canada, Cina, Francia, Giappone, Inghilterra, Italia, Norvegia, Sud Africa e Stati Uniti.

Il monitoraggio e lo studio dell'atmosfera polare neutra e ionizzata sono il focus dello SCAR *Scientific Research Programme Planning Group* (PPG) AGATA (*Antarctic Geospace and Atmosphere research*), in corsa per il riconoscimento di *Scientific Research Programme* (SRP).

Attualmente nello SCAR sono attivi solo 3 SRPs e nessuno di loro riguarda lo spazio circumterrestre, sarebbe quindi di grande importanza un supporto nazionale che contribuisca allo sforzo internazionale di coordinamento e collaborazione di diverse comunità, quali quella geodetica, astrofisica e atmosferica.

AGATA è a guida italiana e nasce da un'iniziativa dello SCAR *Expert Group GRAPE* (*GNSS Research and Application for Polar Environment*), ora confluito in AGATA, e vede la partecipazione di circa 30 nazioni che rappresentano tutti i continenti. La richiesta di approvazione come SRP verrà votata dai delegati SCAR durante il prossimo meeting previsto a fine agosto 2024 a Punta Arenas in Cile. <https://scar.org/science/research-programmes/agata>

5.4 Impatto antropico e contaminazione ambientale

L'Antartide è sempre più contaminato da inquinanti chimici di varia natura e tossicità, sia a causa di fonti locali come le attività delle basi scientifiche, la pesca e il turismo, che di attività svolte alle medie latitudini che impattano l'ecosistema antartico attraverso processi di trasporto a lungo raggio per via atmosferica, marina e biologica. Perciò, lo studio della presenza di contaminanti classici (es. metalli pesanti e composti organici persistenti) ed emergenti (es. ritardanti di fiamma, prodotti farmaceutici, nanoparticelle e microplastiche) e il loro impatto sull'ambiente antartico, costituisce un obiettivo fondamentale di numerosi programmi di ricerca e una priorità dei principali organismi scientifici internazionali.

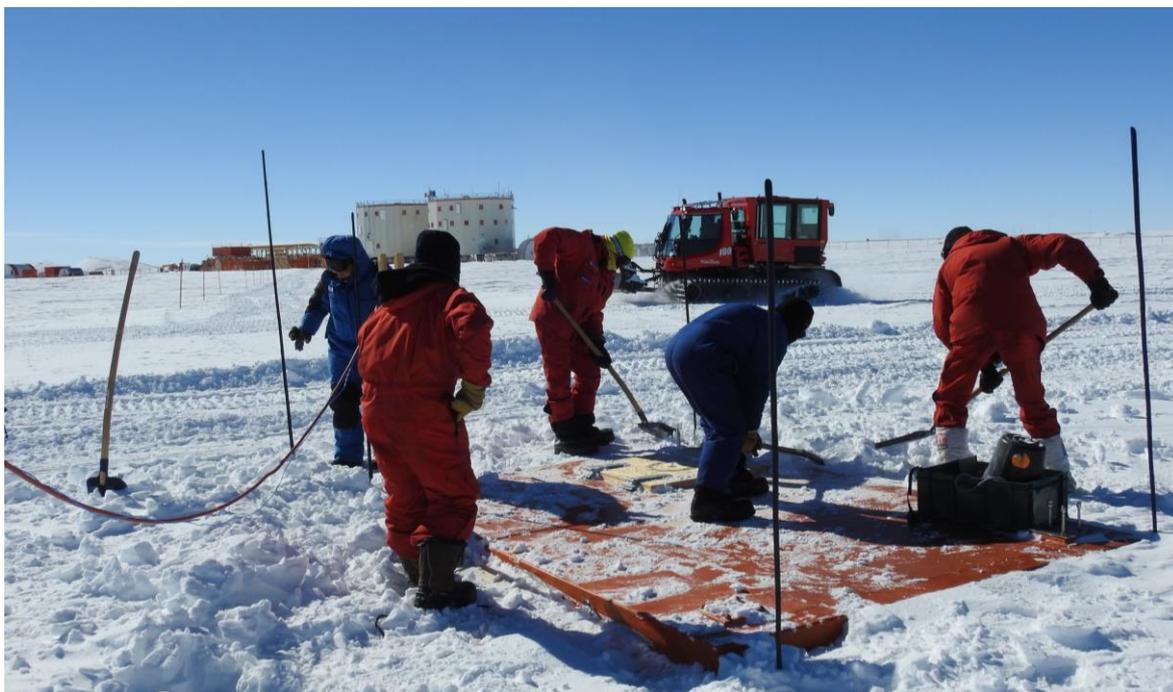
Lo SCAR *Horizon Scan* indica tra le domande scientifiche fondamentali, riprese nel Piano Strategico 2023-2028, la necessità di chiarire l'effetto dei contaminanti emergenti sul biota antartico (Q52), l'esposizione e la risposta degli organismi e degli ecosistemi ai contaminanti atmosferici e se la distribuzione e le sorgenti di tali contaminanti siano soggette a cambiamento (Q53).

Ulteriori domande relative all'impatto antropico riguardano la distinzione tra cambiamenti ambientali naturali e indotti dall'uomo (Q74) e l'impatto su larga scala dei cambiamenti diretti in Antartide (Q75).

L'attenzione dello SCAR per la tematica della contaminazione chimica è inoltre dimostrata da numerosi documenti della ATCM (XXXI/IP097, XXXII/IP069, XL/IP022, XLIII/IP021, XLIV/WP011, XLV/BP015)¹ e dall'istituzione di due Action Group: ImpACT (*Input Pathways of Persistent Organic Pollutants to Antarctica*)² and PLASTIC (*Plastics in Polar Environment*)³.

A livello europeo, il consorzio EU-Polarnet 2 ha identificato l'impatto antropico come una delle dieci priorità della ricerca polare come riportato nell'*European Polar Research Programme* (EPRP) e nei White Papers, sottolineando la necessità di comprendere più a fondo l'impatto della contaminazione ereditata dal passato e l'effetto cumulativo e sinergico dei contaminanti⁴.

Il workshop internazionale "*Act now – Legacy and Emerging Contaminants in Polar Regions*" ha discusso il potenziale impatto delle sostanze chimiche nelle regioni polari, concludendo che tutte le parti interessate devono unire le forze per sostenere lo sviluppo di programmi di monitoraggio armonizzati per una migliore valutazione dei contaminanti nelle regioni polari⁵. In tale ambito, è sottolineata l'importanza di facilitare l'accesso e la condivisione di dati e campioni, che costituisce uno dei sette obiettivi del Piano Strategico 2023-2028 dello SCAR.



Uomini al lavoro a Dome-C - presso la Stazione Concordia

5.4.1 Priorità scientifiche

Sorgenti

- Studio delle sorgenti della contaminazione chimica.
- Discriminazione tra sorgenti locali e remote, e tra apporti naturali e antropici.

Processi

- Studio dei processi di trasporto, accumulo e trasformazione di contaminanti chimici nell'ecosistema marino e terrestre, in relazione ai parametri climatici e al loro cambiamento.
- Studio dei processi di trasferimento di contaminanti chimici tra comparti ambientali, con particolare riferimento alle interfacce aria/neve e ghiaccio marino/mare.
- Studio dell'aerosol e delle deposizioni atmosferiche di contaminanti chimici, con particolare attenzione alle distribuzioni spaziali e temporali in relazione ai parametri climatici.

Impatto

- Valutazione dell'impatto dei contaminanti chimici sul biota, sia a livello di specie che di ecosistema, mediante la misura delle risposte biologiche a livello cellulare e sistemico.
- Studio dell'effetto dei cambiamenti climatici sulla biodisponibilità di microinquinanti e micronutrienti nell'ambiente e sul loro trasferimento lungo le catene alimentari.

Networking

- Promozione e partecipazione alla costituzione di una rete di monitoraggio trans-nazionale e pan-Antartica per facilitare l'accesso e la condivisione di dati e campioni.
- Impiego della Banca Campioni Ambientali Antartici (BCAA) in sinergia con il gruppo internazionale delle banche campioni ambientali⁶ in studi retrospettivi e nell'armonizzazione delle procedure analitiche.

5.4.2 Approcci scientifico-metodologici

Le metodologie e gli strumenti che potranno essere utilizzati sono stati sviluppati e ottimizzati nel corso dei precedenti progetti di ricerca in ambito PNRA, e continuamente aggiornati in funzione di nuovi analiti d'interesse e dello sviluppo delle tecniche analitiche stesse. In particolare, potranno essere utilizzati protocolli e strumenti consolidati per il campionamento delle diverse matrici ambientali, e strumentazione d'avanguardia per la successiva analisi chimica e biologica.

Per quanto riguarda le aree geografiche di studio, se per la natura intrinseca della tematica, l'intero continente antartico e l'Oceano Meridionale sono d'interesse per lo studio della contaminazione chimica, è innegabile che ci siano delle aree privilegiate, sia per motivi logistici che scientifici.

Baia Terra Nova rappresenta un sito ideale per studiare l'effetto dei contaminanti sull'ambiente marino costiero e la loro evoluzione nel tempo, ed è strategica per la presenza dell'area marina protetta, dove meglio che altrove è possibile monitorare lo stato di salute del pianeta e l'efficacia delle misure di protezione dell'ambiente antartico. Analogamente, esistono aree di speciale interesse ecologico, quali Cape Washington, Edmonson Point, Inexpressible Island e altre.

Per lo studio della contaminazione chimica a lungo raggio, le aree vicine alle stazioni Mario Zucchelli e Dome Concordia rappresentano siti ideali per l'acquisizione di dati chimici prolungati nel tempo, anche in sinergia con l'osservatorio permanente CATCH-O (*Atmospheric chemistry – observatory*) a Dome Concordia. Infine, lo studio della contaminazione chimica in Antartide può essere esteso all'Oceano Meridionale, grazie alle opportunità logistiche offerte dalle campagne oceanografiche, consentendo lo studio dei microinquinanti nell'ecosistema marino, accanto a micronutrienti quali il ferro, importante fattore limitante della crescita fitoplanctonica e potenziale fertilizzante per abbattere la CO₂ atmosferica.

5.4.3 Il contesto internazionale di riferimento

Pur presentando interazioni con vari ambiti scientifici (chimica dell'atmosfera, oceanografia chimica, biologia, ecologia, ecotossicologia, etc.), il principale contesto di riferimento SCAR dell'impatto antropico è costituito dalle *Life Sciences*, in particolare dai gruppi di azione IMPACT (*Input Pathways of Persistent Organic Pollutants to Antarctica*) e PLASTIC (*Plastics in Polar Environment*).

Il gruppo IMPACT ha lo scopo di coordinare le indagini sugli apporti chimici nella regione antartica, sia in relazione alla Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti, sia al protocollo sulla protezione ambientale del trattato antartico (protocollo di Madrid). Il gruppo PLASTIC ha come obiettivo lo studio della presenza, origine ed effetti biologici di macro, micro e nanoplastiche, proponendo soluzioni per ridurre al minimo il rischio ambientale e l'impatto sugli ecosistemi polari.

Infine, un fondamentale contesto internazionale di riferimento sarà costituito dal programma AnMAP⁷, iniziativa di IMPACT sviluppata in collaborazione con l'*Arctic Monitoring and Assessment Programme* (AMAP) e ospitato dalla Griffith University, che mira a fornire informazioni scientifiche sulle principali minacce legate all'inquinamento da contaminanti chimici e ai cambiamenti climatici globali e indicazioni in merito ad azioni preventive e correttive.

AnMAP è anche un progetto di *Decade of Ocean Science for Sustainable Development* (2021-2030) delle Nazioni Unite, che ne dimostra l'attualità e importanza a livello globale. Il 25 agosto 2023 AnMAP è stato riconosciuto ufficialmente dallo SCAR⁸.

1. <https://www.ats.aq/e/atcm.html>
2. <https://www.scar.org/science/impact/home>
3. <https://www.scar.org/science/plastic/home>
4. <https://eu-polarnet.eu/publications>
5. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/act-now-legacy-emerging-contaminants-in-polar>
6. <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/chemicals/international-environmental-specimen-bank-group>
7. <https://oceandecade.org/actions/the-antarctic-monitoring-and-assessment-programme-anmap>
8. <https://www.scar.org/general-scar-news/anmap-scar>

5.5 Biomedicina e psicologia

L'Antartide rappresenta il contesto ambientale ideale per la realizzazione di numerosi progetti scientifici in ambito biomedico e psicologico. Il comune denominatore degli studi finora pubblicati e di quelli attualmente in fase di progetto è la fisiologia della relazione stress – adattamento, analizzata da molteplici punti di vista nelle sue

ricadute sia su organi, apparati e funzioni, sia sulla psicologia dei singoli partecipanti alle spedizioni e sulle dinamiche relazionali.

Ulteriore particolarità dell'ambiente antartico è il fatto che nelle ricerche in ambito biomedico, a differenza delle altre discipline, l'osservatore e il campione oggetto della ricerca coincidono, avendo infatti come campione i partecipanti stessi alla spedizione, siano essi i ricercatori o partecipanti in qualità di addetti a vario titolo alla logistica.

Gli ambiti per lo studio della relazione stress-adattamento vanno letti, quindi, con la duplice valenza dell'utilità scientifica e della ricaduta in termini di sicurezza e prevenzione per gli stessi operatori.



Winterover sottoposto a test medici presso la Stazione Concordia

5.5.1 Priorità scientifiche

Le problematiche scientifiche di maggiore interesse possono essere raggruppate in almeno sei aree tematiche:

- **Effetto degli ambienti isolati e confinati (I.C.E.) sullo stress psico – neuro – endocrino – immunitario** effettuato mediante studi dei biomarkers dello stress ossidativo e dell'infiammazione, correlandoli alle ricadute sulle funzioni immunitarie, endocrine, cardiovascolari e sulla fertilità, sulle funzioni cerebrali e sugli indici di neuroplasticità, sulle performances cognitive e loro correlati anatomico – funzionali.
- **Effetti del freddo e degli stress ipossico e disbarico sulle funzioni cardiovascolari e polmonari** analizzati sotto l'aspetto delle modifiche indotte da questi stressor sulle performance cardiovascolari, sulla soglia anaerobica e sulla modulazione dei meccanismi di adattamento all'ipossia ipobarica. Particolare interesse desta la possibilità di studio delle correlazioni tra polimorfismi genetici e l'insorgenza di patologia disbarica, in particolare l'edema polmonare (e/o cerebrale) da alta quota e l'edema polmonare da immersione.
- **Effetti epigenetici dell'esposizione prolungata ad ambienti isolati e confinati in condizioni di deprivazione di luce solare.** Tali condizioni, protratte nel corso della stagione invernale costituiscono il modello sperimentale ideale per valutare l'espressione o la repressione genica indotte dalle condizioni ambientali, con le conseguenti modifiche dell'"orologio biologico".
- **Studio delle variazioni del microbioma intestinale al fine di migliorare e ottimizzare il supporto nutrizionale dei partecipanti alle spedizioni antartiche nel lungo periodo.** Obiettivi dello studio saranno la valutazione della resilienza metabolica, della stabilità o variabilità del microbiota intestinale e delle variazioni nella composizione corporea.
- **Valutazione, sperimentazione ed implementazione dei sistemi di telemedicina e teleassistenza al fine di migliorare la sicurezza e l'assistenza anche da remoto dei partecipanti alle spedizioni,** con sperimentazione di sistemi avanzati di analisi e trasmissione dati

anche mediante ausilio di sistemi di intelligenza artificiale. In tale ambito andrà compresa anche la sperimentazione di sistemi di monitoraggio indossabili utili per la registrazione e trasmissione in continuo di parametri fisiologici del personale impegnato in attività ad alto impatto cardiovascolare, ad esempio in corso di immersioni o per il personale impegnato in campi remoti.

- **Applicazioni della ricerca traslazionale con valutazione delle ricadute della ricerca biologica di base sull'uomo.**

5.5.2 Approcci scientifico-metodologici

Gli studi in ambito biomedico proposti per la loro realizzazione in Antartide saranno essenzialmente finalizzati allo studio della relazione Stress – Adattamento e si svilupperanno secondo le direttrici evidenziate tra le problematiche scientifiche.

Le ricerche proposte, in parte si riallacceranno a filoni di ricerca già condotti nel corso di programmi precedenti, costituendone lo sviluppo o l'integrazione, mentre altri saranno totalmente innovativi, quali ad es., gli studi genetici o di telemedicina.

Entrambe le stazioni di ricerca di Dome C e Mario Zucchelli saranno utilizzate per via delle opportunità di studio che esse offrono con le loro peculiarità; in maggior dettaglio, la stazione di Dome C per le sue caratteristiche è il laboratorio ideale per lo studio degli effetti della permanenza e convivenza di lungo periodo in ambienti isolati e confinati (ICE) e per gli effetti dell'ipossia ipobarica, siano questi di breve o di lunga durata.

Per una piena valorizzazione di questo laboratorio scientifico avranno ampio spazio le collaborazioni con le agenzie spaziali italiana (ASI) ed europea (ESA) in considerazione delle documentate analogie tra le problematiche mediche e ambientali di Dome C e quelle delle stazioni spaziali.

La stazione Mario Zucchelli, per la sua collocazione costiera e per l'intensa attività di biologia marina subacquea effettuata nella stagione estiva sarà oggetto degli studi sugli effetti dell'iperbarismo e sul monitoraggio dell'operatore subacqueo, mentre, in virtù della sua funzione di Hub per spedizioni in campi remoti, potrà costituire il modello per la validazione di sistemi sperimentali di telemedicina e teleassistenza aprendo, anche per questa stazione, grandi opportunità di collaborazioni scientifiche tra numerosi enti di ricerca, universitari e non.

A questo proposito, grande importanza sarà attribuita all'armonizzazione delle ricerche proposte con i filoni di ricerca internazionali stabiliti in ambito del *Joint Expert Group on Human Biology and Medicine* (JEGHBM).

Le metodologie utilizzate negli studi proposti saranno sovrapponibili a quelle utilizzate nei progetti precedenti, cercando di ottimizzare le dotazioni e gli strumenti delle stazioni, siano essi presenti a scopi scientifici o per assistenza medica. Notevole innovazione sarà l'arrivo di uno strumento per la RMN portatile, frutto della collaborazione con l'ESA, utilizzato per lo studio delle correlazioni anatomo-funzionali cerebrali.

Se non analizzabili in loco i campioni in esame saranno trasportati presso i laboratori interessati specificando le modalità di trasporto e cercando di minimizzare l'impatto sulla logistica.

5.5.3 Il contesto internazionale di riferimento

Nell'ambito SCAR è attivo il *Joint Expert Group on Human Biology and Medicine* (JEGHBM), che mira a coordinare le conoscenze e l'esperienza internazionale di medici, psicologi, fisiologi umani e biologi che sono attivamente impegnati nel supporto medico dell'attività antartica, nonché nella ricerca biomedica in Antartide. Questo sforzo include collegamenti attivi e integrazione per lavorare nella biologia umana e nella medicina nell'Artico, nelle missioni spaziali e in altri ambienti estremi, remoti e ostili.

<https://scar.org/science/life/jeghb>

6. Il sistema degli osservatori permanenti

Il compito di ogni programma nazionale antartico è di raccogliere con sistematicità e continuità dati di natura fisica, chimica e biologica nell'ambiente antartico e di diffonderli.

Gli osservatori permanenti svolgono attività di raccolta di osservazioni e di dati di interesse generale, nazionale ed internazionale, che implica la standardizzazione della raccolta dei dati, l'automatizzazione dei sistemi osservativi e ove possibile la trasmissione in tempo reale. La responsabilità della conduzione, manutenzione periodica della strumentazione, dei sistemi di conservazione e della diffusione dei dati è affidata a un'entità con personalità giuridica (ente pubblico di ricerca, università, etc.) che ne assicura la continuità nel tempo e ne propone il coordinatore scientifico. Quest'ultimo è impegnato a mantenere aggiornato un sito web dedicato, tramite il quale sia possibile scaricare pubblicamente e apertamente i dati raccolti, produrre un rapporto biennale e un rapporto finale alla conclusione del quadriennio di attività.

Nel 2023, a seguito di uno specifico bando del 2022, è stato confermato per un quadriennio un nuovo ciclo di attività osservativa presso la stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova, la stazione Concordia a Dome C ed in altre regioni. Alcuni degli osservatori operano su più stazioni del PNRA. Inoltre, sono stati attivati 5 nuovi osservatori che hanno allargato la platea delle osservazioni sistematiche e consentiranno di arricchire il patrimonio di misure continue del PNRA.



Osservatorio meteo-climatologico installato presso la Stazione Mario Zucchelli

Osservatori operanti presso la stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova:

- **Osservatorio Meteo Climatologico Antartico Italiano (ENEA);**
- **Osservatori Sismologici Permanenti A MZS e Concordia (INGV);**
- **Osservazioni in alta atmosfera e meteorologia spaziale (INGV);**
- **Osservatori geomagnetici permanenti italiani per gli studi di Terra Solida e la Meteorologia Spaziale in Antartide (INGV);**
- **Osservatorio Geodetico Italiano in Antartide (Università di Modena e Reggio Emilia);**
- **SOLARIS: un sistema intelligente di imaging solare ad alta radiofrequenza per il monitoraggio solare continuo e applicazioni di meteorologia spaziale (INAF);**
- **Osservatorio vulcanologico italiano in Antartide (INGV);**
- **Rete del permafrost e della vegetazione nell'Antartide continentale (Università degli Studi dell'Insubria);**
- **Un sistema di osservazione terrestre antartico per rilevare, comprendere e interpretare le comunità microbiche antartiche e le loro risposte ai cambiamenti ambientali (Università degli Studi della Toscana).**

Osservatori operanti presso la stazione Concordia a Dome C:

- **Osservatorio Meteo Climatologico Antartico Italiano (ENEA);**
- **Osservatori Sismologici Permanenti A MZS e Concordia (INGV);**
- **Osservazioni in alta atmosfera e meteorologia spaziale (INGV);**
- **Osservatori geomagnetici permanenti italiani per gli studi di Terra Solida e la Meteorologia Spaziale in Antartide (INGV);**
- **Osservatorio LIDAR a Dome C (CNR);**
- **Radar ionosferici HF DCE e DCN a Concordia - SuperDARN (INAF);**
- **Misure superficiali accurate di diversi parametri all'Interfaccia tra l'atmosfera e la superficie di ghiaccio/neve: flussi di radiazione, temperature superficiali e precipitazioni presso la stazione Concordia (CNR);**
- **Osservatorio Chimica dell'atmosfera a Concordia – (Università degli Studi di Firenze).**

Osservatori operanti in altre regioni:

- ***Rete sismografica antartica a banda larga nel Mar di Scozia e nelle aree circostanti (OGS);***
- ***Osservatorio Marino nel Mare di Ross (MORSea - Università degli Studi di Napoli Parthenope).***

La recente istituzione dell'area marina protetta del Mare di Ross, la più estesa area protetta esistente, ha evidenziato il ruolo strategico che le osservazioni oceanografiche rivestono per questa zona che necessita un monitoraggio continuo ed esteso spazialmente.

A tal proposito la CSNA propone di considerare strategico l'Osservatorio Marino MORSea, che vanta le più lunghe serie temporali esistenti nell'area, assicurandone il funzionamento per il prossimo triennio con una opportuna dotazione finanziaria definita annualmente nell'ambito dell'AEA di riferimento a valere sulla voce GIC.

7. Tecnologia in Antartide

Le tecnologie innovative sono in grado di trasformare la ricerca in Antartide, aumentando la portata delle indagini e migliorando al tempo stesso la logistica di supporto alla scienza, data anche l'enorme difficoltà di operare per lunghi periodi e in modo autonomo in condizioni ambientali proibitive.

Lo sviluppo di strumentazione innovativa spazia dalla sensoristica elettro-ottica alle piattaforme autonome, dai sistemi di comunicazione e connettività terrestri e satellitari alle modalità di trasporto, a quelle di produzione di energia elettrica.

Le sfide tecnologiche che si presentano producono innovazione tecnologica che permette non solo un avanzamento delle conoscenze scientifiche ma anche un contenimento dei costi delle campagne di ricerca. Appare quindi di fondamentale importanza diffondere tra i vari gruppi di ricerca in Antartide l'idea di un utilizzo sempre più ampio di tecnologie innovative, aumentando le capacità logistiche a sostegno della scienza.

7.1 Tecnologia per l'ambiente

I cambiamenti climatici richiedono iniziative che permettano di ridurre l'impatto umano sul clima, specialmente in un continente tanto isolato quanto fragile come l'Antartide.

Le basi in Antartide possono diventare un importante esempio e un laboratorio di sperimentazione di tecnologie alternative ed ecosostenibili, così come suggerito da esperienze condotte sul solare fotovoltaico e sull'eolico, da svilupparsi all'interno di una rete elettrica intelligente (*smart grid*) e introducendo ulteriori tecnologie energetiche green, come le celle a combustibile.

In parallelo, si deve proseguire con la riduzione dei consumi nelle basi, l'efficiamento energetico delle infrastrutture e l'ammodernamento degli impianti tecnologici.

7.2 Collaborazione con le Agenzie Spaziali

Accrescere la dotazione infrastrutturale della base MZS per lanci di payloads stratosferici, in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana e con altre agenzie (e.g. ESA, NASA), consentirebbe di incrementare le attività di ricerca nell'emisfero australe, stimolando la comunità scientifica a programmare missioni scientifiche che utilizzino palloni di medio-piccole dimensioni per voli polari di breve e lunga durata, con possibili vantaggi legati alle particolari condizioni meteo-climatiche dell'Antartide.

Le collaborazioni con le agenzie spaziali dovrebbero anche prevedere attività di telerilevamento da satellite. In particolare, potrebbero essere promosse attività di calibrazione e validazione di dati satellitari utilizzando le risorse e le piattaforme disponibili presso il programma.

7.3 Le piattaforme autonome per la ricerca scientifica

Le piattaforme autonome si stanno trasformando in strumenti fondamentali per affrontare le grandi sfide della ricerca, in particolare in aree remote come l'Antartide. Gli aspetti positivi del loro utilizzo sono la riduzione dei costi operativi e la capacità di operare per periodi prolungati e in zone rischiose, dove l'uomo difficilmente può operare.

Tra le piattaforme autonome si annoverano: *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), velivolo pilotato da remoto o autonomo; *Uncrewed Surface Vessel* (USV), natante senza pilota che naviga sulla superficie del mare; *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV), mezzo sottomarino autonomo senza operatore; *Remotely Operated Vehicle* (ROV), robot sottomarino connesso con cavi a un operatore su una nave.

L'impiego di tali piattaforme per la raccolta dati è multidisciplinare e i risultati ottenuti sui fenomeni investigati diventano ancora più significativi, grazie all'estensione spaziale e temporale delle misure effettuabili.

7.4 Aereo multipiattaforma

I mezzi aerei vengono ampiamente utilizzati per la logistica del PNRA, che ha aumentato le capacità specialistiche del personale. Un loro utilizzo anche per la ricerca in Antartide permetterebbe una migliore comprensione scientifica dei processi ambientali su larghissima scala spazio-temporale, dove mezzi di terra o droni non possono arrivare.

Appare quindi auspicabile ampliare la capacità osservativa, investendo su un velivolo equipaggiato con strumentazione innovativa che permetta la realizzazione di ambiziosi programmi di ricerca internazionali a lungo termine.

La strumentazione ospitata su tale velivolo deve essere multidisciplinare (con tematiche di ricerca che vanno dalla geofisica alla glaciologia, dalla fisica dell'atmosfera all'astrofisica), mentre l'equipaggiamento tecnologico potrebbe essere costituito da telemetri laser a scansione, camere iperspettrali e nel visibile, radar e radiometri a bassa frequenza (anche ad apertura sintetica), radar ottici e sensori magnetici e gravimetrici, anche trainati.

7.5 Sistemi di comunicazione e trasmissione dati

I sistemi di comunicazione e trasmissione dati sono fondamentali per le attività logistiche in Antartide e per le attività di ricerca nelle basi e nei siti remoti.

Le tecnologie già realizzate e aggiornate al meglio contemplano comunicazioni tramite sistemi satellitari, tecnologia Voice over IP e tecnologie radio VHF e *Single Side Band*.

I sistemi di comunicazione sono caratterizzati da una costante innovazione tecnologica (ad esempio i sistemi a radio frequenza digitali SDR e i sistemi satellitari VSAT), che va adeguatamente assimilata per permettere evidenti miglioramenti funzionali nell'operatività dell'intero sistema PNRA, durante tutto l'anno.



Antenna VSAT - sistema di telecomunicazione satellitare

7.6 Telerilevamento

Le tecniche di telerilevamento forniscono osservazioni dell'ambiente fisico da strumenti installati in siti remoti, su aereo e su satellite. Data la vastità, la natura remota e l'ostilità dell'ambiente antartico, il telerilevamento fornisce dati non ottenibili da misure terrestri.

Un continuo investimento nel telerilevamento con l'utilizzo di nuove tecnologie digitali nell'acquisizione e nelle telecomunicazioni, quali le costellazioni di nanosatelliti (*cubesat*) a basso costo e ridotta vita media, consentirebbe un netto avanzamento delle capacità osservative delle infrastrutture di ricerca PNRA.

7.7 L'intelligenza artificiale in Antartide

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella ricerca e nella logistica in Antartide può migliorare notevolmente l'efficienza delle operazioni e contribuire a una migliore comprensione dei fenomeni fisici caratterizzanti un ambiente così particolare, purché sia garantita una connettività affidabile, l'infrastruttura hardware necessaria e il personale addestrato.

7.8 Sistemi di controllo termico e criogenico

Le tematiche di ricerca sull'universo, l'alta atmosfera e le radiazioni cosmiche necessitano di sensori molto sensibili, per i quali le tecnologie criogeniche risultano necessarie al fine di ridurre il rumore intrinseco. Essendo i liquidi criogenici di difficile approvvigionamento in Antartide, appare necessario sviluppare in loco tecnologie specifiche per ottimizzare le prestazioni dei criogeneratori e minimizzare la richiesta di potenza elettrica.

8. Specificità e diversificazione dei bandi pubblici per nuove proposte di ricerca

I bandi nazionali per la presentazione di proposte di ricerca sono emanati dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) su indicazione della Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (CSNA).

I bandi, in continuità con quanto avviato con i Bandi 2016, 2018, 2019 e 2022 avranno carattere specifico e diversificato in termini di tematiche scientifiche, infrastrutture operative, tipologia di attività, opportunità scientifiche nazionali ed internazionali. I bandi relativi ad attività di ricerca avranno, di norma, cadenza biennale o quadriennale per osservatori e Stazione Concordia. È comunque obiettivo della CSNA l’emanazione di bandi con regolarità e in coerenza con le capacità e l’uso delle infrastrutture.

È auspicabile che i bandi favoriscano la presentazione di proposte per progetti di ricerca di ampie dimensioni.

Bandi *ad hoc* su specifiche tematiche scientifiche e/o tecnologiche o di opportunità, per esempio, per la partecipazione a iniziative internazionali saranno pubblicati se e quando necessario su indicazione della CSNA.

È prevedibile anche la prosecuzione dell’emanazione di bandi con linee dedicate per lo studio e la valorizzazione di dati e reperti raccolti in precedenti spedizioni.

9. Antartide e Società civile

9.1 Le ricadute delle attività della ricerca antartica come benefici per la Società

Le ricadute di carattere sociale più direttamente collegabili alle finalità del Programma di ricerca in Antartide riguardano in primo luogo l'"arricchimento del patrimonio informativo sulle condizioni estreme tipiche del continente antartico".

Questo bagaglio di informazioni consentirà di poter approfondire e trasmettere le conoscenze sul clima antartico, le profonde trasformazioni locali come la perdita di ghiaccio, i cambiamenti nella circolazione oceanica e l'evoluzione dell'ozono atmosferico, che hanno conseguenze globali sul clima terrestre in particolare sul livello del mare e la biodiversità, e quindi con influenze sulla società tutta.

Il continente comprende circa un decimo della superficie terrestre del pianeta ma quasi il 90% del ghiaccio terrestre e circa il 70% dell'acqua dolce, qui disponibile in forma di ghiaccio. La ricchezza delle risorse marine che come pesce, krill e grandi cetacei, pone l'Antartide con i suoi oceani circostanti in primo piano nel complesso quadro della conservazione sfruttamento delle risorse ittiche oggi un oggetto di continuo e costante confronto nell'ambito del CCAMLR.

Le regioni polari sono le prime a essere colpite dal riscaldamento climatico e in Antartide sono già in corso cambiamenti drammatici.

Le piattaforme di ghiaccio galleggianti si stanno fondendo rapidamente, sollevando preoccupazioni per l'improvviso e incontrollabile innalzamento del livello del mare, forse 1,5 m nel 2100. La Penisola Antartica è uno dei luoghi che si riscaldano più rapidamente nell'emisfero australe, con temperature medie estive che aumentano di oltre 3° C tra il 1970 e il 2020.

Dagli anni '70 l'Oceano Antartico ha assorbito fino al 75% del calore in eccesso creato dall'uomo e il 40% del biossido di carbonio. Oceani più caldi e acidi stanno già avendo un impatto sugli ecosistemi antartici, con molte colonie di pinguini che si riducono e in alcuni casi scompaiono del tutto.

La ricerca polare e in Antartide in particolare, è fondamentale per la tutela degli ambienti polari, ma è indispensabile per conoscere il passato e prevedere il futuro del Pianeta e affrontare gli effetti del cambiamento climatico, preparare e mettere in atto le misure di mitigazione.

La consapevolezza della situazione presente e della possibile situazione futura, se ben comunicata presso la pubblica opinione, può aumentare la pressione sui decisori per contrastare e mitigare gli effetti distruttivi dell'aumento del livello dei mari, dell'incremento delle temperature con conseguente aumento dell'evaporazione, e della conseguente crisi idrica.

Dottorati di Ricerca

Il PNRA intende continuare a sostenere all'interno delle Azioni Esecutive Annuali l'alta formazione universitaria attraverso il sostegno del Dottorato di Interesse Nazionale in Scienze Polari (DIN-SP) - Università Ca' Foscari, Venezia e del Dottorato in Scienze e tecnologie Ambientali, Geologiche e Polari – Università di Siena (quest'ultimo finanziato da MNA).

Le Università e gli enti di ricerca fondatori sono impegnati ad attivare convenzioni con altre Università, Enti e altre istituzioni, come il PNRA.

10. Infrastrutture di supporto alla ricerca in Italia

10.1 Sorting Center - Museo Nazionale dell'Antartide "Felice Ippolito"

Il Museo Nazionale dell'Antartide ha il compito di conservare e catalogare i reperti raccolti durante le campagne Antartiche e di contribuire a mantenere l'aggiornamento delle relative banche dati a disposizione delle comunità scientifiche nazionali e internazionali. In questa prospettiva MNA partecipa con un suo specifico nodo al sistema dati NADC, mettendo in quell'ambito a disposizione, sotto forma di metadati, i suoi cataloghi.

L'attività di conservazione e classificazione che riguarda organismi biologici animali e vegetali, campioni di rocce, minerali, fossili, meteoriti, carote di ghiaccio e sedimenti, sarà, in continuità con quanto sopra riportato, portata avanti dal MNA.

Ai sensi della Convenzione tra gli Enti attuatori del PNRA di cui all'art. 6 del DI 20 luglio 2022, un'apposita convenzione verrà stipulata tra CNR e MNA per la diffusione e la divulgazione dei risultati del PNRA.

Le attività di diffusione dei risultati legate ai centri di documentazione e ai *sorting center* saranno definite e realizzate attraverso l'azione di coordinamento del Consiglio Scientifico e Programmatico.



Museo nazionale dell'Antartide – sala espositiva presso la sede di Trieste

10.2 Il Sistema Interlaboratorio Antartico

Il Sistema Interlaboratorio Antartico necessita della nomina di un nuovo Comitato, che riprenda il lavoro di censimento delle apparecchiature e definisca l'uso di eventuali residui.

10.3 Sistema di raccolta e diffusione dei dati

Tra il 2018 e il 2022 il CNR ha coordinato uno specifico progetto per lo sviluppo di un National Antarctic Data Center (NADC), coinvolgendo ENEA, INGV, INOGS, MNA. Il Data Management System (DMS), che è stato in tal modo creato, è in grado di rispondere alle raccomandazioni formulate dallo Standing Committee Antarctic Data Management (SCADM) dello SCAR, essendo stato implementato secondo i criteri dell'interoperabilità e del *brokering and data federating approach*.

Diverse centinaia di metadati sono stati inseriti nei diversi nodi del sistema, con un obiettivo ultimo di integrare e catalogare informazioni su dati e risultati raggiunti dai progetti finanziati a partire dal 2009/2010.

10.3.1 National Antarctic Data Center

La strategia di pieno sviluppo del NADC si muoverà lungo tre precise linee di azione:

- **ampliare il catalogo dei metadati.** Le informazioni di sintesi esposte attraverso il portale www.pnra.aq, secondo un format adatto a far conoscere in modo chiaro e sintetico motivazioni, scopi scientifici, risultati ottenuti anche a non esperti, saranno utile addition.
- **rinforzare ed estendere il NADC**, aggiungendo al catalogo dei metadati funzionalità e risorse atte a gestire e conservare dati anche centralmente e non solo nei nodi di primo livello.
- **lavorare a implementare funzionalità in grado di rendere più fruibili e utili per la società i dati PNRA raccolti ed esposti in NADC**, sia nel nodo centrale che nei nodi di primo livello. E implementare azioni di capacity building sulla tematica dati della comunità polare italiana.

Tutto questo allineando la data policy del PNRA alle vigenti linee guida AGID in materia dell'utilizzo dei dati del settore pubblico e alle direttive europee, e mantenendo stretto legame con la comunità internazionale riunita nel polar data Forum.

10.3.2 Metodi di raccolta dei dati e metadati

Un flusso robusto e costante di dati e metadati sarà sostenuto da una strategia basata su strumenti e funzioni che aiutino in modo semplice/intuitivo i ricercatori, così che possano concentrarsi sulla qualificazione del dato e non sui tecnicismi del data management.

Le tecnologie faranno perno su software Open Source e standard riconosciuti, in modo da (i) poter contare su prodotti sempre sviluppati allo stato dell'arte, e (ii) poter attingere a una vasta gamma di soluzioni applicative specifiche sviluppate dalla comunità di utenti.

Strumenti e funzionalità per i metadati includeranno: template per guidare e semplificare l'inserimento di metadati; un programma regolare di webinar; guide dettagliate che illustrino come inserire correttamente le informazioni nei diversi campi.

Le guide in particolare saranno un utile strumento di consultazione mentre i metadati verranno compilati e inseriti. Interfacce semplificate/intuitive saranno poi sviluppate per coinvolgere i ricercatori nel conferimento di dataset al repository. Tutto questo materiale sarà reso disponibile e consultabile attraverso il portale.

10.3.3 Disponibilità dei dati per il PNRA e per la comunità internazionale

Al fine di creare valore aggiunto attraverso l'analisi e integrazione dei dati PNRA, si lavorerà mirando a due obiettivi ben precisi:

- **consentire di estrarre nuova conoscenza e informazioni integrando e confrontando dati anche molto diversi, e**
- **aumentare l'utilizzo dei dati in un numero sempre crescente di utenti appartenenti alle categorie più disparate.**

Tali obiettivi saranno perseguiti operando lungo tre precise linee di azione:

- **attraverso lo sviluppo e l'implementazione di un Ambiente di analisi** che consenta agli utenti esperti di accedere ai dati ed elaborarli liberamente secondo le proprie esigenze.
- **progettare una serie di strumenti per elaborazioni semplici e/o di media complessità a disposizione degli utenti meno esperti**, strumenti che aiutino e guidino l'utente dove necessario, anche nella selezione di set di dati e parametri adeguati
- **sviluppare strumenti grafici che aiutino a realizzare l'integrazione dei dati**, sfruttando le loro caratteristiche come strumenti che permettano intuitivamente di comprendere/intravedere le relazioni e possano portare a successive analisi più approfondite e quantitative.



11. Organismi nazionali e internazionali

11.1 Organismi nazionali

Il Decreto Interministeriale n. 170 del 20 luglio 2022 individua e definisce i compiti dei seguenti organismi nazionali:

- **Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (CSNA), costituita presso il MUR**

e i seguenti Enti attuatori:

- **Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)**
- **Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)**
- **Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS)**

I rapporti tra gli Enti attuatori e relativi compiti sono anche regolati dalla Convenzione appositamente sottoscritta.

11.2 Organismi internazionali

Gli organismi internazionali ai quali l'Italia ha aderito e alle attività dei quali è strategico garantire la partecipazione sono:

- **Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) e Council of Managers of National Antarctic Programmes (COMNAP)** al fine di coordinare la programmazione delle attività nazionali in Antartide con le agenzie scientifiche e logistiche di altri paesi;
- **European Polar Board (EPB), al fine di coordinare le attività scientifiche nazionali in aree polari con le agenzie dei paesi europei;**
- **Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM)**, conferenza intergovernativa annuale per la gestione del continente antartico a cui partecipa il Ministero degli Affari Esteri e Cooperazione Internazionale (MAECI) con il supporto di esperti scientifici e logistici. È una delle conferenze di lavoro previste dal Sistema del Trattato Antartico che comprende **ATCM, CEP (Committee for Environmental Protection), CCAMLR (Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)** e relativi gruppi di lavoro inter-sessionali;
- **Concordia Steering Committee, Managing Committee, Scientific Board e Organizing Committee del progetto franco-italiano Concordia**, al fine di armonizzare le attività scientifiche e la conduzione dell'omonima stazione.

12. Previsione del fabbisogno finanziario

Attualmente in Antartide l'incidenza dei costi tecnico-logistici e infrastrutturali di supporto alla Ricerca arriva al 90% del costo del complessivo degli esperimenti. In ciò la ricerca polare, e quella antartica in particolare, trova significative analogie con quella spaziale.

Per lo svolgimento delle attività delineate è esposto un fabbisogno complessivo per il triennio di 69 milioni di euro. Si evidenzia che le più rilevanti voci di spesa riguardano le infrastrutture e l'operatività in Antartide (60,36 milioni di euro) e il finanziamento diretto ai bandi di ricerca, inclusa la partecipazione ad importanti iniziative internazionali (6,339 milioni di euro).

La voce "Ricerca" (6,819 milioni di euro) comprende i costi stimati per finanziare le attività dei progetti scientifici e tecnologici selezionati mediante bandi emanati dal MUR e altre iniziative scientifiche di lungo periodo, per complessivi 6,339 milioni di euro; 480 mila euro sono per il supporto alla ricerca con borse di Dottorato.

Le spese preventivate per gli "Organismi nazionali ed internazionali" assommano a 291 mila euro e riguardano il funzionamento e i rimborsi spese per i componenti della CSNA, le quote associative annuali a SCAR ed EPB, le spese di missione delle delegazioni nazionali inviate ai meeting annuali del COMNAP, dell'ATCM e dell'EPB e a quelli biennali dello SCAR.

La previsione di spesa per il funzionamento e le attività delle "Infrastrutture di supporto alla ricerca" assomma a complessivi 1,53 milioni di euro. Tale cifra si compone di: 1,08 milioni di euro per le attività di catalogazione e conservazione dei reperti svolte dal Museo Nazionale dell'Antartide, comprendendo diverse attività di divulgazione; 240 mila euro per il sistema GIC; 210 mila euro per il sistema di raccolta e di diffusione dei dati.

Per le "Infrastrutture e l'operatività in Antartide" sono previsti complessivi 60,36 milioni di euro. Tale voce comprende le spese per il costo della N/R Laura Bassi (15,9 milioni di euro) e mezzi aerei (16,395 milioni di euro), per la conduzione e manutenzione delle Stazioni Mario Zucchelli e Concordia (complessivamente 7,839 milioni di euro), le spese di missione e indennità del personale in Antartide (17,145 milioni di euro); le spese da sostenere in Italia per l'organizzazione delle campagne (3,081 milioni di euro).

Anno	2024	2025	2026
Ricerca	2.273.000	2.273.000	2.273.000
Bandi per nuove proposte e altre iniziative scientifiche	2.113.000	2.113.000	2.113.000
Fondo di supporto alla ricerca	160.000	160.000	160.000
Totale organismi nazionali e internazionali	97.000	97.000	97.000
Organismi nazionali	27.000	27.000	27.000
Organismi internazionali	70.000	70.000	70.000
Infrastrutture di supporto alla ricerca	510.000	510.000	510.000
Museo Nazionale dell'Antartide (sorting center, formazione e divulgazione)	360.000	360.000	360.000
Sistema Interlaboratorio Antartico (SIA)	0	0	0
Grandi Infrastrutture di Campagna (GIC)	80.000	80.000	80.000
Attività legate alla disseminazione e gestione dati (sistema NADC)	70.000	70.000	70.000
Totale CNR	2.880.000	2.880.000	2.880.000
Infrastrutture e operatività in Antartide	20.120.000	20.120.000	20.120.000
N/R Laura Bassi	3.700.000	3.700.000	3.700.000
Attività in zona operativa	1.600.000	1.600.000	1.600.000
Totale OGS	5.300.000	5.300.000	5.300.000

Totale mezzi aerei	5.465.000	5.465.000	5.465.000
Totale Operatività Stazione Mario Zucchelli	1.413.000	1.413.000	1.413.000
Totale operatività Stazione Concordia	1.200.000	1.200.000	1.200.000
Spese comuni	1.027.000	1.027.000	1.027.000
Totale spese Personale	5.715.000	5.715.000	5.715.000
<i>Totale ENEA</i>	<i>14.820.000</i>	<i>14.820.000</i>	<i>14.820.000</i>
Fondo MUR per missioni ex DM n. 81 del 30 marzo 2023 Art. 3	3.000	3.000	3.000
TOTALE	23.000.000	23.000.000	23.000.000

Il fabbisogno esposto è in linea con la previsione di finanziamento della Legge di Bilancio 2021 n. 178 del 30 dicembre 2020, che prevede un finanziamento pari a 23 milioni di euro annui a decorrere dall'anno 2021.

La Commissione, in aggiunta a quanto esposto, considera che il fabbisogno che sarebbe necessario per un completo svolgimento delle azioni programmate e delle attività di ricerca, anche e soprattutto quelle al di fuori delle spese di campagna antartica, dovrebbe essere di 73 MI di euro per il triennio 2024-2026, ponendo il fabbisogno per il 2025 e il 2026 a 25 MI di euro.

Questo aumento di 2 ML per i 2 anni permetterebbe di prevedere € 4.113.000 per il 2025 e il 2026, a favore dei Bandi per nuove proposte e altre iniziative scientifiche, che avrebbero a disposizione per il triennio € 10.499.000, sufficienti per finanziare i progetti di ricerca che verranno eseguiti nelle spedizioni antartiche 41^a, 42^a e 43^a.

Si auspica quindi fortemente il reperimento di risorse aggiuntive, per consentire all'Italia di mantenere la posizione di Paese leader nella ricerca in Antartide, conquistata in quasi 40 anni di attività.

13. Glossario, acronimi e siti internet

AAA: *Antarctic Astronomy and Astrophysics*, iniziativa promossa dallo *Scientific Committee on Antarctic Research* per coordinare le attività astronomiche in Antartide (www.phys.unsw.edu.au/JACARA/AAA_SRP_webpage/index.html).

ABI: *Antarctic Biodiversity Informatics* <http://www.scar.org/eg-abi>

ACC: *Antarctic Circumpolar Current*, corrente oceanica circumpolare che fluisce in senso orario da ovest verso est attorno all'Antartide.

AEA: Azione Esecutiva Annuale

AGATA: <https://scar.org/science/research-programmes/agata>

ANDRILL: *Antarctic geological Drilling*, è una collaborazione multinazionale che comprende oltre 200 ricercatori di cinque nazioni (Germania, Italia, Nuova Zelanda, Regno Unito e Stati Uniti) con la finalità di raccogliere il record stratigrafico dalle sequenze sedimentarie dei margini dell'Antartide. Sinora ha realizzato due perforazioni nel Mare di Ross (www.andrill.org).

Antarctic SDLS: *Antarctic Seismic Data Library System*, iniziativa promossa dallo *Scientific Committee on Antarctic Research* per garantire accesso a tutti i dati di sismica multicanale raccolti a sud di 60°S (scls.oqs.trieste.it/).

AntClim²¹: *Antarctic Climate Change in the 21st Century* programma internazionale e multidisciplinare, promosso dallo SCAR che sostituisce il programma analogo PACE (<http://www.scar.org/srp/antclim21>).

AntEco: *State of the Antarctic Ecosystem*, programma internazionale e multidisciplinare, promosso dallo SCAR (www.scar.org/srp/anteco).

Ant-ERA: *Antarctic Thresholds - Ecosystem Resilience and Adaptation* programma internazionale e multidisciplinare, promosso dallo SCAR (<http://www.scar.org/srp/ant-era>).

ANTOS: *Expert Group on Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/antos>); contatti: Craig Cary (caryc@waikato.ac.nz) e Vonda Cummings (Vonda.Cummings@niwa.co.nz).

ATS: *Antarctic Treaty System*. Sistema del Trattato sull'Antartide firmato a Washington il 1° dicembre 1959 ed entrato in vigore nel 1961, e successivi Protocolli e Convenzioni. Conta 56 Paesi contraenti. L'Italia aderisce nel 1981 e dal 1987 è membro consultivo (https://www.ats.aq/index_e.html). Il meeting annuale del Trattato è organizzato a rotazione dai Paesi con lo status di membro Consultivo.

BE-OI: *Beyond Epica Oldest Ice*, iniziativa internazionale finanziata e coordinata dall'Unione Europea per la ricerca, attraverso carotaggi nella calotta polare, di ghiaccio risalente a un milione e mezzo di anni fa così da poter meglio comprendere i processi climatici del passato.

BEPSII: *Action Group on Biogeochemical Exchange Processes at the Sea-Ice Interfaces* (<http://www.scar.org/bepsii/bepsii-members>); contatti: Jacqueline Stefels (j.stefels@rug.nl) e Janne-Markus Rintala (janne.rintala@helsinki.fi).

BICEP-Keck: <http://bicepkeck.org/>

Biodiversity.aq: Antarctic Biodiversity portal & SCAR thematic node for OBIS (Ocean Biogeographic Information System) & GBIF (Global Biodiversity Information Facility) (www.biodiversity.aq); contatti: (avandeputte@naturalsciences.be o hhsunyi@naturalsciences.be).

BISOU: Balloon Interferometer for Spectral Observations of the primordial Universe

<https://www.ias.universite-paris-saclay.fr/fr/content/bisou>

CAML: *Census of Antarctic Marine Life* (<http://www.coml.org/census-antarctic-marine-life-caml/>)

CCAMLR: *Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources*, commissione istituita nel 1982 tramite una convenzione internazionale con l'obiettivo di preservare la vita marina in Antartide. Fa parte del Sistema del Trattato Antartico (<https://www.ccamlr.org/>). Si riunisce annualmente ad Hobart.

CEP: *Committee for Environmental Protection*, istituito nel 1991 con l'adozione del Protocollo per la protezione dell'Ambiente Antartico, o Protocollo di Madrid (1991) entrato in vigore nel 1998. Fa parte del Sistema del Trattato Antartico. La commissione CEP si riunisce annualmente in concomitanza con la riunione del Trattato Antartico.

CIPE: Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica

CMB: *Cosmic Microwave Background*, fondo cosmico di microonde, prodotto nelle prime fasi dell'evoluzione dell'Universo.

CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche.

COMNAP: *Council of Managers of National Antarctic Programmes*, organismo internazionale finalizzato al coordinamento della programmazione delle attività nazionali in Antartide con le agenzie scientifiche e logistiche di altri paesi (<https://www.comnap.aq/>).

COSMO: *COSmic Monopole Observations*, programma di misura delle distorsioni spettrali della Radiazione Cosmica a Microonde per lo studio dell'Universo primordiale. (cosmo.roma1.infn.it)

CSNA: Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide, costituita presso il MUR ai sensi del DI n. 170 del 20 luglio 2022 (<https://www.pnra.ag/componenti-csna>)

CRYOSCOPE: (<https://events.icecube.wisc.edu/event/144/contributions/7739/attachments/6143/7413/Cryoscope%20SCAR-AAA%202021.pdf>)

Dome C: località sul *plateau* polare antartico a oltre 3000 metri di quota dove Francia e Italia conducono congiuntamente il progetto e la stazione Concordia.

EAIS: East-Antarctic Ice Sheet

EG-ABI: *Expert Group on Antarctic Biodiversity Informatics* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/eg-abi>); contatti: Bruno Danis (bruno.danis@gmail.com) and Ben Raymond (Ben.Raymond@aad.gov.au).

EG-BAMM: *Expert Group on Birds and Marine Mammals* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/bamm>); contatti: Mark A Hindell (Mark.Hindell@utas.edu.au) e Yan Ropert-Coudert (docyaounde@gmail.com).

ENEA: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (<https://www.enea.it/it/>).

EPB: *European Polar Board*, comitato di esperti dell'*European Science Foundation* (<https://www.europeanpolarboard.org/>). Dell'EPB fanno parte le agenzie e gli operatori polari di 22 paesi.

EPICA: *European Project for Ice-Coring in Antarctica*, iniziativa promossa da ESF e co-finanziata dalla Commissione Europea e condotta da gruppi di ricerca di 10 paesi europei per la realizzazione di due perforazioni profonde della calotta glaciale est-antartica per ricostruzioni paleoclimatiche. Una è stata realizzata a Dome C e l'altra nella Dronning Maud Land. EPICA ha ricevuto il premio Cartesio 2008 per l'eccellenza della ricerca europea.

<https://cordis.europa.eu/project/id/ENV4980702>

ESCAPE: (<https://www.oato.inaf.it/progetti/escape-coronografia-solare-dellantartide/>)

Eurofleets: *European Research Fleets*, consorzio di 31 paesi europei con lo scopo di far fronte alla mancanza di una visione comune delle navi da ricerca e delle attrezzature a livello europeo, di ottimizzare l'utilizzo e lo sviluppo delle migliori infrastrutture di ricerca marine presenti in Europa e di rafforzare l'uso e una strategia comune delle flotte delle navi da ricerca all'interno dell'Europa stessa.

FARO: Forum of Arctic Research Operators

GAW: *Global Atmosphere Watch*, programma dell'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia che coinvolge Membri del WMO, reti e organizzazioni che forniscono dati scientifici e informazioni significative sulla composizione chimica dell'atmosfera, sulla sua variabilità naturale e sui cambiamenti di origine antropica, e che fornisce un importante contributo nella comprensione delle interazioni tra atmosfera, oceani e biosfera.

GCW: *Global Cryosphere Watch*, un programma internazionale per il supporto di tutte le osservazioni chiave della criosfera, sia in-situ che tramite *remote sensing*.

GIA: Glacial Isostatic Adjustment

GIC: Sistema delle Grandi Infrastrutture di Campagna

GRAPE: *GNSS Research and Application for Polar Environment*, *Expert group* dello SCAR a guida italiana, che coordina una rete internazionale con l'obiettivo di condividere ed ottimizzare l'uso dei dati acquisiti dal network distribuito di stazioni GPS/GNSS per la scintillazione ionosferica (<http://www.scar.org/ssg/geosciences/grape>) (<http://www.grape.scar.org/>)

H2020: *Horizon 2020* ("*Orizzonte 2020*"), programma quadro di ricerca e innovazione, promosso dalla Commissione Europea per il periodo 2014-2020 (<http://ec.europa.eu/research/horizon2020>).

IASC: *International Arctic Science Committee*, comitato dell'ICSU per il coordinamento delle ricerche in Artide (www.arcticportal.org/iasc/).

Ice Memory: programma internazionale per la conservazione della memoria dei ghiacciai di montagna, attraverso archivi climatici che tutelino il patrimonio ambientale per le generazioni future (<https://www.unive.it/pag/37101>).

ICSU: *International Council for Science*: organizzazione non-governativa fondata nel 1931 per promuovere attività scientifica internazionale a beneficio dell'umanità. Fra le maggiori iniziative promosse dall'ICSU sono da ricordare: l'*International Geophysical Year* (1957-1958), l'*international Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) e recentemente, in concorso con il WMO, l'*International Polar Year* 2007-2008.

INAF: Istituto Nazionale di Astrofisica (<http://www.inaf.it/it>)

INGV: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<https://www.ingv.it/>)

IODP: *International Ocean Discovery Program* (<http://www.iodp.org/>).

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*, organismo internazionale indipendente per l'analisi e la valutazione dei cambiamenti climatici globali (<http://www.ipcc.ch/>)

IPEV: *Institut Paul-Emile Victor*, istituto polare francese che supporta le università e i laboratori di ricerca francesi per effettuare ricerche negli ambienti polari.

IPICS: International Partnership in ice coring science, organismo internazionale della comunità delle perforazioni in ghiaccio promosso da IGP-PAGES (past Global Change), SCAR e IASC (www.pages-igbp.org/ipics).

IRAIT: *International Robotic Antarctic Infrared Telescope*, telescopio infrarosso installato presso la base Concordia (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2006SPIE.6267E..1HT/abstract>).

ISACCO: <https://metadata.iadc.cnr.it/geonetwork/srv/api/records/e624c13a-f716-47a0-a019-a2e848643e92>

ISSA: *Action Group on Integrated Science for the Sub-Antarctic* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/issa>); contatti: Gary Wilson (g.wilson@antarcticanz.govt.nz).

ITM: <https://www.oavda.it/portfolio-view/itm-progetto-antartide>

JEGHBM: *Joint Expert Group on Human Biology and Medicine* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/jeghbm>); contatti: Nathalie Pattyn (nathalie.pattyn@gmail.com).

KOPRI: *Korean Polar Research Institute*, istituto di ricerca polare coreano.

MNA: Museo Nazionale dell'Antartide *Felice Ippolito* costituito con DM 2 maggio 1996 in attuazione della legge n. 380 1991 (www.mna.it).

NSF: *National Science Foundation* <https://new.nsf.gov/funding/opportunities/2023-update-science-support-infrastructure>

NSF Antarctic Science Strategy:

https://www.nsf.gov/nsb/meetings/2022/0803/presentations/USAP_NSB_August_Antarctic_2022.pdf

OGS: Istituto Nazionale per l'Oceanografia e la Geofisica Sperimentale.

PAIS: *Past Antarctic Ice Sheet Dynamics* programma internazionale e multidisciplinare, finanziato dallo SCAR fino al 2020. dallo *Scientific Committee on Antarctic Research* mirato alla comprensione della dinamica delle calotte glaciali nei periodi di riscaldamento globale avvenuti nel passato (www.scar.org/researchgroups/progplanning/ - AntClim21).

PEA: Programma Esecutivo Annuale, attualmente sostituito da AEA (vedi)

PNR: Programma Nazionale di Ricerca; è lo strumento mediante il quale il Governo italiano fissa le strategie e le priorità pluriennali della ricerca nazionale. L'ultimo PNR si riferisce al triennio 2015-2020.

PNRA: Programma Nazionale di Ricerche in Antartide istituito con legge 284/1985; promosso e controllato dal Ministero dell'Università e della Ricerca.

PPP: *Polar Prediction Project*, programma atto a fornire *database* di osservazioni necessari per l'ottimizzazione del sistema osservativo polare e per il miglioramento delle procedure di inizializzazione dei modelli.

QUBIC: *Q & U Bolometric Interferometer for Cosmology*, Interferometro bolometrico internazionale per misure di polarizzazione CMB dalla base Concordia (<http://www.qubic-experiment.org/>).

ROV: *Remotely Operated Underwater Vehicle*, veicolo sottomarino a controllo remoto; trasportato nel punto di interesse e guidato via cavo da un'imbarcazione, è dotato di telecamere e sensori per l'osservazione dell'ambiente marino e la misura di molteplici parametri; lo stesso cavo è usato per la trasmissione dei dati.

SCAR: *Scientific Committee on Antarctic Research*, comitato dell'ICSU per il coordinamento delle ricerche in Antartide. È organismo osservatore ATCM e CEP e fornisce consulenza scientifica indipendente e obiettiva su questioni ambientali e di conservazione (<http://www.scar.org>).

SERCE: *Solid Earth Response and Cryosphere Evolution*, programma internazionale e multidisciplinare, promosso dallo *Scientific Committee on Antarctic Research* e mirato a comprendere le relazioni tra tettonica e criosfera (www.scar.org/researchgroups/progplanning/ - SERCE).

SIA: Sistema Interlaboratorio Antartico.

SO-CPR: *The Antarctic/Southern Ocean branch of the Continuous Plankton Recorder* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/cpr>);

contatti: Kunio Takahashi (takahashi.kunio@nipr.ac.jp).

SOLARICE: progetto finalizzato a ricostruire l'attività solare e la variabilità atmosferica durante l'Olocene attraverso lo studio di una carota di ghiaccio

SOLARIS: <https://sites.google.com/inaf.it/solaris>

SOOS: *Southern Ocean Observing System*, la missione del SOOS è quella di facilitare la raccolta e la consegna di osservazioni essenziali dell'Oceano Meridionale a tutte le parti interessate, attraverso la progettazione, la promozione e l'implementazione di sistemi di osservazione e trasmissione dati sistemi di osservazione e di trasmissione dei dati economicamente vantaggiosi (www.soos.aq).

Stazione Artica Dirigibile Italia: La base artica Dirigibile Italia è una stazione di ricerca multidisciplinare situata a Ny-Ålesund (78°55' N, 11°56' E), nell'arcipelago norvegese di Spitsbergen (nelle Isole Svalbard). La base è gestita dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e le attività di ricerca sono coordinate da Polarnet.

La base è stata inaugurata nel 1997 e da allora gestisce e supporta numerosi progetti di ricerca nazionali e internazionali (www.polarnet.cnr.it/index.php?option=com_content&task=view&id=162&Itemid=58).

Stazione Mario Zucchelli: La stazione Mario Zucchelli (SMZ) è stata costruita a partire dal 1986, sulla costa di Baia Terra Nova (74°42'S e 164°07'E), e poggia su una scogliera di roccia granitica di una piccola penisola della Terra Vittoria settentrionale, tra le lingue dei ghiacciai Campbell e Drygalski.

Stazione Concordia: costruita e gestita pariteticamente da Francia e Italia nell'ambito di un accordo di cooperazione per la costruzione siglato nel 1993. Nel 2005 si è realizzata la prima stagione invernale iniziata l'8 febbraio e conclusasi l'8 novembre dello stesso anno. Si trova sul *plateau* antartico nel sito denominato Dome C (75°06' Sud e 123°21' Est) ad un'altezza di circa 3.233 m ed a circa 1.200 km dalla stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova e a 1.100 km dalla stazione francese di Dumont d'Urville (www.concordiabase.eu).

SuperDARN: *Super Dual Auroral Radar Network*, network internazionale di radar per lo studio della ionosfera e dello Space Weather (<http://vt.superdarn.org>), ([wiki/SuperDARN](https://en.wikipedia.org/wiki/SuperDARN))

Sistema del Trattato Antartico: trattato firmato a Washington il 1 Dicembre 1959 da 12 stati e entrato in vigore il 23 Giugno 1961. La finalità principale del Trattato è di assicurare "*in the interests of all mankind that Antarctica shall continue forever to be used exclusively for peaceful purposes and shall not become the scene or object of international discord.*" L'Italia partecipa alle riunioni dell'*Antarctic Treaty Consultative Meetings* attraverso il Ministero degli Affari Esteri.

UAV: *Unmanned Aerial Vehicle*, aeromobile a pilotaggio remoto; viene usato per riprese fotografiche da bassa quota e per la misura di parametri ambientali, oltreché per videosorveglianza.

USV: *Unmanned surface vehicle*, natante a controllo remoto; radiocomandato dalla costa o da un'imbarcazione di servizio e dotato di molteplici sensori, è usato per osservazioni dell'ambiente in aree costiere o lagunari.

WAIS: West-Antarctic Ice Sheet

WISSARD: *Whillans Ice Stream Subglacial Access Research Drilling*, progetto internazionale finalizzato all'esplorazione di sistemi di acque subglaciali sul margine del *West Antarctic Ice Sheet*. Il progetto utilizza una varietà di strumenti, come radar e attrezzatura

sismica, e tecniche specifiche per esplorare il Lago subglaciale Whillans e la regione circostante lungo il margine sudorientale del Mare di Ross, delineando un profilo di acqua, sedimenti e rocce sotto il ghiaccio il cui movimento viene accuratamente monitorato tramite stazioni GPS.

WMO: *World Meteorological Organization*, agenzia delle Nazioni Unite per il monitoraggio (voice) dello stato ed il comportamento dell'atmosfera terrestre, le sue interazioni con gli oceani, il clima che produce e la conseguente distribuzione delle risorse idriche (www.wmo.ch).

YOPP: *Year Of Polar Prediction*, iniziativa che ha coperto un prolungato periodo (2017-2019) di attività coordinate di osservazione e modellazione intensive, al fine di migliorare le capacità di predizione su un'ampia scala temporale in entrambe le regioni polari.