

Ministero dell'Università e della Ricerca

Programma Nazionale di Ricerche in Antartide



*Programmazione strategica per il triennio
2020-2022*

A cura della Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide

Roma, 9 dicembre 2020

Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide

nominata con Decreto MUR Prot. 786 del 21 ottobre 2020,
Ministero dell'Università e della Ricerca, Via Michele Carcani, 61 - 00153 Roma
presidente@csna.it / segreteria@csna.it
www.csna.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>
Daniela Santucci	Istituto Superiore di Sanità	Ministro della Salute	<i>daniela.santucci@iss.it</i>
Vincenzo Saggiomo	Fondazione Anton Dohrn	Ministro degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale	<i>saggiomo@snz.it</i>
Francesco Pantone	Stato Maggiore Difesa	Ministro della Difesa	<i>quarto.log@smd.difesa.it</i>
Roberto Cianella	Ministero dello Sviluppo Economico	Ministro dello Sviluppo Economico	<i>roberto.cianella@mise.gov.it</i>
Alberto Basset	Università del Salento	Ministro delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali	<i>alberto.basset@unisalento.it</i>
Silvestro Greco	Stazione Zoologica Anton Dohrn	Ministro dell'Ambiente e della Tutela del territori e del Mare	<i>silvestrogreco@gmail.com</i>
Francesco Frati	Università degli Studi di Siena	Conferenza dei Rettori delle Università Italiane	<i>francesco.frati@unisi.it</i>
Carlo Barbante	Istituto di Scienze Polari - Consiglio Nazionale delle Ricerche	Consiglio Nazionale delle Ricerche	<i>barbante@unive.it</i>
Giovanni Macelloni	Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", Consiglio Nazionale delle Ricerche,	Consiglio Nazionale delle Ricerche	<i>g.macelloni@ifac.cnr.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>
Federica Marcucci	Istituto Nazionale di Astrofisica, Roma	Istituto Nazionale di Astrofisica	<i>mariafederica.marcucci@inaf.it</i>
Manuel Bensi	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale	<i>mbensi@inogs.it</i>
Achille Zirizzotti	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	<i>achille.zirizzotti@ingv.it</i>

PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE
PNRA - Programmazione strategica per il triennio 2020-2022

Indice

Sommario.....	5
Premessa.....	6
1. Le regioni polari.....	8
2. Le grandi sfide scientifiche globali, la ricerca polare nei prossimi anni.....	9
2.1 Questioni globali e ricerca polare.....	9
2.2 Le strategie internazionali per la scienza e la logistica in Antartide.....	9
3. Le linee strategiche del PNRA.....	10
3.1 Le iniziative internazionali a carattere scientifico.....	11
3.2 Le iniziative a carattere operativo-logistico.....	15
3.3 Le iniziative verso la costituzione di un'entità polare nazionale.....	20
4. Le linee scientifiche prioritarie del PNRA per il triennio 2020-2022.....	21
4.1 La Vita in Antartide.....	21
4.2 La geologia dell'Antartide.....	27
4.3 Il sistema glaciale antartico e il livello del mare.....	32
4.4 La definizione dell'impatto globale dell'atmosfera antartica e dell'Oceano Meridionale.....	39
4.5 L'Universo sopra l'Antartide e lo <i>Space Weather</i>	49
4.6 Riconoscere e mitigare l'influenza umana - L'uomo in Antartide.....	53
5. Le strategie del PNRA per il triennio 2020-2022.....	57
5.1 La promozione delle attività di ricerca innovative e multidisciplinare, come descritto nella Sezione 4.....	58
5.2 Il consolidamento e il potenziamento del sistema degli osservatori permanenti.....	59
5.3 Il potenziamento dell'internazionalizzazione.....	61
5.4 L'innovazione tecnologica.....	62
5.5 La specificità dei bandi pubblici per nuove proposte di attività in Antartide.....	64
5.6 Il processo meritocratico di valutazione e selezione delle attività di ricerca.....	64
5.7 La valorizzazione delle nuove infrastrutture del PNRA rispettivamente della nuova nave rompighiaccio Laura Bassi e dell'aviosuperficie in via di realizzazione a Baia Terra Nova.....	64
5.8 Le ricadute delle attività della ricerca antartica come benefici per la Società.....	65
5.9 Le attività di divulgazione comunicazione e formazione.....	65
6. Infrastrutture di supporto.....	66
6.1 Infrastrutture di supporto e operatività in Antartide.....	66
6.2 Infrastrutture di supporto alla ricerca in Italia.....	69
7. Organismi nazionali ed internazionali.....	70
7.1 Organismi nazionali.....	70
7.2 Organismi internazionali.....	70
8. Previsione del fabbisogno finanziario.....	72
ALLEGATO A.....	75
ALLEGATO B.....	77

Si ringrazia l'Ex-Presidente Antonio Meloni e la passata CSNA per il lungo ed elaborato lavoro alla base di questo Programma Triennale



Fenomeno atmosferico dell'alone solare a Concordia

PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE
Programmazione strategica per il triennio 2020-2022

Sommario

Il *Programma Nazionale di Ricerche in Antartide* (PNRA) ha come obiettivo principale quello di condurre ricerca scientifica di eccellenza in ambito antartico razionalizzando e ottimizzando l'utilizzo delle risorse disponibili. Il PNRA, In particolare, il PNRA favorirà le ricerche da svolgere nelle stazioni Mario Zucchelli e Concordia, quest'ultima installata e gestita in collaborazione con la Francia, sulla nave da ricerca Laura Bassi e nell'ambito delle collaborazioni internazionali. Tra queste, il Programma intende promuovere la partecipazione dei ricercatori e tecnici italiani alle iniziative di grande respiro scientifico e/o di rilevante impegno internazionale e le attività di ricerca promosse e condotte in contesti che prevedano l'utilizzo di piattaforme fisse e mobili anche di altri paesi. La valorizzazione di dati, campioni e reperti raccolti durante le campagne antartiche, e la disseminazione dei risultati raggiunti costituiscono punti fondamentali del programma.

Il presente programma triennale si pone in continuità con il precedente (2017-2019), adottandone le principali priorità scientifiche, mantenendone gli obiettivi e contemporaneamente tende a favorire lo sviluppo di ricerche innovative e di ampio respiro in contesti di iniziative internazionali, in un orizzonte temporale di lungo periodo. Il piano inizia con l'anno 2020 che vede una riduzione dell'attività per motivi legati alla pandemia, mentre auspicabilmente negli anni successivi si implementeranno i progetti selezionati nei Bandi pubblicati dal MIUR nel 2018 e 2019. L'esigenza di ridefinire la collocazione e le strategie internazionali del PNRA è sollecitata sia dal nuovo accordo intergovernativo con la Francia (firmato nel 2017 e rinsaldato nel 2020) sia dall'istituzione della più grande area marina protetta al mondo nella regione del Mare di Ross. Verranno potenziate le collaborazioni con tutte le nazioni che operano nelle aree di riferimento (USA, NZ) e in particolare con la Corea, che ha in attività la stazione Jang Bogo a pochi km da quella italiana di Mario Zucchelli, e con la Cina che sta realizzando la sua nuova stazione a Inexpressible Island, nonché le conseguenti possibili sinergie che si prospettano per i trasporti marittimi e aerei in vista dell'ormai imminente completamento della aviosuperficie italiana a Boulder Clay. Si potranno rinnovare anche gli accordi di collaborazione con Paesi Latino-Americani, come il Cile. Quanto sopra esposto si pone nell'ottica del processo di consolidamento del PNRA, come "eccellenza" scientifica e tecnologica del paese, alla quale concorrono Ministeri, Università, Enti Pubblici di Ricerca e le imprese nazionali.

Il programma del triennio 2020-2022 prevede la realizzazione di spedizioni scientifiche in Antartide, con attività da svolgere presso stazioni scientifiche italiane e straniere e nell'ambito di campagne oceanografiche di tipo fisico-chimico, biologico-ecologico e geologico-geofisico nell'Oceano meridionale con la nuova Nave da ricerca polare Laura Bassi, recentemente appositamente acquisita e affidata in gestione all'OGS, e con eventuali navi di opportunità straniere nell'ambito delle collaborazioni internazionali.

In considerazione del fatto che il PNRA è finalizzato all'attività di ricerca, particolare attenzione è dedicata ai bandi di ricerca, alle attività di osservazione e ai grandi progetti internazionali; l'aumento fisiologico dei costi di supporto alla ricerca hanno nel tempo eroso la disponibilità economica per la l'attività di ricerca al di fuori delle campagne antartiche, anche in relazione al considerevole aumento dei costi della ricerca e alle profonde modificazioni nel sistema di reclutamento del personale scientifico, determinando una diminuzione del contributo italiano alla produttività scientifica internazionale sull'Antartide. Questa deriva deve essere fermata e invertita.

Il fabbisogno finanziario del PNRA per il triennio 2020-2022 è indicato in complessivi **83 milioni di €** (sulla base di 23 milioni per il 2020, una stima del fabbisogno effettivo per il 2021 indicata in 30 milioni e 30 milioni per il 2022). Si tenga presente che, in linea con il Disegno di Legge di Bilancio 2021, è stata predisposta una tabella integrativa con una previsione di 23 MI di € per il 2021.

Premessa

Uno dei compiti primari della CSNA (Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide), istituita presso il MUR è la predisposizione di un programma a carattere strategico, aggiornabile annualmente, che contenga gli obiettivi, gli indirizzi e la programmazione scientifica per le attività italiane da svolgere in Antartide nell'arco di un triennio. La CSNA ha elaborato il presente programma adottando le principali priorità scientifiche, mantenendo gli obiettivi che mostravano possibilità di continuità, e tendendo a favorire lo sviluppo di ricerche innovative e di ampio respiro in contesti di iniziative internazionali.

In questo ultimo triennio sono stati pubblicati due Bandi di Ricerca per il PNRA da parte del MIUR. Il primo nel 2018 (Decreto Direttoriale n. 1314 del 25/5/2018) che con un impegno finanziario di 7,100,000 euro ha permesso la selezione di progetti che hanno avviato le loro attività in Antartide a partire dalla campagna 2018 in poi. Tra queste attività, in particolare, vanno annoverate quelle italiane nello YOOP, lo Year of Polar Prediction che ha visto il suo sviluppo negli anni 2017-2019, le campagne oceanografiche e geologico/geofisiche, oltre a una campagna espressamente dedicata alla perforazione e prelievo di sedimenti marini nell'ambito delle attività dello IODP, al quale il PNRA ha collaborato con l'invio di personale qualificato e finanziamenti per le fasi di analisi campioni. Per le altre linee il Bando 2018 ha consentito attività scientifiche che si svolgono presso le stazioni Mario Zucchelli e Concordia e attività in collaborazione internazionale, anche in Basi straniere. Di particolare rilevanza l'inizio del programma di perforazione glaciale Beyond EPICA Oldest Ice.

Il secondo Bando è stato pubblicato il 17-1-2020 (Bando 2019) con un impegno finanziario di 3,000,000 di euro ed era rivolto a nuove attività di ricerca per approfondire le conoscenze in Antartide al fine di ottenere una migliore comprensione dei processi di interazione e connessione fra i diversi comparti del sistema Terra (criosfera, idrosfera, atmosfera, biosfera e litosfera). Due linee del bando A1 e A2, erano espressamente dedicate a valorizzare l'impiego della nuova nave polare da ricerca 'Laura Bassi' per le discipline oceanografiche con ricerche di Geologia e Geofisica marina, Biologia e Ecologia marina. Nella linea B del Bando, dedicata a Progetti di ricerca da svolgere su piattaforme fisse e mobili di altri Paesi, una particolare valutazione premiale è assicurata alle proposte coordinate da giovani ricercatori, anche al fine di favorire il necessario ricambio generazionale all'interno del sistema nazionale della ricerca.

Gli elementi fondamentali che la CSNA ha utilizzato per le strategie da seguire per il futuro triennio 2020-2022 sono stati diversi. In attesa del nuovo PNR del MUR, rimangono valide le prospettive presentate per il 2015-2020, le priorità di *Horizon Eu 2021-27*, Sustainable Development Goals Agenda 2030 e le priorità individuate dagli organismi di coordinamento scientifico internazionale specifici per l'Antartide e le aree polari in generale. Tra questi ultimi emergono le strategie indicate dallo *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR) e in particolare rimangono confermate le 6 Linee che definiscono le priorità della scienza antartica per i prossimi decenni e oltre:

- a) Definire l'impatto dell'atmosfera antartica e dell'Oceano Meridionale a scala globale;
- b) Comprendere come, dove e perché i ghiacci continentali perdono massa;
- c) Conoscere la storia geologica dell'Antartide;
- d) Comprendere come la vita in Antartide si sia evoluta, adattata e preservata;
- e) Osservare lo Spazio e l'Universo;
- f) Riconoscere e mitigare l'influenza umana – L'uomo in Antartide.

La CSNA ha preso atto anche delle strategie dell'European Polar Board (EPB), in particolare del recente 'Report on prioritized objectives in polar research', dell'International Arctic Science Committee (IASC) e gli 'White Papers' del Progetto EU PolarNet. La nuova cornice di riferimento è quella del progetto EUPolarNet2, che ha avuto inizio ad Ottobre 2020 ed il cui focus specifico è di creare un "Polar Office" che serva da punto di contatto per le linee di ricerca dei prossimi anni per supporto ad un vero programma di ricerca europeo, a cui si potranno riferire i programmi nazionali.

Tra le strategie internazionali del PNRA, prosegue con successo la collaborazione intergovernativa con la Francia nella conduzione della Stazione Concordia, per la quale grande rilievo riveste il rinnovo dell'accordo concluso nel mese di marzo 2017, finalizzato alla cooperazione scientifica in Antartide, accordo che ci proietta verso nuove iniziative e impegni nel prossimo decennio. In questo ambito si ricorda anche il recente incontro del Febbraio 2020 tra le delegazioni governative Italiana e Francese a Napoli che ha rivalutato il comune impegno per un futuro di forte e stretta collaborazione a Concordia che sarà focale per lo sviluppo delle attività del programma Beyond EPICA Oldest Ice. Sempre per la stazione Concordia occorre ricordare l'accordo con l'Agenzia Spaziale Europea e IPEV per lo sviluppo e l'implementazione di ricerche nel campo della biomedicina.

Anche se in attesa della definitiva approvazione dei meccanismi di protezione, proseguono le attività per la più grande area marina protetta al mondo nella regione del Mare di Ross, che ha 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 dall'Italia attraverso i suoi osservatori permanenti. Non a caso Linee specifiche dei recenti Bandi di ricerca 2018 e 2019 sono state finalizzate allo sviluppo di studi oceanografici e marini in quest'area.

Prosegue la realizzazione dell'aviosuperficie permanente su ghiaia a Boulder Clay nei pressi della stazione Mario Zucchelli che consentirà al PNRA di disporre di una importante infrastruttura aeroportuale nella regione del Mare di Ross favorendo lo sviluppo di azioni sinergiche con i programmi antartici di altri paesi in piena sintonia con lo spirito di integrazione pacifica del Trattato Antartico che ha nella cooperazione tra le parti uno dei suoi pilastri.

Il programma *Polar Prediction Project* (PPP) nel quale particolare rilievo ha assunto il già richiamato *Year Of Polar Prediction* (YOPP) 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. A tale riguardo, la CSNA ha supportato la partecipazione della comunità scientifica italiana, dedicando una Linea di intervento specifica nel Bando 2018. L'attività di YOPP-SH (Southern Hemisphere) è stata recentemente estesa e prevede ora la continuazione delle attività con osservazioni intense per il periodo invernale del 2022. Data la rilevanza dell'iniziativa si auspica la prosecuzione dell'impegno italiano.

Tutti questi aspetti sono presi in considerazione nel presente piano triennale, anche al fine di consolidare il processo di rilancio del PNRA, avviato nel 2009, e di confermare la ricerca italiana in Antartide come una "eccellenza" scientifica e tecnologica del paese.

È sempre più evidente in campo internazionale che la *Governance* dell'Antartide come 'terra di pace e scienza', potrà essere affermata e meglio sviluppata nella collaborazione sempre più stretta di quelle nazioni che in Antartide svolgono un ruolo guida nell'attività scientifica, nella protezione dell'ambiente, nella capacità di sviluppare attività di massimo rilievo scientifico e di minor impatto umano. Ne consegue che una strategia congrua con quanto affermato non possa che essere messa in atto promuovendo collaborazioni internazionali di alto livello, facilitando l'accesso agli scienziati che la nostra comunità può offrire e stabilendo una solida struttura di supporto sia in loco sia in Italia.

L'esperienza di questi anni ha evidenziato che condizioni essenziali per il futuro delle attività del PNRA sono l'adeguatezza e la continuità del finanziamento, senza le quali è impossibile la pianificazione pluriennale e di conseguenza lo sviluppo delle varie collaborazioni internazionali.

Nel corso degli anni il programma ha tratto beneficio della grande esperienza accumulata dai tanti esperti sia scientifici che logistici che le istituzioni hanno messo a disposizione del PNRA per le sue attività. È però ormai divenuto necessario iniziare a reperire nuove figure professionali che possano proseguire quell'impegno e ambire a diventare le nuove realtà portanti delle attività in Antartide. Per questo motivo la CSNA opererà affinché venga favorita la partecipazione dei giovani al lavoro di ricerca.

La CSNA conferma che la gestione degli impegni assunti a livello internazionale e la programmazione di lunga durata della ricerca sono elementi indispensabili per la partecipazione a grandi progetti di ricerca.

1. Le regioni polari

Dal punto di vista giuridico il Sistema del Trattato Antartico iniziato con il Trattato sull'Antartide, firmato a Washington nel 1959, individua la regione antartica nei territori continentali e nelle aree oceaniche a sud di 60°S. Dal punto di vista fisico, biologico, ecologico e ambientale la regione antartica ha una delimitazione meno ben definita che corrisponde in superficie con la fascia della corrente circumpolare antartica (intorno a 50°S), in profondità con l'interfaccia fra le acque fredde polari e quelle degli oceani Atlantico, Indiano e Pacifico ed in atmosfera con i labili limiti del vortice polare antartico. Dal punto di vista geodinamico la regione antartica è delimitata dalla fascia dei terremoti che si sviluppano sui margini divergenti della zolla litosferica antartica che si estende, a luoghi, sino a latitudini subtropicali.

Le due regioni polari della Terra hanno in comune alte latitudini e clima freddo, ma presentano caratteristiche fisiografiche e climatiche molto differenti. Per la regione artica è internazionalmente assunto come limite l'isoterma di 10° C della media del mese di luglio. Questo limite insiste per lo più sulle aree continentali che si affacciano sull'Oceano Artico. Le differenti caratteristiche tra le due aree polari si riflettono nelle forti differenze che caratterizzano gli ecosistemi marini e terrestri, che comprendono una biodiversità che ha età, endemicità e capacità di adattamento molto diverse. Proprio per queste differenze, dall'esplorazione e dallo studio comparato e integrato delle regioni polari ci si attendono risposte che aiutino la nostra comprensione del funzionamento del sistema Terra, dei meccanismi di adattamento, dei cambiamenti nel passato e dei processi di cambiamento in atto anche per prevederne gli effetti futuri e per mitigare la vulnerabilità ambientale globale.

L'istituzione del Comitato Scientifico per l'Artico (CSA), nato al fine di implementare la strategia italiana per il Polo Nord, ha fornito un nuovo assetto organizzativo alla cornice scientifica degli studi polari in Italia. Questo nuovo Comitato ha infatti l'obiettivo di elaborare, proporre e gestire il Programma di ricerche nell'area polare artica, definendo ora con maggior chiarezza gli ambiti territoriali di intervento del PNRA e di conseguenza della CSNA, che ancora di più di prima, dovrà focalizzare i suoi interventi sulla parte antartica.



Stazione Mario Zucchelli

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 globali, soprattutto da quelli climatici, i cui cicli di variazione naturale possono essere sempre più modificati dall'attività umana, in termini di entità e impatto sulla produzione di risorse alimentari e sulla frequenza e intensità dei disastri naturali.

La scienza polare si estende dal limite esterno dell'atmosfera alle profondità dei bacini oceanici; in termini di tempo, copre un intervallo che va dai miliardi di anni della storia geologica alla variazione estremamente rapida della luce delle aurore; in termini di dimensioni spazia dalla variabilità dell'estensione annuale del ghiaccio marino a quello continentale delle calotte polari; in termini di vita 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 ed in Artide per qualunque previsione e salvaguardia dell'ambiente globale futuro.

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

La regione antartica (continente e Oceano Meridionale) è lontana, ma i processi naturali che vi avvengono sono di rilievo globale: opera come sentinella dei cambiamenti ambientali in atto, è un eccezionale archivio della storia passata del clima, conserva un *record* intatto ed unico delle variazioni climatiche avvenute in passato, dell'evoluzione del continente, della vita e dell'ambiente; l'atmosfera è perfetta per l'osservazione della stessa e dell'Universo, il ghiaccio che la ricopre, nasconde catene montuose e laghi tuttora inesplorati.

Nel contesto internazionale la sfida è quella di identificare le linee scientifiche fondamentali e individuare le strategie per migliorare e ottimizzare il supporto logistico, per i prossimi 10-20 anni.

Scienza

La ricerca nelle regioni polari per sua natura implica una prospettiva pluriennale per quanto riguarda sia la programmazione strategica sia quella operativa annuale. In questi ultimi anni, anche in connessione con la crisi economica globale, molti programmi nazionali di ricerca in Antartide (per es. USA, Australia, Corea del Sud), e gli organismi internazionali di coordinamento scientifico (SCAR, IASC, EPB) ed operativo (COMNAP, FARO) hanno avviato processi di analisi e studi tendenti a individuare le sfide e le problematiche scientifiche delle regioni polari dei prossimi 20-40 anni e a prefigurare gli interventi infrastrutturali e logistico-operativi per affrontarli. Lo SCAR per primo ha avviato un processo di consultazione internazionale (SCAR *Horizon Scan*, <http://www.scar.org/horizonscanning/>) in una prospettiva futura di 20 anni, ma ha poi completato il suo piano strategico con una visione al 2022 al fine di meglio indirizzare le sfide per lo sviluppo della ricerca in un mondo che cambia rapidamente (<https://www.scar.org/about-us/futureplans/strategic-plan/>). L'EPB ha reso disponibile la strategia 2017-2022 <http://www.europeanpolarboard.org> dove ha presentato anche un'analisi strategica sul futuro dell'Oceano Artico con un orizzonte di lunga prospettiva. E' anche disponibile l'Integrated European Polar Research Programme prodotto di EU-PolarNet

https://www.eu-polarnet.eu/fileadmin/user_upload/www.eu-

Con l'obiettivo di promuovere la cooperazione internazionale in materia di ricerca e innovazione e per far fronte alle sfide mondiali l'UE, dopo Horizon 2020, farà seguire Horizon Europe per il periodo 2021-2027 in cui la Commissione propone di stanziare 100 miliardi di euro per la ricerca e l'innovazione. Un nuovo programma quindi che consoliderà i risultati e il successo del precedente programma di ricerca e innovazione e consentirà all'UE di restare in prima linea nel settore della ricerca e dell'innovazione a livello mondiale.

Queste linee prioritarie dovranno essere affiancate da iniziative (nazionali ed internazionali) volte allo sviluppo di sistemi osservativi, alla gestione e all'integrazione dei dati, alla modellistica, alla formazione e al *training* della nuova generazione di ricercatori polari come il PNRA si è attivato a fare da tempo.

Logistica

La ricerca scientifica in Antartide è solo la punta dell'iceberg di un sistema che vede la logistica (la parte sommersa) costituire il 70/90% dei costi. E' bene sottolineare che l'accezione che in ambito antartico si attribuisce al termine *logistica* è molto ampia, poiché alle vere e proprie attività connesse alla mobilità di persone e materiali da e verso l'Antartide si aggiungono da un lato l'intera fase organizzativa condotta in patria per la predisposizione delle Campagne di ricerca e dall'altro lato l'insieme delle attività finalizzate al funzionamento delle Stazioni antartiche. Se ciò è vero per tutti i programmi antartici nazionali, in Italia il modello di *governance* del PNRA implica che nei costi della logistica siano incluse anche tutte le operazioni dedicate sul campo al supporto specificamente richiesto dai diversi progetti di ricerca.

Si comprende che una delle linee programmatiche del programma triennale sia 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 in risposta al sopra citato *Horizon Scan* dello SCAR e riassunta nel progetto *Antarctic Roadmap Challenges* - 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).

3. Le linee strategiche del PNRA

L'individuazione delle linee strategiche di lungo periodo non può prescindere dalla realtà che il PNRA ha creato nei suoi 35 anni di vita:

- due stazioni scientifiche, una costiera con attività solo nell'estate australe, una continentale con attività durante tutto l'anno;
- una rete sismologica nella Penisola Antartica (ASAIN);
- gli osservatori permanenti presso le stazioni Concordia e Mario Zucchelli;

- le infrastrutture di supporto alla ricerca (rete laboratori nazionali, strumentazione di campagna di interesse generale, sistemi di raccolta e conservazione di reperti e dati).
- La recente acquisizione di una Nave da ricerca Polare denominata 'Laura Bassi', affidata in gestione all'OGS, e per la quale il PNRA prevede di garantirne l'utilizzo per le attività scientifiche oceanografiche del programma per i prossimi anni. La nave costituisce anche un'infrastruttura fondamentale per la logistica della stazione Mario Zucchelli (e di conseguenza anche della stazione Concordia).
- La conclusione della realizzazione della avio-superficie presso Boulder Clay a Baia Terra Nova che costituirà una via di accesso e ripartenza fondamentale per la stazione Mario Zucchelli (e di conseguenza anche per la stazione Concordia) che potrebbe consentire di iniziare i collegamenti aerei già dal 2021.

La nuova Nave polare Laura Bassi e la nuova avio-superficie potrebbero definitivamente cambiare le modalità e i tempi di accesso e ripartenza per il PNRA nel e dal continente antartico in un ambito in cui viene rinforzato il nostro ruolo quali protagonisti al pari delle altre nazioni che gestiscono loro stazioni di ricerca nell'area.

• 3.1 Le iniziative internazionali a carattere scientifico

A partire da queste infrastrutture e attraverso l'utilizzo di piattaforme fisse e mobili di altri paesi si stanno realizzando alcuni progetti internazionali *opportunity driven* che, insieme ad altre iniziative che auspicabilmente si svilupperanno, potranno costituire l'ossatura dei programmi triennali del PNRA dei prossimi 10 anni.

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. In un periodo di importanti cambiamenti globali, quali quelli in atto, diventa importante conoscere quale sia la sensibilità climatica del nostro pianeta in periodi diversi dall'attuale. In particolare, il progetto consente di indagare nel dettaglio un periodo cruciale per la comprensione della storia del clima terrestre, collocabile tra un milione e mezzo e ottocentomila anni fa, nel corso della quale la ciclicità tra fasi glaciali e interglaciali sarebbe passata da 40 mila a 100 mila anni, caratterizzando poi i cicli glaciali avvenuti negli ultimi 800 mila anni. Le informazioni sulle carote di ghiaccio nella 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. Nell'ambito dell'attività di coordinamento internazionale sotto l'egida di IPICS sono previsti più siti di perforazione lungo lo spartighiaccio della Calotta Orientale tra Dome Fuji e Dome C e le ricerche si sono orientate prevalentemente all'individuazione dei siti idonei a coprire l'intervallo temporale di un milione e mezzo di anni. Deposito delle carote di ghiaccio presso la stazione Concordia. Il progetto Beyond EPICA, dopo una prima fase triennale di survey geofisico e glaciologico che ha consentito l'individuazione del sito di perforazione, è entrato nel vivo. 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.



Stazione Italo-Francese Concordia

Da segnalare la rinnovata possibilità di effettuate traverse che permettano l'esplorazione di vaste regioni del plateau Antartico quale quella che si è recentemente svolta nell'ambito del progetto internazionale **EAIST** (*East Antarctic International Ice Sheet Traverse*) finanziata da Francia ed Italia. Questa traversa ha esplorato una tratta del tragitto fra Dome C e South Pole dove sono stati effettuati rilievi geofisici, sono state prelevate carote di ghiaccio poco profonde per la valutazione dell'accumulo nevoso, e installato stazioni di ricerca atmosferiche-glaciologiche che saranno recuperate nei prossimi anni. I dati raccolti nella traversa saranno analizzati nei prossimi anni contribuendo a migliorare le nostre conoscenze sul bilancio di massa del plateau Antartico.

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 passati. 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 trasportare 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.

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.

ISOIPS (*Ice Shelf Ocean Interactions ProjectS*). L'Oceano Antartico esercita una grande influenza sull'equilibrio di massa della calotta glaciale antartica, sia indirettamente, per la sua influenza sulla temperatura dell'aria e sui venti, sia direttamente, principalmente attraverso i suoi effetti sulle piattaforme di ghiaccio. La quantità di fusione provocata dall'oceano dipende dalla temperatura dell'acqua, che a sua volta è controllata dalla combinazione della struttura termica dell'oceano circostante e dalla circolazione oceanica locale. Man mano che il clima si riscalda e la circolazione atmosferica cambia, si presentano cambiamenti successivi nella circolazione e nella temperatura dell'oceano. Molti di questi processi mostrano punti di non ritorno (*tipping points*), il che significa che una volta che sono completamente innescati, possono cambiare drasticamente e irreversibilmente il clima globale su scala temporale umana. La potenziale evoluzione e le conseguenze di tali processi sono una delle priorità più impellenti nello studio del continente antartico che richiedono sforzi congiunti verso i quali la ricerca europea e internazionale si stanno dirigendo. Campagne integrate sul campo, di telerilevamento e di modellazione internazionali sono necessari per alimentare modelli climatici globali completamente accoppiati, in modo che i modelli climatici possano rappresentare accuratamente tali processi per proiettare con sicurezza il livello del mare nel futuro.

IODP ICDP (*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. Nell'ambito ICDP si svolgeranno nei prossimi anni anche le attività di perforazione condotte nel decennio precedente dal consorzio Andrill, di cui il PNRA faceva parte.

Tra il 2018 e il 2020, sono state effettuate perforazioni IODP nell'Oceano Meridionale, nel Mare di Ross. Queste perforazioni IODP avevano come obiettivo la raccolta di carote di sedimenti per ricostruire l'evoluzione paleoclimatica e paleoceanografica del margine continentale antartico in funzione delle fasi di avanzata e ritiro della calotta glaciale nel Cenozoico, delle oscillazioni del fronte polare rispetto alla produzione di acque fredde antartiche, delle variazioni del contenuto di CO₂ e altri gas serra (es. metano). Questi siti sono ritenuti strategici poiché prossimi alla calotta antartica, e poiché conservano record geologici con potenziale elevata risoluzione temporale. Essi contengono pertanto informazioni uniche, che non possono essere ricavate in altre zone del pianeta, utili a ottenere modelli attendibili di previsione dei cambiamenti ambientali globali.

Tre delle cinque proposte di perforazione IODP nell'Oceano Meridionale sono basate su dati geofisici e geologici (*site survey*) italiani e il PNRA ha già finanziato alcune ricerche mirate allo studio delle carote nell'ambito delle collaborazioni con diverse nazioni sia europee che extra europee (Regno Unito, Germania, Spagna, Olanda, USA, Nuova Zelanda, Australia, Corea del Sud, Giappone) per l'analisi dei dati e dei campioni.

La condizione indispensabile per consentire la partecipazione di ricercatori italiani ai *Legs* di perforazione IODP è che venga comunque mantenuta l'adesione nazionale all'*European Consortium for Ocean Research Drilling* (ECORD), <http://www.ecord.org/> che si è costituito come uno dei *Contributing Member* di IODP. A ECORD aderiscono attualmente 17 nazioni europee (Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Islanda, Italia, Norvegia, paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Spagna, Svezia, Svizzera) più il Canada. Nel 2013 il MIUR

ha riconosciuto la partecipazione ad ECORD, come infrastruttura strategica per l'Italia, e ha stanziato 850.000 euro. È quindi auspicabile che l'impegno del paese in ECORD venga mantenuto anche nei prossimi anni.

La stima dei costi delle cinque perforazioni nell'Oceano Meridionale nel periodo 2018-2020 è stato di 10-15 milioni di euro per ciascun *Leg*. Il PNRA ritiene importante contribuire al finanziamento di ricerche per lo studio dei campioni e dei dati raccolti nelle campagne di perforazione e a campagne di *site survey* e studio dei materiali esistenti sia per i programmi IODP che per quelli ICDP.

SCAR Scientific Research Programs (www.scar.org) – Lo *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), nella sua attività di promozione e coordinamento della ricerca antartica, ha lanciato sei programmi di ricerca scientifica a cui la CSNA ritiene strategico aderire promuovendo e favorendo la partecipazione da parte della comunità scientifica italiana. In particolare:

- Antarctic Climate Change in the 21st Century - AntClim21
- State of the Antarctic Ecosystem - AntEco
- Ecosystem Resilience and Adaptation - AnT-ERA
- Past Antarctic Ice Sheet Dynamics - PAIS
- Solid Earth Responses and influences on Cryospheric Evolution – SERCE

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 al mondo, da affiancare al deposito di piante coltivate realizzato alle Svalbard. Questo deposito di duplicati del germoplasma delle specie minacciate, a cui parteciperanno le maggior 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.



Traversa per rifornire Stazione Concordia



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 la sua interazione con la terra e gli oceani, sul clima e sulla distribuzione delle risorse idriche. Negli ultimi anni è molto attivo nel promuovere iniziative rivolte allo studio delle aree polari. Fra queste ricordiamo il programma PPP (Polar Prediction Program) che vede l'iniziativa **YOPP** (Year of Polar Prediction) come fondamentale per aumentare le osservazioni a terra e migliorare con queste le capacità modellistica e previsionali nelle aree polari. L'Italia ha già partecipato attivamente al programma, con una linea di bando specificatamente dedicata a questa iniziativa nel corso del bando 2018, ma si ricorda come questa avrà una sua prosecuzione con un altro periodo speciale di osservazione YOPP-SH nel 21-22. Il WCSP (*World Climate Services Programme*) con riferimento allo sviluppo dei **Regional Climate Centres (RCCs)** per le regioni polari. Su quest'ultimo punto c'è da sottolineare come siano in corso le attività preparatorie, a cui la comunità italiana sta già partecipando, per l'implementazione di un Antarctic-RCC, similamente a quanto già fatto per l'Artico. Il programma **Global Cryosphere Watch** che prevede il monitoraggio dei parametri chiave della criosfera con misure in-situ e satellitari e che promuove l'installazione di stazioni dedicate alla misura di tali parametri che facciano parte della rete **CRYONET** a cui il PNRA partecipa con una stazione alla base Concordia. Le stazioni meteo che fanno parte dell'**Operational Information Service (OIS)** contribuendo alla generazione delle previsioni meteorologiche mondiali.

La comunità nazionale già partecipa a vario titolo alle iniziative sopra descritte ed è da incoraggiare un maggiore coinvolgimento per i prossimi anni.

• **3.2 Le iniziative a carattere operativo-logistico**

Secondo la strategia già introdotta in precedenza, le iniziative a carattere logistico saranno volte a promuovere l'utilizzo di tecnologie più adeguate, efficienti, ecocompatibili, a rendere più confortevoli e soprattutto più sicure le infrastrutture antartiche, ad aumentare ulteriormente la cooperazione internazionale, perseguendo così, spesso contestualmente, sia l'obiettivo di ridurre i costi specifici delle attività logistiche sia l'obiettivo di superare le complesse sfide operative delineate nel progetto *Antarctic Roadmap Challenges* del COMNAP.

Cooperazione internazionale

Diverse sono le iniziative auspicabili per allargare e/o consolidare le collaborazioni con altri Paesi, sia attraverso accordi a largo spettro sia mediante specifici progetti multilaterali.

Per quanto concerne lo stretto rapporto bilaterale che lega Italia e Francia alla gestione congiunta della Stazione Concordia, nel triennio è atteso l'avvio di un ambizioso piano finalizzato al rinnovamento, in sicurezza, delle infrastrutture, secondo l'intesa intergovernativa raggiunta a Napoli dal Ministro Manfredi e dalla Ministra Vidal lo scorso 27 febbraio 2020.

La cooperazione tra programmi internazionali a scala del Mare di Ross, Oceano Meridionale (settore Pacifico) per l'accesso ed il supporto delle infrastrutture, parte da un ottimo livello di interrelazione raggiunto negli ultimi anni. Si dovrà operare per consolidare ed accrescere le sinergie in tema logistico tra Italia, USA, Nuova Zelanda, Germania, Corea del Sud, Australia e Francia, includendo la Cina che ha programmato la costruzione di una nuova stazione di ricerca nell'area di Baia Terra Nova.

E' inoltre auspicabile operare per razionalizzare, e conseguentemente per favorire, lo scambio e la mobilità dei ricercatori tra i programmi antartici delle diverse regioni antartiche, anche definendo procedure condivise per fornire ospitalità e supporto operativo a progetti di ricerca di altri Paesi.

- fra programmi europei a scala pan-antartica: coinvolgere Germania, Regno Unito, Norvegia, Spagna non solo per l'accesso alle stazioni dei paesi europei ma anche ai loro mezzi navali;
- fra programmi internazionali a scala del Mare di Ross, Oceano Meridionale (settore Pacifico) per l'accesso ed il supporto delle infrastrutture: un possibile primo gruppo di paesi potrebbe comprendere USA, Nuova Zelanda, Germania e Corea del Sud, e ora anche Cina, Australia e Francia;
- fra programmi/istituzioni di altri paesi (Corea del Sud, USA, Germania e Cina) per l'utilizzo comune dell'aviosuperficie *ground-based* nell'area di Baia Terra Nova a Boulder Clay, il cui allestimento è ora in fase di conclusione grazie al finanziamento del CIPE;
- fra Germania e Italia per la realizzazione di campagne di acquisizione di dati geofisici mediante rilievi sulla superficie della calotta antartica orientale nelle aree sovrastanti il lago Concordia.

I meccanismi e le iniziative individuate dal *Blue Ribbon Panel* del programma antartico americano (http://www.nsf.gov/geo/plr/usap_special_review/usap_brp/rpt/index.jsp) per contenere il peso dei costi logistico-operativi per le attività in Antartide, trasferiti nella realtà italiana, possono suggerire per la parte italiana l'avvio di molteplici azioni, con interventi specifici sulle stazioni e sui trasporti, come segue.

Trasporti verso l'Antartide (ridurre i costi e aumentare le opportunità)

La logistica antartica nel senso proprio del termine si fonda sulla migliore combinazione dei mezzi disponibili per l'accesso al continente, nonché per gli spostamenti continentali. L'esperienza accumulata dimostra che la soluzione più adeguata consiste nell'ottimizzare il trasporto combinato tra mezzi navali e mezzi aerei, con questi ultimi preferibilmente dedicati ai movimenti del personale, mentre le navi rimangono indispensabili per la movimentazione di combustibile e dei carichi pesanti e/o ingombranti. Però, i mezzi navali sono anche strutture scientifiche di primaria importanza nella ricerca nelle aree polari, e questo elemento si rivela spesso decisivo nelle scelte strategiche.

A tale proposito, un elemento assolutamente rilevante per il presente Programma Triennale è la recente acquisizione della Nave Laura Bassi, che consente all'Italia di essere pronta per la definizione di nuove e migliori strategie per il prossimo decennio, ricordando che l'istituzione della Area Marina Protetta nella regione del Mare di Ross rende ancor più importante l'uso di una piattaforma da ricerca nazionale nell'area. La Nave Laura Bassi possiede già le caratteristiche tecniche adeguate per operare come cargo in funzione della logistica del PNRA; è atteso a breve termine l'auspicato incremento delle installazioni a bordo di strumentazione di alto livello in

supporto delle attività di ricerca nelle aree ghiacciate dell'Oceano Meridionale.

Quanto alle attività aeree, la capacità ultratrentennale del PNRA di gestire le operazioni di volo rappresenta una preziosa prerogativa italiana, nello scacchiere della cooperazione internazionale.



Velivolo C-130 dell'Aeronautica Militare Italiana con il suo equipaggio a Christchurch (NZ)

Nel corso delle ultime stagioni si è inoltre verificata la nuova potenzialità di ospitare velivoli a turbina sulla pista realizzata sul ghiaccio marino e si è aperto il collegamento intercontinentale con Hobart in Tasmania, ad affiancare la usuale rotta con Christchurch in Nuova Zelanda.

La ormai avviata realizzazione di una **aviosuperficie permanente a Boulder Clay** (foto sotto), in prossimità della stazione Mario Zucchelli, spalanca un nuovo ventaglio di opportunità strategiche per il prossimo decennio e oltre. Infatti, la possibilità di operare nell'arco dell'intera stagione estiva offrirà più occasioni di accesso e uscita e conseguentemente consentirà l'ospitalità ad un numero maggiore di ricercatori per periodi più aderenti alle effettive esigenze di ciascuno. Ciò rappresenta un valore non solo funzionale al PNRA, ma anche strategico per aumentare le sinergie con i programmi polari americano, coreano, francese, tedesco e neo zelandese e ora anche cinese.



Fermo restando che l'infrastruttura di volo, finanziata per 5,2 M€ da un intervento specifico del CIPE, sarà operata dall'Italia, è molto interessante la possibilità di definire nel breve-medio termine contratti di noleggio di velivoli in comune con gli altri programmi dell'area, sul modello del consorzio DROMLAN, sia per i collegamenti intercontinentali che per quelli continentali. Quanto a questi ultimi, infatti, cresce l'esigenza di un più esteso utilizzo del velivolo *Basler* in funzione di un maggior ricambio di personale presso la Stazione Concordia.



Stazione Mario Zucchelli

Stazioni in Antartide (Mario Zucchelli e Concordia):

L'ultimo Programma Triennale ha permesso alcuni interventi pluriennali di sviluppo delle infrastrutture di ricerca della Stazione Mario Zucchelli, in primo luogo la realizzazione di un nuovo Acquario, e di manutenzione straordinaria dei locali interni, sia quelli adibiti a laboratori che quelli della zona notte. Malgrado ciò la Stazione, per quanto ancora assolutamente funzionale, non può del tutto nascondere né i trentacinque anni di età né di essere stata originariamente concepita come un pionieristico campo di montaggio per le prime Spedizioni del PNRA: si ritiene comunque che durante il presente Programma Triennale sia opportuno proseguire nella manutenzione ordinaria, e dove necessario e possibile straordinaria, delle strutture, avviando però una fase di studio per un radicale rinnovamento nel medio termine, incluso un miglioramento di sicurezza e salubrità. Fanno eccezione gli interventi sul piano energetico, dove si dovrà sin d'ora intervenire sia sul versante, già positivamente sperimentato, della progressiva crescita degli impianti ad energia rinnovabile, sia per la sostituzione, ormai divenuta impellente per ragioni di sicurezza, dell'intera centrale termica della Stazione.

Si è già accennato all'accordo tra Italia e Francia per l'avvio di un piano di rinnovamento, anche in migliorata salubrità e sicurezza, delle infrastrutture della Stazione Concordia. I principali interventi del piano, che è in via di definizione, e per il quale si chiederà ai rispettivi Ministeri di concedere finanziamenti dedicati, riguarderanno i moduli di sopravvivenza per gli invernanti della Stazione in caso di estrema emergenza, il rifacimento del cosiddetto campo estivo, la concreta introduzione dell'uso di fonti rinnovabili di energia, lo sviluppo dei moduli esterni alla Stazione che sono dedicati a laboratori per le diverse aree tematiche di ricerca.

Si richiamano quindi le fondamentali necessità di:

- azioni volte al contenimento del personale in campagna

- rifornimento di carburante della stazione Mario Zucchelli ogni 2 anni
- stretta collaborazione con USA, Corea del Sud, Nuova Zelanda e Germania per reciproci supporti operativi
- interventi straordinari di riqualificazione energetica della stazione Mario Zucchelli
- piano pluriennale di interventi di manutenzione straordinaria, ristrutturazione e miglioramento della sicurezza delle stazioni
- adeguamento delle infrastrutture per la ricerca in mare da costa

Il costo per gli interventi di riqualificazione della stazione Mario Zucchelli e di manutenzione straordinaria è stimato essere dell'ordine di 4,0 milioni di Euro per questi tre anni, di cui 1,2 milioni di Euro per la riqualificazione energetica delle stazioni e 2,8 milioni di euro per ristrutturazioni e ampliamenti.



Stazione Concordia

Grandi Infrastrutture di Campagna (GIC) e Sistema Interlaboratorio Antartico (SIA)

Con le finalità di favorire l'utilizzo comune di infrastrutture di campagna presso le stazioni scientifiche e su piattaforme mobili, il PNRA ha istituito il Sistema della Grandi Infrastrutture di Campagna (GIC) e una rete di laboratori attrezzati con grandi strumentazioni a disposizione della comunità internazionale, il Sistema Interlaboratorio Antartico (SIA). Le infrastrutture GIC e il sistema SIA sono state due iniziative del PNRA che, dalla metà degli anni 1990, hanno dato significativo impulso alla ricerca antartica. A distanza di vent'anni, queste strumentazioni mostrano una chiara necessità di adeguamento o, più comunemente, di rinnovamento a causa dell'obsolescenza dovuta alla combinazione dei fattori età e avanzamento tecnologico. Questa esigenza è già riconosciuta e analizzata anche dalle due commissioni miste CSNA-CNR-ENEA costituite *ad hoc*.

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

Come più volte sostenuto, la CSNA conferma che la programmazione di lunga durata è un elemento indispensabile per lo sviluppo di grandi progetti internazionali. Paesi, che non hanno un Istituto Polare e finanziano la ricerca con bandi non regolarmente emanati a scadenze predefinite, come ad esempio Italia e Spagna, e che pertanto non sono in grado di avviare progettualità a lungo termine, rischiano di non riuscire a partecipare ai progetti internazionali e interdisciplinari più ambiziosi di lunga durata e che, per loro natura, richiedono la conoscenza preventiva e certa sia sulla entità sia sulla continuità delle risorse economiche e umane disponibili.

La Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide ha più volte richiamato l'attenzione del decisore politico verso una soluzione riformatrice di alto profilo che preveda la costituzione di un'entità polare italiana che riconduca, sotto un'unica direzione strategica ricerca e logistica, scienza antartica e scienza artica.

Con Decreto del Presidente dei Ministri si è attivato nel 2018 il Comitato Scientifico per l'Artico (CSA) che ha l'obiettivo di elaborare, proporre e gestire il Programma di ricerche in quest'area, al fine di implementare la strategia italiana per il Polo Nord. Inoltre il CNR ha recentemente attivato al suo interno il nuovo 'Istituto di Scienze Polari' (ISP) con la missione di contribuire ad accrescere la qualità della ricerca scientifica e tecnologica dell'Italia nelle regioni polari e fornire un contributo alle conoscenze sui cambiamenti globali anche a sostegno delle politiche ambientali italiane ed europee e nello sviluppo di nuove tecnologie e metodologie di indagine. L'Istituto è partito a pieno regime dal 1 giugno 2019, con circa 60 unità di personale tra Venezia, Bologna, Roma e Messina.

Entrambe le iniziative sono segnali di una prima convergenza verso il coordinamento strutturale di attività polari che la CSNA ha sempre auspicato. La dimensione e il collocamento di queste iniziative ed in particolare l'istituzione del l'ISP all'interno di un Ente di ricerca, pur grande e prestigioso come il CNR, possono però essere visti solo come un inizio di una maggiore e più ampia strutturazione del quadro nazionale per le attività polari. Questa strutturazione al livello nazionale permetterebbe all'Italia un confronto con le altre istituzioni internazionali che dedicano grande attenzione alle aree polari che ormai innegabilmente rappresentano il fuoco delle dinamiche terrestri coinvolte nel cosiddetto 'global change' e consentirebbe una maggiore chiarezza nella strategia finanziaria e di ricerca in ambito polare.



Nave rompighiaccio da ricerca "Laura Bassi"

4. Le linee scientifiche prioritarie del PNRA per il triennio 2020-2022

• 4.1 La vita in Antartide

Evoluzione, adattamento e biodiversità

Dal punto di vista biologico, l'Antartide e l'Oceano Meridionale rappresentano una zona unica per lo studio della diversità delle comunità biologiche, della divergenza evolutiva, dei fenomeni di adattamento ad ambienti estremi e delle conseguenze indotte dai cambiamenti in atto. In ultimo, particolare interesse scientifico è rappresentato dall'origine evolutiva della flora e fauna del continente.

In Antartide, le ricerche nell'ambito delle scienze della vita hanno riguardato principalmente la biodiversità, l'adattamento, la struttura e funzione degli ecosistemi, inclusa la comprensione degli effetti dei cambiamenti climatici passati e presenti (e di quelli che si ipotizzano nel futuro), l'effetto della luce, del freddo e dell'isolamento su organismi ed ecosistemi, sia nel continente sia nell'Oceano Meridionale. Di grande importanza, inoltre, sono gli studi dedicati alla diffusione e l'impatto dei contaminanti xenobiotici utili a comprenderne la dinamica di diffusione su scala globale, senza dimenticare, in questo contesto, il monitoraggio delle attività antropiche direttamente esercitate sul continente, legati sia alla ricerca scientifica che allo sfruttamento turistico.

Sebbene negli ultimi anni si siano fatti notevoli progressi, la biologia e l'ecologia dell'Antartide sono ancora ampiamente inesplorate. Inoltre, la presenza di ecosistemi semplici, tra cui alcuni microbici, fornisce modelli di studio unici per chiarire le interazioni, gli adattamenti, i processi di speciazione e i meccanismi evolutivi in condizioni estreme. E di analoga importanza sono gli studi fisiologici che consentono di esplorare i meccanismi di resistenza a tali condizioni, con potenziali ricadute applicative importanti per l'individuazione di molecole di interesse applicativo. Una delle caratteristiche delle ricerche di scienze della vita in Antartide è anche il fatto di essere spesso meno costose, soprattutto in termini logistici, di altre discipline, e quindi in grado di essere più remunerative nel rapporto costo-beneficio (di produzione ricerca).



Stefano Schiaparelli – © PNRA

Problematiche scientifiche

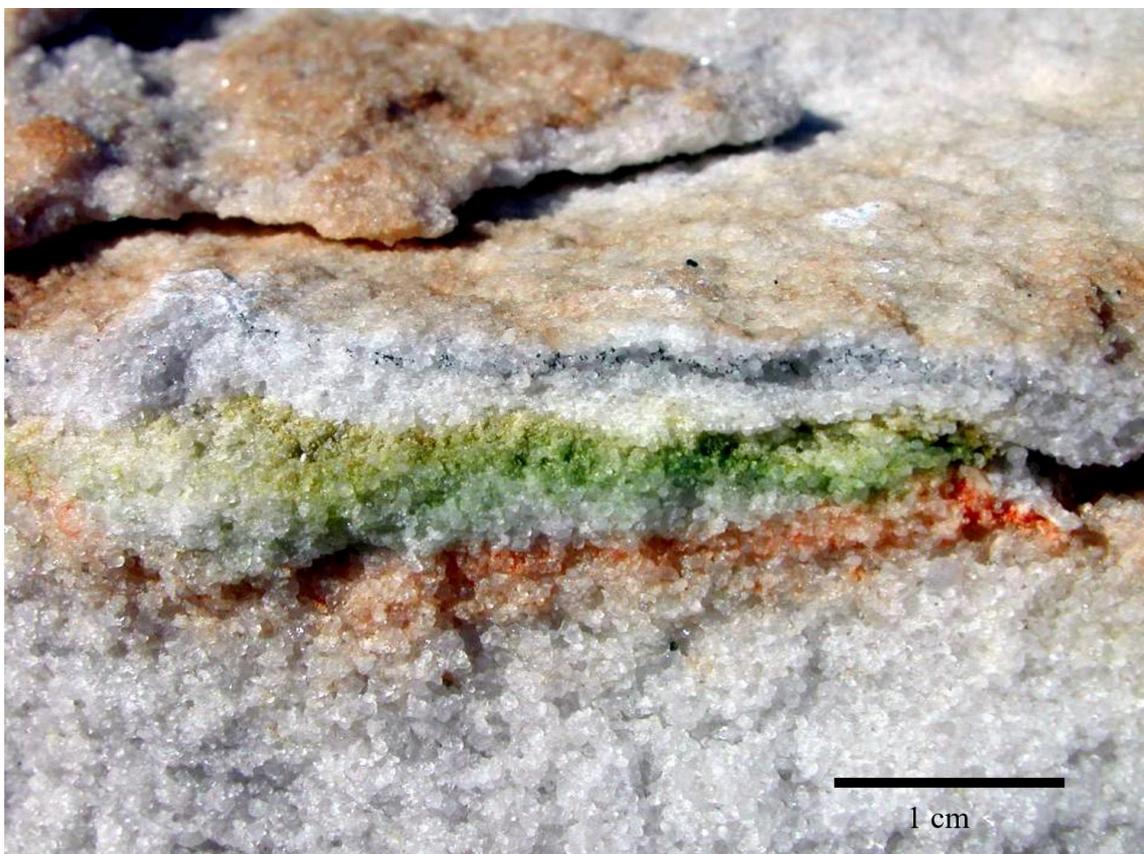
Global change – comprendere il passato per prevedere il futuro

L'Antartide sta subendo un cambiamento significativo a causa dei mutamenti climatici, della variabilità dell'ozono stratosferico, dell'introduzione di specie alloctone, del trasporto di contaminanti, dell'aumentata pressione per turismo, della ricerca scientifica stessa e dello sfruttamento delle risorse. È ormai dimostrato che negli ultimi anni il cambiamento climatico procede con velocità molto elevata, più elevata anche delle recenti previsioni. L'Antartide Orientale e Occidentale hanno mostrato di subire in maniera differente gli effetti del *global warming*; gli ecosistemi della Penisola Antartica hanno subito già effetti assai rilevanti e in Antartide continentale, sebbene le condizioni climatiche si siano mantenute più costanti, si sono osservate già nel breve termine variazioni della componente vegetale crittogamica.

Per quanto gli ambienti marini e terrestri presentino rilevanti specificità, entrambi sono soggetti alle influenze – effettive e potenziali – dei cambiamenti climatici.

Lo studio di specie evolutivamente affini a quelle antartiche può rappresentare una buona approssimazione di quanto potrebbe succedere in prospettiva ad organismi prettamente antartici esposti a condizioni di riscaldamento. Le specie subantartiche, inoltre, possono essere utili indicatori per ricostruire l'origine della fauna antartica, nonché lo studio dei processi di speciazione e diversificazione evolutiva. Sarà necessario approfondire le interazioni climatiche nell'Oceano Antartico, le implicazioni per le dinamiche degli ecosistemi, gli impatti sui cicli biogeochimici e lo sviluppo delle procedure di gestione sostenibile. In tale ambito è di sicuro interesse valutare le risposte nei tassi metabolici delle specie antartiche al riscaldamento climatico ed i loro effetti attesi sui cicli di carbonio e sulla produttività secondaria negli ecosistemi nei prossimi decenni.

La natura olistica del tema del *global change* può richiedere il coordinamento con altre discipline. Importanti progressi potrebbero infatti essere raggiunti attraverso sinergie con altre discipline, tra le quali la chimica ambientale, la geologia, la glaciologia, la climatologia e l'oceanografia.



Comunità microbica crittoendolitica in roccia arenaria

Monitoraggio e conservazione della biodiversità terrestre e marina

Il censimento della vita marina in Antartide (CAML, *Census of Antarctic Marine Life*) costituisce un contributo fondamentale per la valutazione dei possibili cambiamenti futuri. Un analogo censimento per le specie terrestri non è ancora disponibile. Il monitoraggio delle specie antartiche e delle loro reti trofiche è ancora insufficiente, anche se negli ultimi anni anche il contributo italiano è stato significativo, soprattutto per particolari ecosistemi (micro- e meso-bioma marino e terrestre) e regioni geografiche. Il monitoraggio dovrebbe comprendere anche specie artiche utili per sviluppare un approccio comparativo con gli ecosistemi antartici.

Il monitoraggio della biodiversità è fondamentale anche per valutare la necessità di migliorare l'efficacia degli strumenti di conservazione (come le aree marine protette), con riferimento soprattutto all'*overfishing* e alla scomparsa degli *habitat*. È di grande rilevanza valutare le differenze nei livelli di biodiversità entro e tra taxa. Molta attenzione va rivolta all'uso delle risorse trofiche marine al fine di definire le condizioni per un uso sostenibile. La biodiversità marina è ancora sconosciuta per molti gruppi "minori", così come la biodiversità, soprattutto microbica, terrestre.

Analisi a medio e lungo termine, mirate allo studio e alla tutela della biodiversità marina in relazione ai cambiamenti climatici e alle pressioni antropiche (pressione di pesca), sono utili sia per la comprensione e la previsione degli scenari futuri, sia per la tutela delle risorse.

Con riguardo alla biodiversità terrestre, sebbene le reti trofiche siano relativamente semplici, la ricostruzione delle rotte storiche di colonizzazione unite alla caratterizzazione della struttura delle popolazioni permettono, da un lato, di far luce sulla storia evolutiva recente del continente e, dall'altro, di comprendere i fenomeni micro- e macroevolutivi appena trascorsi e in atto. Tali ricerche poggiano imprescindibilmente sulla precisa conoscenza della biodiversità antartica terrestre, a sua volta basata su competenze tassonomiche specialistiche che i ricercatori italiani hanno dimostrato di possedere. Inoltre, la disponibilità di moderne tecniche molecolari per lo studio della struttura genetica delle popolazioni è in grado di fornire informazioni cruciali per identificare anche eventuali effetti dei cambiamenti climatici e rappresentare così uno strumento predittivo di grande valore.

Sempre con riferimento agli ecosistemi terrestri, infine, occorre intensificare gli studi per la caratterizzazione dei cicli e degli equilibri biogeochimici, a loro volta legati alle condizioni ambientali e pertanto vulnerabili nei confronti di perturbazioni esterne.



Pinguino di Adelia

La plastica in Antartide

L'inquinamento da plastica è riconosciuto come un problema globale, ma si sa poco sulla distribuzione e sulle fonti di plastica nelle regioni polari, in particolare in Antartide.

Appare quindi necessario esaminare la presenza, l'origine e gli effetti biologici di macro, micro e nanoplastiche, quantificare la portata del problema e proporre soluzioni per ridurre al minimo il rischio ambientale e gli impatti sugli ecosistemi polari affrontando le seguenti domande scientifiche chiave:

- Qual è la presenza e la distribuzione di materie plastiche (nano, micro e macro) negli ambienti polari?
- Quali sono le fonti e i destini della plastica nelle regioni polari?
- Quali sono gli impatti sulle specie e più in generale sugli ecosistemi polari?
- Quali sono le potenziali soluzioni di risanamento / mitigazione nelle regioni polari?

Approcci scientifico-metodologici

Prospettiva bipolare

La prospettiva bipolare è da considerarsi progettuale strategica, soprattutto negli aspetti che riguardano la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulle comunità biologiche di ambienti estremi e le loro risposte in termini di dinamismo delle comunità, di processi ecosistemici e dei meccanismi di feedback.

Antartide come modello per lo studio dell'astrobiologia

Le Valli Secche della Terra Vittoria sono considerate da decenni il migliore analogo terrestre di Marte e la microbiologia antartica fornisce indicazioni sui limiti della vita sulla Terra e sulla possibile vita passata o presente su altri pianeti. Il monitoraggio del micro- e del nano-clima fornisce informazioni sui limiti di sopravvivenza delle comunità microbiche e sull'influenza del cambiamento climatico ai confini della vita.

Il permafrost antartico e le salamoie (*brines*) forniscono indicazioni preziose sulla possibilità di vita su Marte. I laghi subglaciali sono modelli per lo studio delle lune ghiacciate, come Encelado ed Europa.

Tecnologie "omiche" come strumento di analisi

Le tecnologie -omiche possono rappresentare un importante punto di convergenza per rispondere a questioni trasversali (tra organismi e tra ecosistemi), superando la tradizionale separazione tra microbi, piante e animali, vertebrati e invertebrati, organismi terrestri e marini.

Genomica, trascrittomica, genetica, fisiologia e immunofisiologia forniscono importanti dati per lo studio degli adattamenti, anche con riferimento al potenziale adattativo delle specie e delle popolazioni.

Potenziare gli sforzi di campionamento e standardizzare le procedure

I campioni biologici sono la risorsa più preziosa per ogni progetto relativo alle scienze della vita. È opportuno definire dei protocolli di campionamento il più possibile condivisi per massimizzare l'utilizzo dei campioni stessi la cui raccolta rappresenta per i progetti di ricerca la voce di costo probabilmente più alta. La ottimizzazione della disponibilità dei campioni raccolti nell'ambito del PNRA deve rappresentare un importante passo in avanti nella gestione delle risorse "biologiche".



Krill che pascola sotto il ghiaccio antartico

Priorità per la biologia antartica

- La storia evolutiva e l'origine degli organismi antartici.
- Studi sugli adattamenti e sulla evoluzione delle specie, anche con metodi -omici.
- Ecologia generale e applicata, gestione dell'ambiente e delle risorse.
- Censimento delle specie terrestri.
- Analisi del microbioma marino e terrestre, anche alla ricerca di composti bioattivi.
- Studi biologici sulla valutazione e tutela delle risorse marine e sulle aree protette.
- Ampliamento delle ricerche in zone non nelle vicinanze delle stazioni italiane.
- Effetto dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi.
- Effetto dei cambiamenti climatici sulle specie biologiche.
- Effetto di micro- e nanoplastiche sulla vita marina.
- Studio e tutela delle risorse biologiche marine.
- Organismi antartici come modelli per studi fisiologici.
- Ecosistemi antartici come modelli per lo studio dei limiti e della possibilità di vita su altri pianeti.



Pulcini di pinguino imperatore

Ambito internazionale (SCAR)

L'Antartide, come ambiente freddo, isolato e incontaminato, sta subendo un cambiamento significativo attraverso il riscaldamento del clima regionale, il problema dell'ozono, l'introduzione di specie aliene, il trasporto a lungo raggio di contaminanti e una maggiore attenzione globale come destinazione scientifica e turistica e una fonte di pesca. Nel corso del 21 ° secolo, l'Antartico dovrebbe riscaldarsi di $3,4 \pm 1$ ° C e perdere circa il 30% della sua estensione di ghiaccio marino. Biologicamente, l'Antartide è un centro di divergenza evolutiva e adattamento agli estremi polari. La sua diversità è ora minacciata dai cambiamenti ambientali che si verificano su scale temporali talmente brevi da generare risposte evolutive inusuali e pertanto sconosciute.

Le attività di scienze della vita nell'ambito di SCAR coordinano la ricerca incentrata su:

1. Comprendere l'impatto dei cambiamenti ambientali passati, attuali e previsti sulla biodiversità e le conseguenze per l'adattamento e la funzione.
2. Determinare gli effetti del freddo, dell'oscurità, dell'isolamento e dei patogeni sulla salute e sul benessere degli scienziati e del personale di supporto nell'Antartico.
3. Attraverso collaborazioni multidisciplinari, comprendere le complessità dell'ambiente antartico e prevedere le conseguenze del cambiamento.

Le tematiche citate sono coerenti con l'*Antarctic and Southern Ocean Science Horizon Scan* dello SCAR e si possono inquadrare in o possono avere relazione con i seguenti programmi, *Action groups* e *Expert groups*:

Programmi di ricerca scientifica SCAR sulle scienze della vita:

- Ant-ECO - *State of the Antarctic Ecosystem*;
- Ant-ERA - *Antarctic Thresholds-Ecosystem Resilience and Adaptation*;
- ICED: *Integrating Climate and Ecosystem Dynamics in the Southern Ocean*

Expert Groups

- ANTOS: *Expert Group on Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System*;

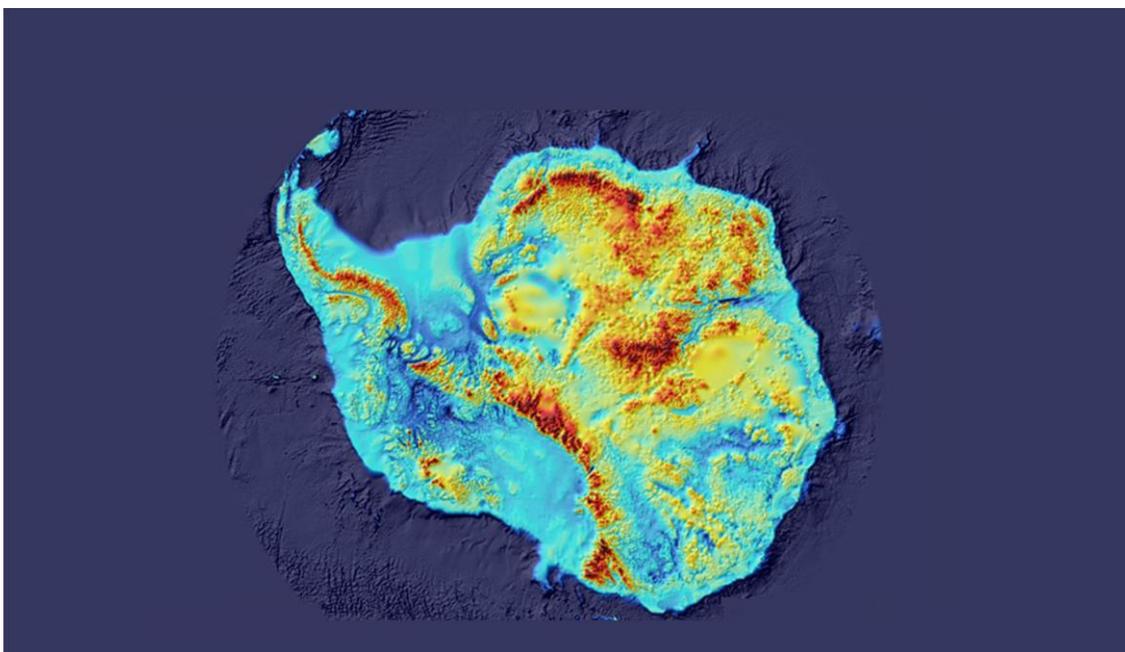
- BEPSII: *Expert Group on Biogeochemical Exchange Processes at the Sea-Ice Interfaces*;
- EG-ABI - *Antarctic Biodiversity Informatics*;
- EG-BAMM: *Expert Group on Birds and Marine Mammals*;
- JEGHBM: *Joint Expert Group on Human Biology and Medicine*;
- SO-CPR: *Southern Ocean Continuous Plankton Recorder Database*

Action Groups

- **ImPACT: Input Pathways of persistent organic pollutants to AntarCTica**
- ISSA: *Action Group on Integrated Science for the Sub-Antarctic*;
- Plastic-AG: *Plastic in Polar Environments Action Group* –
- Remote Sensing: *Action Group on Remote Sensing*
- SKAG: *SCAR Krill Action Group*

• 4.2 La geologia dell'Antartide

Le regioni polari sono ambienti geodinamici dove è possibile osservare le interazioni tra la litosfera, la criosfera, l'idrosfera e l'atmosfera e studiare come questi comparti singolarmente o in maniera integrata, sono collegati tra loro e quale ruolo svolgano nel sistema climatico globale. Si ritiene prioritario per la comunità scientifica italiana approfondire le seguenti tematiche: (1) Struttura e dinamica della litosfera, (2) Processi endogeni-esogeni e loro relazioni con l'ambiente, (3) Cartografia per il futuro dell'Antartide.



Le rocce dell'Antartide al di sotto del plateau polare

Struttura e dinamica della litosfera

Struttura della litosfera

Con solo poco più del 2% del substrato roccioso del continente Antartico esposto, le indagini geofisiche condotte sia direttamente sul plateau (georadar, profili sismici, transetti magnetici e

gravimetrici) che attraverso l'uso di strumenti montati su velivoli (tecniche remote-sensing) rappresentano i metodi più efficaci per ricostruire la topografia sub-glaciale. L'esplorazione geofisica dell'Antartide è ancora largamente incompleta, ma rimane essenziale per comprendere come la geologia sia collegata alla calotta glaciale e ai mutamenti climatici nel passato, del presente e del futuro. Un programma di successo, a questo proposito, è rappresentato dal Polar Earth Observing Network (POLENET), che ha generato importanti progressi nella conoscenza delle proprietà litosferiche attraverso una combinazione di dati da satellite, aerei e da misure terrestri. Queste informazioni saranno decisive per valutare i "bilanci" delle calotte polari e per comprendere meglio il contributo della calotta glaciale alle variazioni del livello del mare. Inoltre, lo studio delle condizioni fisiche del ghiaccio all'interfaccia ghiaccio-roccia contribuisce a comprendere la dinamica della calotta. I carotaggi rappresentano l'altro elemento essenziale per integrare i dati di geologia marina con quelli provenienti dall'interno del continente, fornendo un record più completo e affidabile delle variazioni climatiche del passato. I dati esistenti avrebbero un impatto maggiore se fossero organizzati all'interno di un contesto multidisciplinare con integrazioni tra i dati geofisici, dati geologici e dalla modellazione fisico matematica. Negli ultimi anni, sono stati fatti progressi importanti in questo settore, che necessariamente impone un grande sforzo logistico ed organizzativo.

In questo contesto generale, si ritiene importante i) l'individuazione e lo studio di zone/affioramenti in cui i dati geofisici e geologici possano essere messi a confronto al fine di poter fare correlazioni ed estrapolazioni su larga scala ii) L'accesso diretto a campioni del *bedrock* tramite progetti di perforazione; iii) lo studio della natura e provenienza di campioni del *bedrock* erosi e trasportati da processi geologici (e.g. sedimenti detritici marini, depositi glaciali, *dropstones*).

Per quanto riguarda invece la struttura fisica della litosfera si ritengono utili gli studi mirati a fornire un maggior dettaglio su: i) caratteristiche tomografiche del mantello superiore; ii) spessori crostali a scala continentale e regionale nei maggiori domini tettonici, desunti prevalentemente da dati sismologici; iii) evoluzione nel tempo del gradiente geotermico e del flusso di calore iv) natura fisica e composizione della litosfera anche attraverso informazioni dirette provenienti da xenoliti.

Dinamica della litosfera

La dinamica litosferica ha influenza diretta sui regimi deformativi, sull'attività magmatica, sull'evoluzione geomorfologica e sulle variazioni climatiche.

I processi di assemblaggio e frammentazione dei supercontinenti e il dinamismo orizzontale delle placche litosferiche sono i principali motori dei cambiamenti ambientali/climatici a scala continentale, indipendentemente dai cambiamenti climatici a scala planetaria. Gli studi geologici compiuti fino ad oggi in Terra Vittoria settentrionale hanno portato alla consapevolezza della fondamentale importanza della ereditarietà geologica delle strutture e discontinuità tettoniche a scala litosferica. Le strutture ereditate hanno influenzato le modalità della separazione dall'Antartide dagli altri continenti, la circolazione di fluidi e le relative mineralizzazioni, nonché le forme relitte del rilievo subglaciale, con ripercussioni sulla dinamica e sull'evoluzione della calotta.

L'integrazione delle informazioni sulla dinamica recente e attuale della litosfera con quelle della dinamica passata risultano fondamentali. Le prime sono ottenibili soprattutto con misure geofisiche, le seconde attraverso indagini geologiche.

In quest'ottica è quindi necessario migliorare l'acquisizione dei dati geodetici adeguandola all'avanzamento tecnologico dei GNSS, integrare tali misure con quelle gravimetriche, sia assolute che relative, con i dati ottenuti mediante telerilevamento a elevato dettaglio spaziale e utilizzando eventualmente anche aeromobili a pilotaggio remoto. In quest'ottica si sosterrà lo sviluppo di studi geologici mirati a: i) caratterizzare le aree di debolezza crostale che hanno rappresentato e rappresentano le zone chiave per la dinamica delle placche litosferiche; ii) riconciliare i diversi scenari geodinamici e tettono-magmatici proposti per l'evoluzione della Terra Terra Vittoria, anche per confronto con frammenti un tempo adiacenti del Gondwana (Australia, Nuova Zelanda) anche al fine di promuovere collaborazioni internazionali, iii) definire la risposta termo-meccanica della litosfera con particolare attenzione alla transizione tra litosfera cratonica e litosfera assottigliata del *rift* e iv) correlare i regimi deformativi, l'attività magmatica, i meccanismi che hanno regolato l'erosione e il sollevamento della catena, le variazioni climatiche del Cenozoico alla tettonica intraplacca e all'evoluzione geodinamica globale.

Processi endogeni-esogeni e loro relazioni con l'ambiente

La comprensione delle modalità di interazione criosfera-litosfera è fondamentale per comprendere la risposta della Terra solida alla dinamica delle calotte. La presenza di laghi, di un reticolo idrografico subglaciale e di sedimenti saturi in acqua può influenzare drammaticamente la stabilità della calotta, da cui consegue l'importanza di meglio caratterizzare la topografia subglaciale e di contribuire a definire l'esistenza, l'ubicazione e la distribuzione spaziale di laghi, corsi d'acqua e sedimenti saturi alla base del sistema glaciale antartico. Questi elementi sono di grande interesse per comprendere la dinamica e il bilancio di massa della *East-Antarctic Ice Sheet* (EAIS), ma contribuiranno anche a ulteriori studi finalizzati all'individuazione di siti che preservino il record di ghiaccio > 1.5 milioni di anni. Inoltre, nuove ricerche all'interfaccia substrato roccioso-ghiaccio porteranno rilevanti contributi per la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica dell'intero continente.

Anche in questo caso si ritiene fondamentale combinare le osservazioni geologiche, geomorfologiche e geofisiche con nuovi metodi di modellizzazione al fine di meglio definire i processi in atto e di fornire strumenti per comprendere l'evoluzione futura del sistema antartico. In quest'ottica sono rilevanti anche: i) lo studio della sismicità legata alle dinamiche glaciali, ii) la formulazione di modelli di GIA (*Glacial Isostatic Adjustment*), (iii) la modellizzazione del riequilibrio isostatico, (iv) la ricostruzione e la modellizzazione delle variazioni del livello del mare del passato e di quelle attese per il futuro, (v) la raccolta di dati di flusso di calore.

E' altrettanto importante acquisire nuove informazioni sulle principali fasi della storia glaciale antica e recente e sulla dinamica glaciale che le ha caratterizzate, con particolare attenzione alle fasi di transizione e alla loro durata nel tempo, tutte informazioni desumibili dai sedimenti glaciali di diversa età e attraverso lo studio combinato di esumazione e sedimentazione in bacini alimentati da sedimenti cronologicamente vincolabili.

Antichi paesaggi subglaciali rivelano la storia delle interazioni tra il ghiaccio e la Terra solida. Le firme geologiche del passato livello del mare relativo mostreranno quando e dove il ghiaccio planetario è stato guadagnato o perso. Abbiamo bisogno di conoscere con maggiore dettaglio le fasi climatiche del passato, la loro durata, i meccanismi di passaggio dall'una all'altra e preservati in ghiacci, rocce, sedimenti e forme del rilievo per sapere se le fasi climatiche del passato siano destinate a essere ripetute in un futuro più o meno prossimo.

Il magmatismo è un processo geologico che ha e ha avuto un rilevante impatto in tutta la Terra Vittoria. Il vulcanismo attivo in ambiente glaciale è inoltre una rarità a livello planetario, per cui l'Antartide è un luogo privilegiato per una molteplicità di studi sull'interazione tra vulcanismo-criosfera-atmosfera. I vulcani antartici possono avere molteplici effetti sull'atmosfera e sulla criosfera. Possono produrre colonne eruttive sufficientemente alte da penetrare la tropopausa ed avere un effetto globale o generare eruzioni subglaciali che, associate a una locale anomalia di flusso di calore, possono avere effetti destabilizzanti, almeno localmente, sulla copertura glaciale. Gli edifici vulcanici possono invece anche rappresentare forme del rilievo in grado di condizionare non solo la geomorfologia delle aree emerse ma anche la dinamica delle calotte e delle piattaforme galleggianti.

Le caratteristiche dei prodotti delle eruzioni subglaciali forniscono informazioni importanti sulla dinamica glaciale, con evidenti implicazioni anche sulle ricostruzioni paleoambientali. Analogamente i livelli di cenere vulcanica possono essere superfici isocrone utili per le correlazioni tra carote di ghiaccio e sedimenti marini e costituiscono un dato fondamentale per la ricostruzione della circolazione atmosferica all'epoca dell'eruzione.

Negli ultimi anni un particolare interesse si è concentrato anche sulla possibile correlazione cronologica tra processi di *glacial loading/unloading* e le eruzioni vulcaniche. Il rapido alleggerimento di carico dovuto alla fusione del ghiaccio potrebbe innescare eruzioni da camere magmatiche cristalline, e ripetuti cicli di carico e scarico possono generare riscaldamento nel mantello aumentando la produttività di magmi.



Il ritrovamento di un meteorite

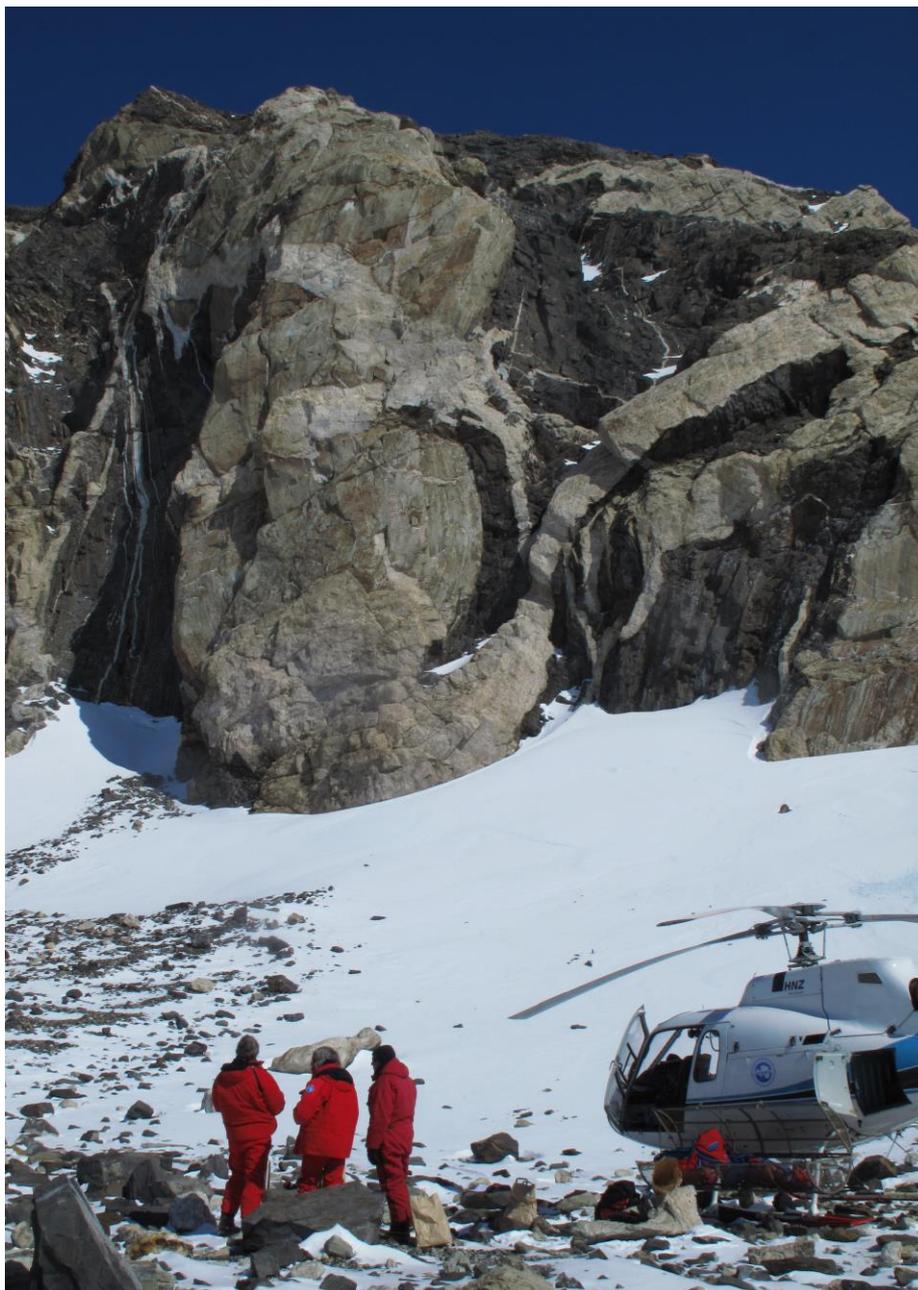
Cartografia per il futuro dell'Antartide

La Cartografia è la base di partenza per la caratterizzazione di un territorio, per la ricostruzione dell'evoluzione ambientale e per la modellazione delle coperture glaciali, per l'esplorazione e lo studio dei geo-indicatori dei cambiamenti climatici, biologici e degli studi ecologici. La grande quantità di dati cartografici e analitici prodotta fino ad oggi in Antartide, e che sarà prodotta in futuro, costituisce un patrimonio scientifico di non semplice accesso nella sua globalità e interconnessione. In Antartide è in fase avanzata di attuazione l'integrazione tra *dataset* geologici alla scala del continente. Nello SCAR, questa problematica è riconosciuta e seguita dall'Action Group "GeoMAP", che prevede il coinvolgimento di strutture didattiche universitarie, anche nell'ambito di programmi mobilità per attività didattica a livello internazionale (tirocini, tesi e *traineeship* post laurea).

Per la cartografia geologica e tematica risultano ancora prioritari: (1) la informatizzazione delle informazioni fornite da pubblicazioni esistenti (cartografia geologica, geomorfologica, magnetica, gravimetrica, flusso di calore, quota e morfologia del *bedrock*, laghi subglaciali), (2) la creazione di dataset relativi ai dati di terreno, non ancora completamente disponibili in forma digitale, e (3) l'integrazione di queste informazioni in un nuovo programma di cartografia geologica e tematica basato sulle nuove tecnologie, in grado di integrare e fornire contenuti geologici a livelli diversi, fruibile e consultabile online in maniera semplice e intuitiva.

Per le scienze della Terra le aree geografiche di maggiore interesse per le ricerche suddette includono: Terra Vittoria settentrionale e meridionale, Antartide centrale, *Marie Byrd Land*, Penisola Antartica, Australia Sud-Orientale. Tra queste le zone di particolare rilevanza sono: *Shackleton Range*, *Adelie/George V Land*, *Dronning Maud Land*, Ghiacciaio Nimrod, Montagne Transantartiche centrali.

Un'esigenza particolarmente sentita dai ricercatori è quella di un sempre maggiore legame e integrazione tra metodologie geologiche e geofisiche (SCAR-CGG), che operativamente potrebbe essere attivata dalla sinergia tra progetti o dalla diretta integrazione di dati e metodi in singoli progetti, peraltro già messi in atto in diversi progetti e concretizzata in numerose pubblicazioni scientifiche.



L'utilizzo di tecnologie innovative come, ad esempio, i droni permetterebbe la raccolta di osservazioni intermedie tra osservazioni di terreno e da satellite. Inoltre, strumentazioni allo stato dell'arte costituirebbero una forte attrattiva per ricercatori stranieri, stimolando quindi collaborazioni internazionali a guida PNRA.

Sarebbero inoltre auspicabili studi di fattibilità e sviluppo di tecnologie e metodi speditivi per il campionamento tramite carotaggi del substrato subglaciale.

Va ricordata infine l'importanza della disponibilità di navi oceanografiche, fondamentali per l'acquisizione di dati off-shore (dati oceanografici, sismica multicanale, batimetria *multibeam*, magnetometria) e in grado di effettuare dragaggi e carotaggi. Il debutto della nuova nave rompighiaccio *Laura Bassi* nel corso dell'Estate Australe 2019/2020, e nelle successive campagne previste, offrirà l'opportunità di ampliare in modo considerevole queste attività off-shore, ed estendere le ricerche anche agli altri settori dell'Oceano Meridionale.

Ambito internazionale (SCAR)

Per tutta la durata della storia del pianeta il continente antartico e gli oceani circostanti hanno giocato un ruolo chiave. Gli affioramenti rocciosi accessibili, le sequenze sedimentarie affioranti o depositatesi sul fondo degli oceani circostanti il continente Antartico, contengono informazioni importanti sulla storia geologica e sulla evoluzione ambientale nel tempo e sul biota da esso dipendente. Inoltre le caratteristiche geologiche delle rocce del basamento influenzano il comportamento del ghiaccio e hanno condizionato lo sviluppo della calotta glaciale sin dal suo inizio. Gli osservatori geodetici e geofisici forniscono dati sullo stato attuale dei processi geodinamici in tutto il continente. Tutte queste informazioni, possono essere raccolte a scala locale, utilizzando diverse metodi di indagine, ma necessitano di una integrazione tra le varie discipline ed alla scala dell'intero continente per potere essere sfruttate appieno. Pertanto la sfida nei prossimi anni continuerà ad essere quella di coinvolgere l'intera comunità scientifica a livello internazionale per integrare tutti le discipline della geoscienze e pervenire ad una comprensione olistica dell'Antartide e della sua evoluzione. In questa prospettiva lo SCAR è l'attore principale in quanto promuove ed organizza programmi di ricerca, action and expert groups.

Programmi di ricerca scientifica SCAR sulle geoscienze:

- SERCE: Solid Earth Responses and influences on Cryospheric Evolution
- PAIS: Past Antarctic Ice Sheet Dynamics

Action Groups

- AntArchitecture: A continent-wide, age-depth model of Antarctica's ice project
- CGG: Connecting Geophysics with Geology
- Geoconservation: Geological Heritage and Geoconservation
- GeoMap: Geological Mapping Update of Antarctica

Expert groups

- ADMAP: Antarctic Digital Magnetic Anomaly Map Project
- ANTOS: Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System
- ANTPAS: Antarctic Permafrost, Soils and Periglacial Environments
- ANTVOLC: Antarctic Volcanism
- GIANT: Geodetic Infrastructure of Antarctica
- GRAPE: GNSS (Global Navigation Satellite System) Research and Application for Polar Environment
- IBCSO: International Bathymetric Chart of the Southern Ocean

• 4.3 Il sistema glaciale antartico e il livello del mare

Nel complesso sistema glaciale antartico è preservata un'enorme quantità di acqua allo stato solido che, se rilasciata in toto, sarebbe in grado di indurre un innalzamento drammatico del livello del mare, ma innalzamenti significativi sono possibili anche considerando semplicemente scenari di fusione limitata nel breve-medio termine. Infatti, tutte le proiezioni che considerano la contrazione delle calotte antartiche prevedono conseguenze drammatiche sulle popolose comunità costiere entro pochi decenni. La stabilità del sistema glaciale è sotto osservazione e i ghiacciai antartici e subantartici hanno mostrato di recente un'elevata sensibilità al riscaldamento climatico in atto.

Sebbene sia ben nota l'elevata sensibilità della criosfera al riscaldamento atmosferico, ancor più preoccupanti sono le conseguenze dell'elevata sensibilità osservata delle lingue e delle piattaforme galleggianti alle condizioni dell'aumento delle temperature e variazioni della salinità lungo le linee di ancoraggio e all'interfaccia oceano-ghiaccio. Inoltre, è importante comprendere il ruolo potenziale del ghiaccio marino nel mitigare l'erosione meccanica delle lingue glaciali che sfociano nell'oceano rallentando i processi di distacco.

I rapporti tra dinamica degli *ice-stream* e dei ghiacciai di sbocco rispetto alle condizioni subglaciali sono ancora poco chiari e molti aspetti devono essere meglio compresi, sia tramite la costruzione di modelli della dinamica glaciale a scala locale e regionale, sia tramite monitoraggio indiretto (*remote sensing*) dell'intero sistema antartico o di sue porzioni significative. Le condizioni subglaciali devono essere meglio comprese sia dal punto di vista della presenza di un reticolo idrografico alla base delle calotte e della sua evoluzione, sia per quanto riguarda la topografia del substrato, le forme del rilievo sepolto, la natura geologica del *bedrock* e l'intensità del flusso geotermico, in grado di influenzare la capacità di scivolamento della calotta, il cui valore presenta molte incertezze. Di grande rilevanza anche lo studio dei processi di fusione in superficie e la formazione di laghi superficiali sia sulle calotte che sulle piattaforme galleggianti a causa delle possibili conseguenze della percolazione di acqua liquida che può portare a fenomeni di fratturazione. Inoltre, ancora poco chiari sono i dati relativi al bilancio di massa superficiale dell'intero sistema glaciale la cui conoscenza è invece una priorità scientifica assoluta. Il ruolo delle megadune di neve e delle superfici ventate (*wind crust*) nella dinamica delle calotte antartiche deve ancora essere caratterizzato e meglio compreso: evidenti sono le connessioni tra la distribuzione dei campi di megadune, la loro evoluzione nel tempo, il ruolo del vento nella redistribuzione delle precipitazioni sul continente e la dinamica delle calotte, ma una maggiore conoscenza di questo sistema consentirà di indirizzare correttamente le future attività di perforazione in Antartide e una migliore stima dell'accumulo nevoso.

Rilevanza notevole ha il monitoraggio del permafrost, sia come indicatore degli effetti del cambiamento climatico, perché sensibile alle variazioni di accumulo nevoso e di radiazione solare, sia per gli effetti della sua degradazione e sugli effetti sugli ecosistemi e sulla biodiversità.

Infine, nel breve-medio periodo andrebbe meglio compreso il comportamento del ghiaccio marino, anche in relazione al ruolo delle *polynya* nella dinamica degli oceani, nella circolazione delle correnti marine e nella circolazione atmosferica.

Le tematiche individuate per lo studio del sistema glaciale antartico hanno strette relazioni con priorità scientifiche individuate anche da altri settori di ricerca e, in particolare: a) con i processi geologici e i loro effetti sull'evoluzione climatica e ambientale; b) con le forme del rilievo subglaciale e con la presenza di acqua alla base dei ghiacciai antartici; c) con l'evoluzione dell'Oceano Meridionale e il riscaldamento globale e, in particolare, con le interazioni tra lingue e piattaforme di ghiaccio galleggianti, il riscaldamento dell'Oceano Meridionale e l'estensione del ghiaccio marino Antartico; d) con la circolazione atmosferica e le sue variazioni nel passato; e) con gli studi biologici del ghiaccio e delle acque subglaciali.

I ghiacci dell'Antartide sono inoltre notoriamente il miglior archivio di materiale extraterrestre, meteoriti e micrometeoriti, il cui studio non solo ha enorme rilevanza per le conoscenze sull'evoluzione dei corpi rocciosi del Sistema Solare, inclusa la Terra ma, assieme alle tectiti, è anche un utile indicatore per la definizione della dinamica della calotta glaciale antartica.

In sintesi, le priorità scientifiche per il prossimo triennio, sotto riportate, hanno strette relazioni con le sei priorità scientifiche individuate dallo SCAR nel documento *Horizon Scan 2014* e nel documento programmatico di INSTANT (INSTabilities & Thresholds in ANTArctica). INSTANT è un nuovo programma di ricerca strategica (SRP) SCAR della durata di 8 anni che affronta la questione dell'incerto contributo dell'Antartide al cambiamento del livello del mare. Inoltre sono considerate anche tra le priorità scientifiche della ricerca europea in ambiente polare contenute nell'Integrated European Research Programme (https://www.eu-polar.net.eu/fileadmin/user_upload/www.eu-polar.net.eu/Members_documents/Deliverables/WP2/EPRP_final_version.pdf), e le EU-PolarNet White Papers (<https://www.eu-polar.net.eu/news-and-events/conferences-and-workshops/white-paper-workshop/>).



"Carota" di ghiaccio per lo studio del clima passato

1 - **Oltre EPICA - il Ghiaccio più antico** (BE-OI – Beyond Epica Oldest Ice)

La sfida di effettuare in Antartide una perforazione che porti alla luce il ghiaccio più vecchio finora mai recuperato è una delle più importanti priorità scientifiche nell'ambito delle ricerche che coinvolgono gli *ice core*. Recuperare una carota di ghiaccio che contenga il record climatico e dei gas serra degli ultimi 1,5 milioni di anni significherebbe raddoppiare, in termini temporali, le informazioni attualmente in nostro possesso che provengono dalla carota di ghiaccio di EPICA Dome C. L'arco temporale che va da 0,9 a 1,2 milioni di anni fa è caratterizzato dal passaggio da una ciclicità glaciale/interglaciale di circa 41.000 anni, a una periodicità di circa 100.000 anni che contraddistingue gli ultimi 800.000 anni. Che cosa abbia causato questa transizione e quale sia stata l'ampiezza e la relazione di fase tra i parametri dell'orbita terrestre, il clima, il volume dei ghiacci e il contenuto della CO₂ atmosferica, non è ancora compreso. Solo un record continuo delle temperature e dei gas serra che si estenda indietro nel tempo oltre la transizione del Pleistocene medio (*middle Pleistocene transition* - MPT) ci potrà fornire risposte più complete.

Il progetto, già inserito nel programma triennale 2014-2016, ha già ricevuto finanziamenti dall'Unione Europea nell'ambito del programma H2020, dell'IPEV e del PNRA (PNRA 2016, Progetto Beyond EPICA - Oldest Ice Project). Il progetto è attualmente finanziato dall'Unione Europea tramite una Research and Innovation Action con una durata di 7 anni.

L'area limitrofa a Dome C per le sue caratteristiche e le potenzialità logistiche è risultata essere la candidata per la realizzazione della perforazione Europea nello schema già seguito nel precedente progetto EPICA. Nelle precedenti stagioni antartiche, sono stati portati a termine una serie di rilievi geofisici tramite Radar Echo Sounding (RES) che hanno permesso di individuare il sito di Little Dome C (LDC), distante 35 km dalla Stazione Concordia. Esso è idoneo alla raccolta di una carota di ghiaccio che copra un intervallo indisturbato di 1,2 -1,5 milioni di anni.



TALDICE TALos Dome Ice CorE per lo studio del ghiaccio antartico

2 - Bilancio di massa superficiale e interazioni atmosfera – ghiaccio (*Surface Mass Balance and ice atmosphere interactions - EAIIST – East Antarctica International Ice Sheet Traverse*)

Il sesto rapporto dell'IPCC SROCC pubblicato nel 2019 ha messo in evidenza come le principali incertezze legate alla previsione delle variazioni future del livello del mare siano legate principalmente alla determinazione del bilancio di massa dell'Antartide e ai trend climatici (temperatura e precipitazione) recenti e passati, che dimostrano una grande variabilità spazio-temporale. La scarsità delle osservazioni del *surface mass balance* (SMB) per diversi settori dell'Antartide e la sottostima dell'interazione dei venti catabatici con la topografia della calotta contribuiscono pesantemente a tali incertezze.

Le traverse scientifiche effettuate in passato hanno contribuito a colmare questa lacuna. I dati raccolti durante la traversa EAIIST (*East Antarctic International Ice Sheet Traverse*), la cui prima fase è stata portata a termine con grande successo nell'ambito della campagna 2019-20, potranno contribuire a chiarire queste incertezze per un settore nel quale i valori di bilancio di massa sono poco conosciuti e dove l'interazione del vento con la superficie glaciale porta alla formazione di morfologie superficiali (mega-dune and *wind-glazed surfaces*) che qui sono particolarmente ben rappresentate e hanno un ruolo molto importante nel bilancio di massa. Gli studi attuali del bilancio di massa superficiale soffrono di questa mancanza di osservazioni dirette sul terreno e si pensa che le proiezioni attuali potrebbero essere sovrastimate. La traversa scientifica EAIIST è stata proposta da un consorzio di ricercatori italiani e francesi, (con un contributo anche australiano e americano)

è stata inserita nel precedente programma triennale ed ha determinato l'approvazione di progetti sia italiani (progetto PNRAXX EAIIST, che ha contribuito alla fase preparatoria) che Francese. Gli obiettivi specifici della traversa sono lo studio delle proprietà geofisiche (fisica del ghiaccio, SMB, densità, temperatura, sismicità, etc), geochimiche (impurità, aerosol, isotopi, funzioni di trasferimento) e meteorologiche (AWS, dinamica dell'atmosfera, processi di trasporto delle masse d'aria) di una delle regioni più sconosciute e remote del nostro pianeta. La seconda fase della traversa dovrà prevedere di: i) recuperare le strumentazioni sismiche e altre lasciate lunga la rotta in siti precedentemente individuati e ii) dovrà portare a termine le analisi dei campioni e dei dati geofisici ottenuti durante la prima fase. Ulteriori traverse, sempre in collaborazione con altri paesi, sono da incoraggiare per i prossimi anni per approfondire questi aspetti.

3 - *Storia e comportamento della calotta est-antartica (dinamica, fluttuazioni e limiti cronologici)* - Past behaviour of East Antarctic Ice Sheet (dynamics, fluctuations and chronological constrain)

Si ritiene che la calotta dell'Antartide orientale sia relativamente stabile rispetto a quella occidentale ma le nostre conoscenze sul suo comportamento attuale e passato sono molto limitate in particolare per quelle aree che poggiano al di sotto del livello del mare come Wilkes e Aurora subglacial Basin che culminano nei duomi di Dome C e Talos Dome. Lo studio della dinamica e delle fluttuazioni passate della calotta dell'Antartide orientale (Olocene, Ultimo Massimo Glaciale e precedenti fasi pleistoceniche) sono essenziali per una migliore attendibilità delle proiezioni per il futuro. L'Antartide è caratterizzata da una grande variabilità spazio-temporale del clima a scala da inter-annuale a multi-secolare a causa della complessità dei processi di interazione tra circolazione atmosferica, oceanica e il ghiaccio marino. La mancanza e la limitazione temporale delle osservazioni meteorologiche e dei record climatici limitano la nostra comprensione dei *trend* climatici recenti, anche in relazione alla conoscenza della forzante solare nel modulare il clima. È perciò essenziale ottenere nuovi record climatici che ricoprano diverse scale temporali (dagli ultimi mille anni ai milioni di anni) sia da perforazioni in ghiaccio che da perforazioni di sedimenti. Per lo studio delle variazioni temporali dei *West-Antarctic Ice Sheet* (WAIS) e della EAIS e per le ricostruzioni della dinamica glaciale più antica risulta necessario il recupero e l'analisi integrata di sedimenti in bacini sedimentari almeno fino al limite Eocene-Oligocene. In questo si colloca anche il programma internazionale IODP. È stata messa in evidenza l'importanza di utilizzare la tefrostratigrafia sia per la correlazione fra le carote di ghiaccio, ma soprattutto per la correlazione fra le carote di ghiaccio e quelle di sedimenti marini al fine di una sincronizzazione e datazione delle ultime. Una maggiore attenzione dovrebbe essere rivolta ai sedimenti continentali di origine glaciale e di origine marina preservati nelle aree deglacciate del margine costiero, principalmente al fine di ricostruire spazialmente le variazioni delle calotte e per caratterizzare la dinamica passata dei ghiacciai continentali. In tal senso, maggiori sforzi dovrebbero essere rivolti alla precisa datazione e alla correlazione dei sedimenti glaciali identificati sul continente con quelli individuati sui fondali marini e nelle perforazioni, al fine di valorizzare al massimo i punti di forza sia delle perforazioni (continuità temporale) sia del rilevamento geologico-glaciale e geomorfologico (variabilità spaziale e dettaglio delle informazioni in siti chiave).

Infine, nuovi dati sulle variazioni relative del livello del mare dovranno essere utilizzati per meglio comprendere le passate interazioni tra sistema glaciale e oceano, con riferimento sia alle tappe della deglaciazione che ha seguito l'ultimo periodo di massima espansione glaciale, sia alla determinazione della componente eustatica dell'ingressione marina olocenica, sia alla valutazione della componente isostatica da considerare nei modelli di variazione del livello del mare.

Molti degli argomenti sopra citati sono stati riconosciuti come prioritari nei programmi IPICS, PAGES/Antarctica2k, PAIS.

4 - *Interazione tra calotte e oceano: modellizzazione delle interazioni passate e future tra oceano e piattaforme galleggianti* (Ice sheet and ocean interaction modelling from past for future interactions between ocean and ice shelves).

Le calotte della Groenlandia e dell'Antartide stanno perdendo ghiaccio con significativi tassi di accelerazione, in particolare si è osservata una riduzione spaziale e negli spessori delle piattaforme di ghiaccio galleggianti. Recenti osservazioni stabiliscono una chiara corrispondenza tra l'aumento

della temperatura delle acque oceaniche e un assottigliamento delle piattaforme di ghiaccio galleggiante. L'approccio modellistico ci permette di comprendere la dinamica delle calotte polari e dell'oceano fornendo importanti scenari per capire l'impatto dei cambiamenti climatici passati, presenti e futuri sulla topografia dell'Antartide. Le osservazioni climatiche in situ come proposte nei punti precedenti, unitamente alle osservazioni satellitari, permettono di migliorare la comprensione dei processi climatici e glaciologici simulati dai modelli che forniscono un approccio complessivo dell'evoluzione dinamica della calotta antartica in interazione con il clima. Tale tematica è ritenuta cruciale per la previsione delle condizioni future di stabilità delle calotte che poggiano al di sotto del livello del mare, come il *West Antarctic Ice Sheet* o le porzioni di calotta orientale come il *Wilkes Subglacial Basin*.

5 - Il Permafrost nel Cambiamento Climatico presente e passato

Lo studio del permafrost antartico consente di quantificare il potenziale contributo di questo elemento della criosfera, in particolare in riguardo agli impatti del Cambiamento Climatico sulla stessa e sugli effetti di questa sugli ecosistemi. Particolarmente rilevante il contributo della parte costiera (*Maritime Antarctica*), dove, soprattutto nella Penisola, si registra uno dei tassi di riscaldamento atmosferico più elevati del pianeta. Inoltre nella Terra Vittoria, nonostante una sostanziale stabilità climatica, lo strato attivo si sta approfondendo ad una velocità elevata. Lo studio del permafrost è anche rilevante per la corretta comprensione dell'evoluzione della velocità dei processi geomorfologici anche considerando una possibile analogia con la dinamica evolutiva di altri pianeti.

Per queste tematiche importanti contributi potranno pervenire da: 1) monitorare il permafrost e lo strato attivo e quali siano i driver di questo cambiamento; 2) monitorare e comprendere quali siano le conseguenze dell'approfondimento dello strato attivo sugli ecosistemi terrestri e marini 3) individuare la reale estensione del permafrost sottomarino, 4) analizzare la presenza di *talik* (falde acquifere nel *permafrost*) con *brine* ipersaline nella Terra Vittoria che rappresentano il migliore analogo di Marte, 5) studiare i processi di alterazione dei substrati rocciosi che possono dare un utile contributo alla comprensione della storia della deglaciazione antartica antica.

6- Paleotopografia e modellistica

I modelli numerici che simulano il comportamento delle calotte glaciali sono ampiamente utilizzati per prevedere la risposta delle calotte glaciali continentali ai futuri cambiamenti climatici e, a loro volta, il loro contributo all'innalzamento globale del livello del mare. L'uso di queste simulazioni comunque, è ostacolato dalla scarsa conoscenza di dati altimetrici (morfologia del bedrock) e batimetrici sia del presente che del passato, e dalla scarsa conoscenza di come i processi oceanici, glaciologici e idrologici del sottosuolo interagiscono. Inoltre, una corretta modellazione dei processi glaciali e delle fasi evolutive necessita di migliori record diretti di validazione dei dati sia dal punto di vista della dinamica glaciale sia per quanto concerne una cronologia degli eventi maggiormente dettagliata. Incorporare la varietà e l'interazione dei processi glaciali, operando su più scale spazio-temporali, è fondamentale per modellare l'evoluzione del sistema Antartico e richiede osservazioni dirette in luoghi remoti. Un modello in grado di riprodurre con successo il comportamento e l'estensione della calotta glaciale può quindi essere efficacemente utilizzato per effettuare proiezioni circa la futura risposta della calotta glaciale su tempistiche superiori ai prossimi decenni.

Modelli accurati del comportamento della calotta glaciale antartica del passato richiedono necessariamente ricostruzioni realistiche dell'evoluzione della topografia del bedrock. Per queste ricostruzioni, bisogna prendere in considerazione una serie di processi tra cui il carico della calotta glaciale, il vulcanismo, la subsidenza termica, i processi erosivi, la sedimentazione e la regolazione isostatica litosferica. Per convalidare i modelli è necessario vincolarli con dati geologici sia onshore che offshore. In questo senso, risultano decisive: (i) le carte altimetriche del basamento e delle sue caratteristiche "litologiche", desunte principalmente da dati remote-sensing (attraverso rilievi radar, magnetici e gravimetrici), (ii) le carte batimetriche di dettaglio (attraverso l'uso di ecoscandagli multifascio), e (iii) l'individuazione nella piattaforma antartica di markers acustici e geometrie deposizionali (attraverso l'uso di profili sismici) che permettono di ricostruire le dinamiche passate della calotta, con particolare attenzione alla linea di ancoraggio e alla sua dinamica. Queste informazioni infine vanno calibrate e correlate con i dati litostratigrafici e sedimentari provenienti da

perforazioni e carotaggi (sia superficiali che profondi) opportunamente acquisiti sulla piattaforma antartica. Il quadro di riferimento verrà completato e arricchito da correlazioni con i dati a terra, sia per quanto riguarda gli elementi geomorfologici che caratterizzano il paesaggio antartico, sia per quanto riguarda i complessi glaciali custoditi su nunatak e aree costiere deglacciate. In questo senso, uno sforzo sempre maggiore viene richiesto per lo sviluppo sempre maggiore di tecniche di datazione radiometrica (C-14, Ar-Ar, U-Th,...) e tramite determinazione dell'età di esposizione all'azione delle radiazioni cosmogeniche.

Le attività di raccolta dati offshore potranno avere un notevole incremento nei prossimi anni con l'entrata in servizio della nave rompighiaccio Laura Bassi che opererà nell'Oceano Meridionale, e che verrà progressivamente attrezzata con moderne tecnologie di acquisizione sia geofisiche che oceanografiche. Inoltre, grazie alle caratteristiche di rompighiaccio, risulteranno maggiormente accessibili anche località difficilmente raggiungibili in passato.

Le ricostruzioni paleo-topografiche forniscono le condizioni al contorno per i modelli che mirano a comprendere il comportamento passato della calotta glaciale antartica e che hanno implicazioni per la stima dei cambiamenti nel volume globale del ghiaccio, della temperatura e del livello del mare attraverso le principali transizioni climatiche del Cenozoico.

Aree geografiche di interesse

Le aree d'interesse sono quelle relative all'area di drenaggio di Dome C (*Oldest Ice*) e Talos Dome, l'area da Dome C verso il Polo Sud (traversa EAIIST), l'area della Terra Vittoria e del Mare di Ross, la *Wilkes Land* e la Penisola Antartica.

Metodologie e strumenti

Le metodologie e gli strumenti che potranno essere utilizzati sono: traversa Dome C-*mega dune area*; perforazioni in ghiaccio e nei sedimenti marini; rilievi geofisici: RES, GPR, sismica su ghiaccio e in mare, rilievi GPS; *remote sensing* nella banda delle microonde; modelli accoppiati di clima, modelli oceanici e modelli di *ice-sheets*; piattaforma aerea attrezzata per rilievi geofisici.

Ambito internazionale

Nell'ambito internazionale assumono particolare rilievo i progetti seguenti: EAIIST (Traversa Dome C-*mega dune area*); *Beyond EPICA-Oldest Ice*; IODP; IPICS; PAGES2k; il programma bilaterale italo-francese SOLARICE, DEEPICE (ITN della Commissione Europea). DEEPICE mira a formare una nuova generazione di ricercatori europei che lavorino su questioni scientifiche correlate al cambiamento climatico in Antartide sfruttando il vantaggio offerto dal progetto europeo "Beyond EPICA".



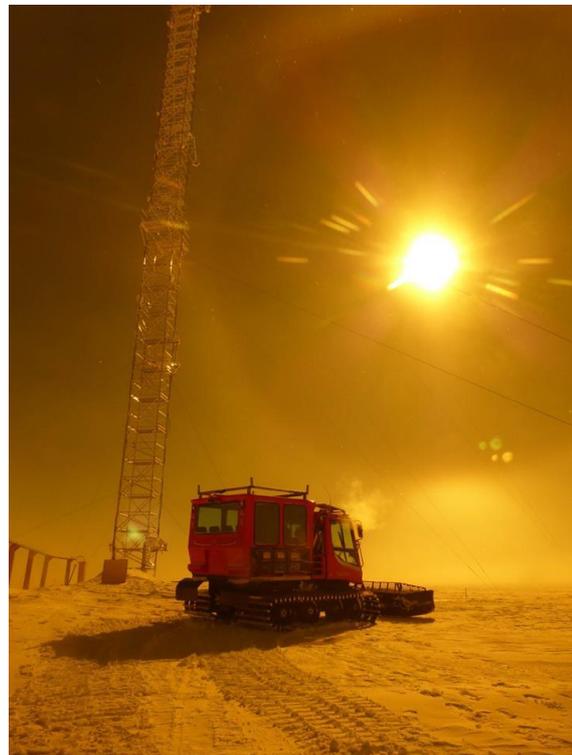
- **4.4 La definizione dell'impatto globale dell'atmosfera antartica e dell'Oceano Meridionale**

a) L'atmosfera

Il Contesto scientifico

Molti dei processi che avvengono nell'atmosfera antartica sono in grado di modificare il bilancio energetico del pianeta, i gradienti di temperatura, la chimica dei composti solidi e gassosi e la circolazione atmosferica planetaria. A loro volta i cambiamenti climatici possono influenzare fortemente questi processi e quindi l'intensità del loro impatto sul sistema climatico. Negli ultimi anni un notevole sforzo è stato dedicato a comprendere meglio il sistema globale accoppiato atmosfera-oceano quale motore portante del clima della terra. Per l'emisfero sud del pianeta ad esempio è stato dimostrato come gli oceani tropicali riescano a influenzare il clima dell'Antartide a diverse scale temporali attraverso le teleconnessioni atmosferiche. Questi fenomeni sono maggiormente osservati nell'ovest dell'Antartide e sono legati alle variazioni che avvengono nell'Oceano Pacifico tropicale e subtropicale tra le quali la variabilità del El Nino-Southern Oscillation (ENSO) costituisce il fenomeno più rilevante.

Queste forzanti tropicali sono anche in grado di modificare gli impatti del buco dell'ozono nella stratosfera sopra l'Antartide, che a loro volta producono effetti sulla troposfera. I processi atmosferici tropicali e polari governano l'andamento dei venti occidentali intorno all'Antartide influenzando l'intera circolazione nell'Oceano Meridionale, la copertura del ghiaccio marino, il sequestro di calore e di carbonio da parte dell'oceano e in generale i processi bio-geo-chimici oceanici. E' migliorata anche la conoscenza sulla causa delle variazioni del gradiente di pressione nord/sud sopra l'Antartide, a sua volta responsabile di modifiche meteo-climatiche, che vengono espresse dal SAM (Southern Annular Mode). Le variazioni del SAM e le influenze tropicali sono state riconosciute come responsabili



Il Lidar e la torre americana per lo studio dell'atmosfera e del ghiaccio a Concordia

dell'incremento della temperatura registrato negli ultimi 100 anni nella parte ovest dell'Antartide

osservate tramite misure dirette, partite negli anni 50, accoppiate da dati provenienti dalle carote di ghiaccio. Le variazioni dell'ENSO sono state a loro volta correlate con eventi di fusione estesa recentemente osservate in alcune zone del continente che possono determinare una modifica nella stabilità delle piattaforme di ghiaccio (ice shelves) con conseguente possibile impatto sull'innalzamento del livello medio del mare.

I risultati sopra descritti indicano chiaramente come la ricerca si stia indirizzando sempre più verso lo sviluppo di modelli climatologici e osservazioni globali che cerchino di correlare le variazioni che si registrano nelle aree polari a quelle che si osservano alle medie e basse latitudini, che a loro volta sono in grado di influenzare eventi e fenomeni meteorologici globali (e.g. evoluzione del pattern spazio-temporale delle piogge monsoniche).

Sforzi in questo senso proseguiranno nei prossimi anni in maniera sistematica. In questo scenario riveste una particolare importanza la promozione di programmi di ricerca sull'atmosfera che ambiscano a portare un contributo significativo alla comprensione di processi di ordine superiore, come i cambiamenti climatici, che coinvolgono l'intero sistema terrestre. In particolare, è fondamentale promuovere studi di carattere multidisciplinare, che guardando a fenomeni ed effetti che avvengono a scala globale, permettano di meglio valutare le interazioni fra tutte le componenti del sistema climatico, con particolare attenzione, per le aree polari, agli scambi che avvengono fra l'oceano e l'atmosfera e fra le superfici ghiacciate e l'atmosfera.

Le priorità scientifiche

Le priorità scientifiche per il prossimo triennio si inquadrano all'interno di quelle che sono state indicate nei programmi scientifici internazionali ed in particolare dell'*Horizon Scan* promosso dallo SCAR nel 2014 e ribadite nel 2019, quelle espresse dal WMO, e quelle espresse dagli *white paper* del programma EU-Polarnet promosso dalla Comunità Europea. Tra esse sono state individuate le seguenti tematiche generali che risultano di maggiore interesse per la comunità scientifica italiana:

- Studio dei cambiamenti di lungo periodo che avvengono nell'atmosfera polare con particolare riferimento alla presenza, quantificazione e composizione delle nubi stratosferiche e dei cirri;
- Studio delle variazioni che avvengono nella composizione chimica dell'atmosfera quali lo studio dell'O₃ stratosferico e del suo trend di recupero sopra l'Antartide, dell'aumento della CO₂ e in generale del contributo relativo delle variazioni dei composti clima-alteranti al cambiamento climatico;
- Studio dei processi fisico-chimici che avvengono nella stratosfera e dell'influenza della circolazione stratosferica polare sui processi meteorologici alle alte e medie latitudini, inclusi gli scambi all'interfaccia stratosfera-troposfera e le ricadute al suolo per il sistema fisico e biologico, con particolare riferimento ai flussi di radiazione UV;
- Miglioramento della comprensione dei processi meteorologici e della loro predicibilità nelle regioni polari con particolare riferimento al contributo dei venti catabatici, alla stima e previsione della precipitazione solida, alla parametrizzazione di processi sotto-griglia nei modelli meteorologici, allo studio del vapore acqueo e suo trasporto verso le alte latitudini, al loro contributo all'estrema variabilità dell'estensione del ghiaccio marino stagionale osservata nei recenti anni;
- Contributo delle osservazioni meteo-climatiche alla stima del bilancio di massa per il miglioramento dell'accuratezza della stima della perdita di massa della calotta antartica e studio delle interazioni atmosfera-neve per una migliore interpretazione dei record stratigrafici per studi paleoclimatici. Studio dei processi fisico-chimici nello strato limite atmosferico e alla superficie e loro interazione con la libera atmosfera. Migliore quantificazione dei bilanci di radiazione, di energia e di massa alla superficie;
- Studio delle componenti minoritarie dell'atmosfera, (aerosol, vapore acqueo, nubi) e della superficie (albedo, anche in relazione alle *light-absorbing particles*), e della loro influenza sugli

andamenti stagionali;

- Studio delle interazioni atmosfera-oceano con particolare attenzione allo scambio di componenti biochimici, alla composizione di aerosol, ai meccanismi che controllano la stagionalità, la distribuzione e il volume del ghiaccio e alla salinità dell'acqua nonché il loro ruolo nel cambiamento climatico; particolare attenzione è da porre nella capacità di migliorare le misure atmosferiche su oceano e su ghiaccio marino;
- Sviluppo di nuovi algoritmi e metodologie per l'utilizzo di dati satellitari anche in combinazione con dati a terra. Date le capacità operative del sistema nazionale, si raccomanda di incrementare lo sviluppo di contributi alla calibrazione e validazione di dati e prodotti satellitari mediante la raccolta di dati a terra e da satellite. È auspicata una maggiore sinergia con organismi e iniziative internazionali con particolare riferimento alle missioni di carattere strategico per l'osservazione della Terra (es. EC- Copernicus/Sentinel, CEOS-WGCV).
- Raccolta di dati pluriennali su vaste regioni, anche con strumentazione automatica, per il monitoraggio dello stato dell'atmosfera dalla superficie alla bassa stratosfera, dei flussi turbolenti e radiativi, della composizione atmosferica per migliorare i modelli climatici.

Aree geografiche di interesse

Data la natura dei processi atmosferici le analisi dei parametri/fenomeni non possono limitarsi a un'area geografica ristretta, ma devono necessariamente riferirsi ad aree molto vaste (continentale, emisferica, globale).

Metodologie e strumenti

L'attività strumentale a terra vede come principale riferimento le stazioni scientifiche nazionali antartiche (Concordia e Mario Zucchelli), anche se sono da incoraggiare cooperazioni con altri programmi internazionali che prevedano l'installazione di strumentazione o l'esecuzione di esperimenti congiunti anche presso altre stazioni rafforzando le interazioni scientifiche esistenti.

Le nuove potenzialità offerte dalla nave da ricerca polare Laura Bassi, suggeriscono l'utilizzo della stessa quale laboratorio privilegiato per la raccolta di dati atmosferici in oceano, anche come attività di osservatorio atmosferico.

Sempre per quel che riguarda l'acquisizione dei dati a terra si sosterrà il mantenimento dell'attività di osservatorio meteo-climatico per garantire la continuità temporale dei dati raccolti e la promozione dell'installazione di strumentazione innovativa in grado di lavorare autonomamente e trasmettere i dati in tempo reale per aumentare il potenziale conoscitivo in situ.

In particolare, in accordo con le direttive sull'utilizzo in Antartide di droni stabilite nella Risoluzione 4 dell'Antarctic Treaty Consultative Meeting (2018), "Environmental Guidelines for operation of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) in Antarctica(v1.1)", si sosterrà l'utilizzo di tecnologie innovative per misurazioni autonome su terra, aria e mare come ad esempio RPAS leggeri strumentati per l'analisi dell'atmosfera e della superficie, o AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) per le ricerche oceanografiche su vasta scala. A riguardo oltretutto emerge sempre più evidente l'esigenza di colmare le lacune osservative relative a regioni antartiche remote mai coperte, perché difficili da raggiungere, estendendovi le misure atmosferiche, marine e terrestri con particolare riguardo allo studio delle interazioni tra ghiaccio continentale/marino e oceano. A tal scopo si auspica la progettazione, realizzazione, allestimento e utilizzo di un BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight) di medie-grandi dimensioni (payload >100 kg) utilizzabile sia per le esigenze logistiche (collegamenti con la stazione Concordia) sia per quelle scientifiche (misure remote e in situ), che rappresenterebbe l'ultima frontiera tecnologica dello sforzo logistico nazionale al servizio della scienza antartica.

Di grande importanza inoltre appare l'utilizzo di dati satellitari e la loro connessione con le iniziative volte alla modellizzazione e alla previsione del clima polare e terrestre.

Un aspetto fortemente da promuovere riguarda la pubblicazione, la visualizzazione e l'accesso a tutti i dati raccolti sia dagli osservatori che dalle campagne di misura di breve o di lunga durata. Si ritiene di fondamentale importanza rendere disponibile e fruibile l'informazione sulle attività polari attraverso la diffusione dei metadati e dei dati acquisiti utilizzando infrastrutture digitali integrate nelle reti internazionali. Si ritiene opportuna la creazione di un centro funzionale di raccolta e distribuzione di tali dati per una migliore interconnessione tra le reti esistenti. A questo proposito si raccomanda il completamento e l'implementazione piena del National Data Center (NDaC) del PNRA. Ai protocolli e alle modalità definite da questa iniziativa si devono riferire i programmi in corso, e auspicabilmente anche quelli passati, per la produzione dei dati in modo da garantire la massima compatibilità e facilità di inserimento.

Il contesto internazionale di riferimento

Le attività si devono sviluppare all'interno di contesti internazionali ben definiti in modo da valorizzare al meglio i risultati raggiunti, focalizzare la ricerca verso tematiche di interesse riconosciuto, rafforzare la presenza nazionale e incidere sulle politiche della ricerca nel settore. Fra le iniziative da ricordare si evidenziano quelle che fanno riferimento ai gruppi o programmi scientifici SCAR per i quali si sottolinea la necessità di incrementare la partecipazione dei gruppi nazionali unitamente alle attività promosse e sostenute dal WMO. Per quest'ultimo aspetto, si evidenziano i programmi e le iniziative che fanno riferimento al WCRP (*World Climate Research Programme*) e al WWRP (*World Weather Research Programme*); alle iniziative per il monitoraggio dell'atmosfera e della criosfera (GAW, GCW); al WCSP (*World Climate Services Programme*) con riferimento allo sviluppo dei Regional Climate Centres (RCCs) per le regioni polari. Su quest'ultimo punto c'è da sottolineare come siano in corso, a livello internazionale, le attività preparatorie per l'implementazione di un Antarctic-RCC, similmente a quanto già fatto per l'Artico. Tali attività, a cui la comunità nazionale già partecipa, sono da incoraggiare nei prossimi anni. Di particolare rilevanza la partecipazione al programma PPP (Polar Prediction Program) che vede l'iniziativa YOPP come fondamentale per aumentare le osservazioni a terra e migliorare con queste le capacità modellistica e previsionali nelle aree polari. Si ricorda come l'Italia abbia partecipato attivamente al programma, con una linea di bando specificatamente dedicata a questa iniziativa, e come questa avrà una sua prosecuzione con un altro periodo speciale di osservazione YOPP-SH nel 21-22. Anche per tale iniziativa è raccomandata la partecipazione della comunità nazionale.

Per quanto riguarda le iniziative legate all'uso dei dati satellitari si ricordano il NDACC (*Network for the Detection of Atmospheric Composition Change*) e il CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*) con particolare riferimento al CEOS/CGMS *Working Group on Climate* e al *Working Group on Calibration & Validation* (WGCV).

b) L'Oceano Meridionale

L'Oceano Meridionale (OM) ha una profonda influenza sulla circolazione oceanica globale e sul clima della Terra a causa della sua posizione e conformazione geografica. L'OM costituisce infatti l'unica connessione tra i bacini oceanici della Terra, controlla il collegamento tra gli strati profondi e superiori della circolazione oceanica regolando così la capacità del mare di immagazzinare e trasportare il calore, O₂ e CO₂ a livello globale. L'OM svolge un ruolo fondamentale anche per i cicli biogeochimici e rappresenta il sito nel quale è possibile studiare, senza interferenze dirette di tipo antropogenico, i flussi globali di elementi cruciali per la dinamica degli ecosistemi.

Da un punto di vista paleo-oceanografico, ancora oggi non è ben noto quando e come la *Antarctic Circumpolar Current* (ACC) si sia definitivamente stabilita intorno all'Antartide e quando questo continente sia stato definitivamente isolato dal resto delle aree continentali. La variabilità spaziale e temporale delle aree frontali che costituiscono la ACC ed il loro ruolo nel regolare la diffusione del calore e dei flussi biogeochimici costituiscono infatti aspetti rilevanti ma ancora poco definiti anche

per comprendere i meccanismi di biodiversità di speciazione faunistica a fronte di mutate condizioni ambientali. È quindi evidente la necessità di confrontare serie storiche di dati e record geologici con osservazioni e misure dei fenomeni attuali per comprendere le cause, gli effetti locali e globali, l'impatto delle variazioni dell'OM sugli ecosistemi, sulla biodiversità, sul clima e sul livello del mare. Il recente riscaldamento osservato a scala globale dovrebbe condurre a un ciclo idrologico più vigoroso, con maggiori precipitazioni alle alte latitudini e maggiore evaporazione alle basse latitudini. La conseguente riduzione della salinità superficiale potrebbe modificare il processo di formazione di acque dense alle alte latitudini. I record paleoclimatici dimostrano che i cambiamenti nella "overturning circulation" sono stati associati a cambiamenti climatici estesi e improvvisi in passato.



La nave rompighiaccio da ricerca "Laura Bassi"

Si pensa che la "overturning circulation" dell'OM eserciti un forte controllo sulla produttività globale e sull'assorbimento da parte dell'oceano della CO₂ atmosferica e che i cambiamenti della sua intensità siano stati collegati ai cambiamenti nell'assorbimento e nel rilascio di anidride carbonica nell'oceano. Sono pertanto necessarie osservazioni continue ed estese nel tempo, per poter avere valenza climatica, di temperatura, salinità, stratificazione e ventilazione oceanica per rilevare i cambiamenti della "overturning circulation" in risposta ai cambiamenti del forzante atmosferico. Le osservazioni devono comprendere l'intera colonna d'acqua e includere carbonio, ossigeno e altri traccianti.

L'avanzamento tecnologico, attraverso l'utilizzo combinato di dati satellitari, ancoraggi oceanografici, sistemi autonomi lagrangiani (ARGO floats, drifters, gliders) e modelli numerici, ha permesso di apprezzare meglio l'importanza dei fenomeni di mesoscala nella circolazione oceanica. Tra questi, gli eddies, i meandri ed i filamenti della ACC svolgono un ruolo fondamentale nella distribuzione di sale, calore ed altre proprietà nell'OM. Per questo motivo, è necessario incrementare notevolmente la risoluzione spaziale e temporale dei dati oceanografici raccolti, anche al di fuori dell'estate australe.

I cambiamenti della struttura fisica e biogeochimica dell'OM sono sotto diversi aspetti già evidenti e ampiamente documentati ma necessitano di ulteriori approfondimenti in quanto non si manifestano in maniera uniforme nelle diverse regioni. In particolare si è osservato che il riscaldamento dell'OM avviene con maggiore velocità e interessa profondità maggiori rispetto a quanto osservato in altre aree oceaniche del globo; le acque di fondo antartiche (AABW - *Antarctic Bottom Water*) evidenziano un diffuso riscaldamento associato a una diminuzione della densità; le acque di *shelf*

mostrano una generalmente una riduzione della salinità anche se localmente segnali opposti sono stati evidenziati. In particolare, recentemente si è osservato un recupero della salinità delle AABW nell' Australian Antarctic Basin come effetto di un recupero della salinità delle acque prodotte sulla piattaforma del Mare di Ross. È fondamentale pertanto per il futuro puntare su una continua osservazione della produzione ed export delle acque di shelf del Mare di Ross al fine di ottenere il budget di salinità delle sue acque.

Nell'OM la distribuzione del ghiaccio marino, estremamente sensibile alle variazioni di temperatura e di salinità, induce cambiamenti nell'albedo, nella formazione delle masse d'acqua profonde e di fondo nonché nella ventilazione degli strati abissali e nello scambio di gas tra atmosfera e mare influenzando significativamente la circolazione oceanica a scala regionale e globale, la distribuzione delle caratteristiche fisiche e biogeochimiche con possibili conseguenze sui cambiamenti fisiologici degli organismi marini (dai microbi alle balene) e del loro *habitat*.

I cambiamenti nell'estensione del ghiaccio marino mostrano forti trend e differenze a livello regionale; la presenza/assenza/invasione di ghiaccio (marino e continentale) ha notevoli ripercussioni anche sugli ecosistemi costieri e di mare aperto, con cambiamenti nei livelli della produzione e nella composizione specifica delle comunità planctoniche, che possono agire in maniera diversa sui cicli biogeochimici ed esercitare un forte controllo sull'intensità del trasporto verticale del carbonio.

La fusione della base dei ghiacciai, causata da intrusioni di masse oceaniche sulla piattaforma continentale e dal riscaldamento del mare, influenza il bilancio d'acqua dolce e la stratificazione del mare a queste latitudini, con evidenti conseguenze sulla stabilità della calotta antartica e sulla velocità con cui il ghiaccio continentale scorre verso il mare. Le osservazioni suggeriscono che masse oceaniche relativamente più calde possono raggiungere la *ice-grounding zone* fondendo la base del ghiaccio e riducendo in tal modo i punti di ancoraggio della calotta al substrato, causando l'assottigliamento dei ghiacciai e il loro rapido ritiro. Non è tuttavia ancora chiaro se esistono fattori che possano ostacolare questo processo e quindi impedire che esso causi irreversibilmente la fusione dell'intera calotta (o almeno delle parti di calotta che appoggiano sul fondo del mare). L'accelerazione e la portata del ritiro dei ghiacciai antartici in atto, induce a prevedere un significativo innalzamento del livello globale del mare nell'arco di pochi decenni. L'addolcimento delle masse d'acqua, dovuto alla fusione della base dell'*ice shelf*, avrebbe ovvie conseguenze sulla formazione del ghiaccio marino.

L'OM contribuisce più di qualsiasi altra area terrestre allo stoccaggio del calore e della CO₂ prodotta dalle attività naturali e antropiche. Infatti, circa il 40% della CO₂ antropogenica è immagazzinata a sud di 30°S, mentre l'esportazione di nutrienti nei rami superficiali della circolazione termoalina supporta il 75% della produzione primaria mondiale a nord di 30°S. Il ramo di risalita della "*overturning circulation*" dell'OM apporta carbonio e nutrienti allo strato superficiale, mentre i rami di "*downwelling*", portano ad un rinnovo e ventilazione delle acque profonde grazie allo sprofondamento di quelle superficiali che sono entrate in contatto con l'atmosfera e rappresentano uno dei processi più importanti per la regolazione climatica globale e nell'assorbimento di carbonio atmosferico. Il bilancio tra la risalita e il rilascio di CO₂ rispetto all'assorbimento di carbonio determina l'importanza dell'OM nel contesto climatico.

L'assorbimento della CO₂ da parte dell'oceano sta cambiando anche l'equilibrio chimico dell'OM, aumentandone l'acidità, con un impatto rilevante sull'ecosistema marino che porta alla dissoluzione dei gusci calcarei delle conchiglie di molluschi, echinodermi, alghe, coralli e plancton calcareo; in pratica, di tutti gli organismi la cui esistenza è legata alla fissazione di carbonato di calcio.

Studi recenti hanno messo in evidenza la sensibilità del ciclo globale del carbonio ai cambiamenti nell'OM. I modelli climatici suggeriscono che l'assorbimento di anidride carbonica nell'OM diminuirà a causa dei cambiamenti nella circolazione e nella stratificazione causati da un maggiore riscaldamento, fornendo un altro potenziale feedback positivo per i cambiamenti climatici. Sono necessarie ulteriori osservazioni per migliorare la copertura spaziale e per ridurre l'incertezza nelle stime del flusso aria-mare di CO₂. Tuttavia, l'OM continuerà ad avere un ruolo chiave per l'assorbimento e la distribuzione globale del carbonio antropogenico negli oceani globali. Sezioni di colonne d'acqua complete di carbonio, ossigeno, sostanze nutritive e variabili fisiche sono necessarie per tracciare l'inventario in evoluzione della CO₂ antropogenica e altre proprietà relative ai cicli biogeochimici e del carbonio. L'assorbimento del CO₂ da parte dell'oceano provoca acidificazione e cambiamenti nella chimica del carbonato che avranno probabilmente conseguenze

significative per i processi biologici e biogeochimici nell'oceano. L'associato aumentando di acidità produrrà un impatto rilevante sull'ecosistema marino favorendo la dissoluzione dei gusci calcarei delle conchiglie di molluschi, echinodermi, alghe, coralli e plancton calcareo: in pratica, di tutti gli organismi la cui esistenza è legata alla fissazione di carbonato di calcio.

Il krill antartico (*Euphausia superba*) rappresenta una specie chiave nella rete alimentare soprattutto durante la tarda primavera australe. La dipendenza da una singola specie, l'unicità delle catene alimentari guidate, nell'evolversi della stagione, dalla fusione del *pack-ice* e dalla dinamica delle masse d'acqua di *polynya*, rendono il sistema dell'OM altamente vulnerabile alla variabilità ed ai cambiamenti climatici. Variazioni e alterazioni sono già evidenti in diversi comparti della catena alimentare dell'OM (dal fitoplancton ai pinguini e foche) ma la mancanza di osservazioni a lungo periodo rende difficile valutare le tendenze e le conseguenze nel lungo termine. La recente letteratura sottolinea come gli ecosistemi marini antartici si stiano adattando alle variazioni dell'*habitat*. Molti sforzi sono stati intrapresi per assemblare i risultati delle risposte biologiche ai cambiamenti, ma non è ancora possibile quantificarli perché la maggior parte degli studi sono stati centrati su singoli processi, su particolari organismi e spesso sviluppati a scala regionale. La risposta dell'ecosistema marino antartico ai cambiamenti fisici e chimici dell'OM rimane infatti ancora in gran parte sconosciuta.



Operazioni in mare sulla Laura Bassi

Le variabili ad alta priorità da misurare comprendono la produzione primaria, la distribuzione e l'abbondanza di specie chiave e/ o gruppi funzionali, la struttura della comunità bentonica, l'abbondanza dei predatori principali, la loro distribuzione (sia geografica che in relazione alla struttura fisica) e la loro dieta.

Nello specifico, le tematiche di ricerca e sviluppo da svolgere nel triennio, devono tener conto della necessità di:

- approfondire lo studio del ruolo della circolazione termalina dell'OM a scala di bacino e a scala locale, in relazione alla dinamica della calotta glaciale e del ghiaccio marino, attuale e passato anche al fine di comprendere il ruolo della dinamica della calotta glaciale sulla circolazione nell'OM e sulla biodiversità;
- comprendere la relazione tra la variabilità della produzione ed export delle acque di shelf e

le caratteristiche delle AABW e quelle di origine circumpolare (CDW);

- potenziare e valorizzare le reti osservative esistenti con l'introduzione di nuovi parametri e sistemi/strumenti di misura, anche non convenzionali (quali glider, droni, AUV, etc.), al fine di osservare scale di variabilità finora non rilevabili, preservare e ampliare le serie temporali attualmente acquisite nel Mare di Ross che rappresentano un unicum della comunità scientifica antartica italiana ampiamente apprezzato anche a livello internazionale;
- migliorare la conoscenza dei processi e le interazioni tra piattaforme galleggianti e circolazione generale, interazione iceberg-circolazione generale, interazione a scala locale tra iceberg e colonna d'acqua anche in relazione ai flussi fisici e biogeochimici;
- validare i modelli e migliorare la loro capacità di riprodurre e predire la dinamica e la variabilità della ACC, del trasporto di calore e di massa attraverso gli stretti che costituiscono i *choke-points*;
- studiare la dinamica del ghiaccio marino e il ruolo del moto ondoso nella sua formazione;
- quantificare i livelli di produzione primaria, i flussi di carbonio tra ghiaccio-acqua-sedimento, valutare i *pattern* di trasferimento ai livelli trofici superiori e i meccanismi di accoppiamento pelagico-bentonico in relazione ai cambiamenti globali;
- effettuare studi sugli effetti della biodisponibilità del ferro sulla produzione fotosintetica e sullo *shift* della composizione specifica delle comunità microalgali e del loro impatto sull'esportazione di carbonio nelle acque profonde;
- effettuare studi mirati sul ciclo vitale di specie chiave nella rete trofica antartica e sulla componente microbica anche in relazione ai cambiamenti climatici;
- investigare la relazione tra la dinamica marina profonda e la dinamica sedimentaria attuale (caratteristiche fisiche dei sedimenti di fondo) per calibrare i modelli di circolazione attuale con l'obiettivo di ricostruire le caratteristiche delle paleocorrenti.

Aree geografiche e fisiografiche di interesse

Le scale temporali e spaziali dei fenomeni da studiare, la loro stessa intrinseca valenza climatica, impongono indagini sperimentali e modellistiche non confinabili a priori in specifiche aree geografiche. Se gli studi modellistici possono definire con ampi gradi di libertà le aree di lavoro, le indagini sperimentali devono necessariamente contare sui contributi delle risorse logistiche del PNRA che sono inevitabilmente concentrate nelle aree geografiche dove sono allocate le basi scientifiche, sebbene la recente acquisizione della nave rompighiaccio "Laura Bassi" consentirà di effettuare spedizioni oceanografiche anche in aree e in stagioni non precedentemente investigabili. Negli ultimi anni il PNRA ha comunque incentivato, anche attraverso l'emanazione di appositi bandi, le attività di ricerca da svolgere su piattaforme straniere con l'obiettivo di ampliare le aree geografiche e le tematiche di ricerca in un'ottica di collaborazione internazionale.

L'istituzione nel Mare di Ross della più grande area marina protetta del globo, la presenza dell'Osservatorio Marino del Mare di Ross e la presenza della stazione costiera "Mario Zucchelli" impongono una ovvia attenzione, anche in sinergia con altri programmi antartici, degli sforzi di ricerca in questa regione che costituisce, non solo per gli aspetti ecologici, una area strategica per la dinamica dell'OM.

Rimangono in definitiva prioritarie le aree:

- Mare di Ross con particolare riferimento all'Area Marina Protetta, la scarpata continentale, alle aree di *polynya*, al *Ross Ice Shelf* e alle piattaforme glaciali costiere in genere. E' fondamentale pianificare per i prossimi anni una continua attività di misura nell'area orientale del Mare di Ross,

area scarsamente studiata ma cruciale per la variabilità dell'intero bacino;

- Stretti della ACC (choke points a sud della Nuova Zelanda e dell'Australia, del Sud Africa, del Sud America).

Metodologie e strumenti

La disponibilità della nave polare "Laura Bassi" consentirà di estendere le attività di ricerca in aree non precedentemente investigate dal PNRA e in periodi non tipicamente estivi.

Le potenzialità della nuova nave polare dovranno essere valorizzate aggiornando la dotazione strumentale oceanografica del PNRA e le infrastrutture marine esistenti in relazione al progresso tecnologico degli ultimi 20 anni (compresa la riqualificazione del parco GIC e SIA esistente). Si sosterrà l'utilizzo di nuove risorse e approcci strumentali (AUV, *glider*, *drifters*, *floats*, *turbulence profiler*, droni, ROV, boe, LIDAR, *microne*), il telerilevamento satellitare, per conseguire misure precedentemente non realizzabili ma adesso fortemente raccomandate dalla comunità scientifica internazionale (come ad esempio sotto il ghiaccio marino e continentale e/o in periodi non estivi).

Parimenti sarà necessario verificare lo stato operativo delle attuali imbarcazioni in dotazione alla stazione Mario Zucchelli (Malippo e Skua in primis) e, eventualmente, acquisire nuovi mezzi minori da destinare alle attività marino-costiere.

Analogamente, potendo adesso contare sulla nuova nave rompighiaccio "Laura Bassi", potrà essere esteso l'Osservatorio Marino - che attualmente ha punti di osservazione (mooring) solo nel settore occidentale del Mare di Ross - posizionando nuove postazioni di misura nel settore orientale.

Il contesto internazionale di riferimento

L'attività italiana di ricerca nel Mare di Ross costituisce un punto di riferimento per tutti i gruppi internazionali che svolgono attività oceanografiche in questa regione. Questa posizione di riferimento è, come detto, basata anche su una continuità delle osservazioni condotte con regolarità e coordinamento scientifico negli ultimi 3 decenni dal PNRA. Recentemente altri programmi nazionali hanno concentrato le loro attenzioni sul Mare di Ross, vista la sua importanza strategica nel contesto climatico globale, aumentando le risorse economiche e le attività scientifiche. Occorre quindi incrementare gli sforzi con ulteriori investimenti, promuovendo la ricerca nelle scienze del mare assicurando anche un coordinamento internazionale nel quale configurare le attività scientifiche.

Il principale programma scientifico internazionale promosso dallo SCAR e dallo SCOR e sostenuto anche dal WCRP è il *Southern Ocean Observing System* (SOOS, <http://www.soos.aq/>). SOOS incentiva la collaborazione tra i programmi nazionali e internazionali, evidenzia la necessità di integrare dati storici, ripetere ed implementare analisi in situ, utilizzare strumenti per rilievi su ampie scale e costruire e mantenere serie complete di dati che coprano lunghi intervalli temporali.

Numerosi altri programmi ed iniziative internazionali sono coinvolti nelle ricerche nell'OM e nel Mare di Ross. Vengono di seguito elencati quelli di maggiore rilievo che si occupano sia di incentivare e coordinare le attività di ricerca, sia di divulgare e diffondere i risultati scientifici:

- APECS (Association of Polar Early Career Scientists)
- CCAMLR (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)
- CliC (Climate and Cryosphere)
- CLIVAR (Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change)
- CLIVAR/CliC/SCAR SORP (Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change - Climate and Cryosphere - Scientific Commission on Antarctic Research - Southern Ocean Regional Panel)

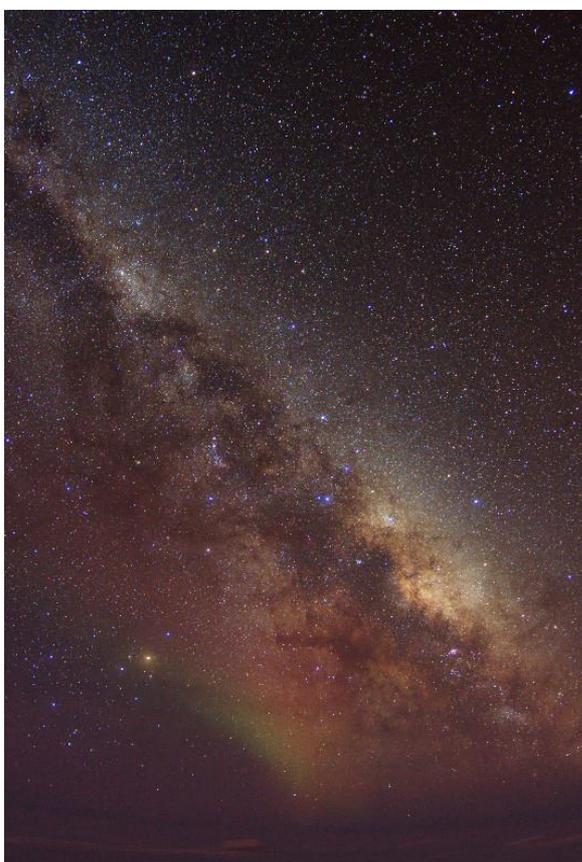
- GCOS (Global Climate Observing System)
- GOOS (Global Ocean Observing System)
- ICED (Integrating Climate and Ecosystem Dynamics)
- IHO (International Hydrographic Organization)
- IICWG (International Ice Charting Working Group)
- IMBeR (Integrated Marine Biosphere Research)
- IMOS (Integrated Marine Observing System)
- IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission)
- IOCCP (International Ocean Carbon Coordination Project)
- WC (International Whaling Commission)
- OOPC (Ocean Observations Panel for Climate)
- SCADM (Standing Committee on Antarctic Data Management)
- SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research)
- SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research)
- SOLAS (Surface Ocean - Lower Atmosphere Study)
- WCRP (World Climate Research Programme)

- **4.5 L'Universo sopra l'Antartide e lo *Space Weather***

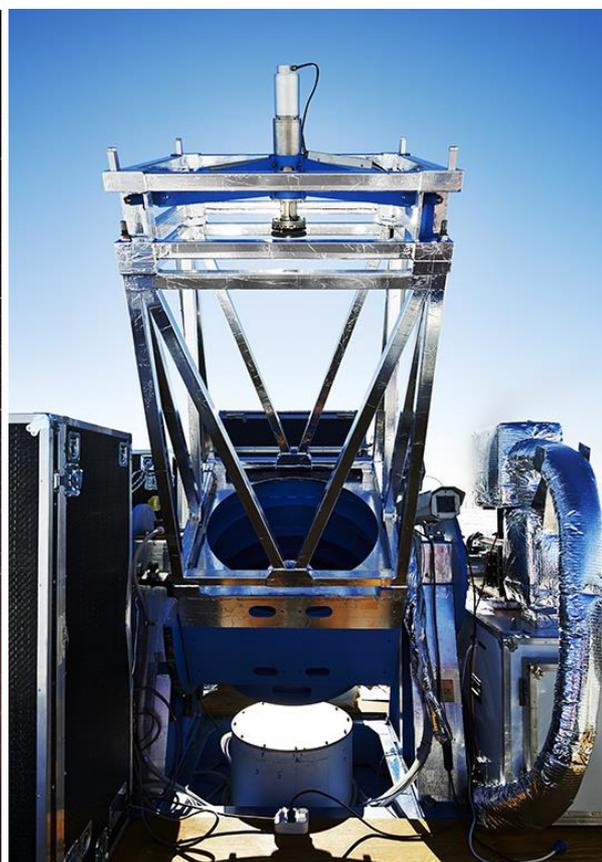
L'Antartide rappresenta, per le osservazioni astronomiche e dello spazio intorno alla Terra, un sito di notevole interesse. In ragione delle sue caratteristiche peculiari, è infatti un sito privilegiato da cui studiare processi fisici che avvengono nello spazio. In tal senso vi è una differenza rilevante rispetto a molti altri ambiti di ricerca nei quali è l'ambiente "Antartide" l'oggetto stesso della ricerca.

Le osservazioni astronomiche richiedono siti osservativi con caratteristiche di elevata trasparenza e stabilità atmosferica. Queste caratteristiche si possono trovare sul *plateau* antartico, in particolare nelle località ad altitudine maggiore.

Lo studio delle relazioni Sole-Terra e dello spazio vicino avviene attraverso le osservazioni dei fenomeni legati alla presenza di particelle cariche. Queste, per la particolare conformazione del campo magnetico terrestre, penetrano più facilmente nelle zone polari, dove si ha una fenomenologia molto più ricca.



La Via Lattea da Concordia



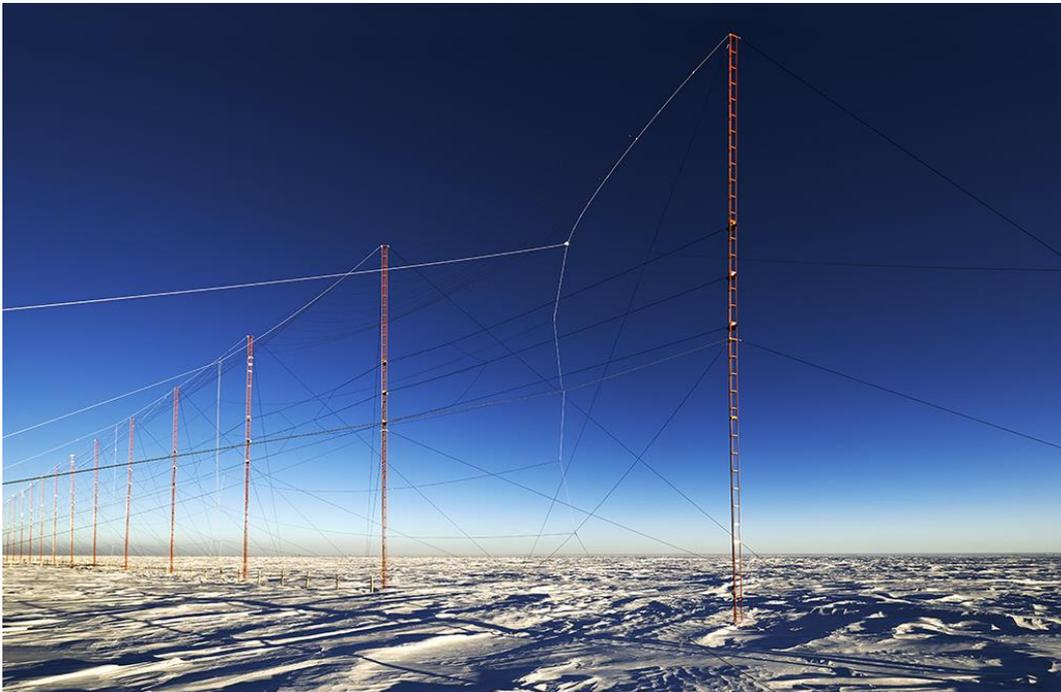
IRAIT: un telescopio infrarosso per l'astronomia

Problematiche scientifiche

È stato evidenziato ed ampiamente documentato (ad esempio dai Programmi SCAR, come AAA, e dalla visione europea documentata dal programma ARENA, ma anche dal programma CMB-S4) come il *plateau* antartico sia particolarmente adatto per i programmi scientifici 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 il cui studio è agevolato dalle condizioni di osservazione particolarmente favorevoli che caratterizzano

il plateau antartico.

- Il carattere di unicità delle condizioni ambientali che si riscontrano sul plateau è fondamentale per le osservazioni dell'Universo primordiale attraverso la Radiazione Cosmica nelle Microonde (CMB). Ciò è vero 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 del fondo cosmico stesso, che richiedono una elevatissima stabilità atmosferica poiché il segnale atteso è molto piccolo. La misura dei modi-B riveste un'importanza chiave sia per la cosmologia sia per la fisica fondamentale.
- L'elevata qualità, in termini di trasparenza e stabilità, dell'atmosfera al di sopra del *plateau* antartico consente inoltre di effettuare osservazioni in bande di frequenza che in altri siti risulterebbero proibitive. Ciò si verifica in modo particolare in alcune bande del vicino, medio e lontano infrarosso. Nel lontano infrarosso (onde sub-millimetriche) si possono effettuare studi cosmologici con osservazioni di oggetti lontani (ad alto *red-shift*) come ad esempio gli ammassi di galassie. Nel medio e vicino infrarosso si possono osservare sorgenti della Via Lattea o di galassie vicine alla nostra di particolare interesse, come ad es. regioni di formazione stellare, Supernovae e resti di Supernova, Nane Brune e pianeti extrasolari.
- 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. Infatti, il plateau antartico è correttamente considerato il luogo ove è possibile realizzare osservazioni da Terra della corona solare della più alta qualità. Tali osservazioni permettono di studiare la fisica del plasma coronale ed i processi che danno luogo al rilascio esplosivo di energia e materia, come le espulsioni di massa coronale (CME, dall'inglese Coronal Mass Ejections). È importante ottenere la piena comprensione di questi processi sia per il valore che tale comprensione riveste in ambito astrofisico sia perché i suddetti processi danno origine a fenomeni che possono avere un'influenza diretta sulla conduzione delle attività umane.



SuperDARN per lo studio del moto del plasma e degli effetti dei fenomeni di meteorologia spaziale nella ionosfera

In effetti, le strutture di plasma che caratterizzano il vento solare, i transienti interplanetari che hanno origine nell'atmosfera solare, come le CME appena menzionate e, ancora, i fasci di particelle

energetiche solari (SEPs), emesse in associazione ai brillamenti e alle CME, possono influenzare significativamente lo stato dello spazio intorno alla Terra. L'Antartide è ancora una volta da ritenersi un sito osservativo di eccezionale importanza per la possibilità che offre di studiare i fenomeni che avvengono nello spazio circumterrestre e, in particolare, le alterazioni che questi inducono nella magnetosfera e nella ionosfera polare. Come precedentemente accennato, ciò è dovuto alla particolare topologia del campo magnetico terrestre che connette i poli al vento solare e a quelle regioni della magnetosfera ove hanno luogo fondamentali processi fisici che ne determinano la dinamica globale.

- Un forte interesse scientifico è dunque rivolto anche allo studio di tutta la fenomenologia legata alle relazioni Sole-Terra che determina le condizioni dello spazio interplanetario e circumterrestre - lo *Space Weather*. Anche se a un tasso variabile, energia e massa vengono continuamente trasferite dalle strutture interplanetarie al sistema magnetosfera-ionosfera. Questa energia può essere rilasciata in maniera impulsiva durante le tempeste e le sottotempeste magnetiche provocando l'intensificazione e la riconfigurazione delle correnti elettriche del sistema magnetosfera-ionosfera, l'aumento della convezione del plasma nella magnetosfera equatoriale e nella ionosfera polare e l'incremento della precipitazione di particelle lungo le linee del campo magnetico ad alta latitudine. D'altro canto, le SEPs possono alterare significativamente lo stato dell'atmosfera terrestre alle latitudini polari, per esempio determinando un aumento della ionizzazione dello strato D. I fenomeni finora descritti possono provocare effetti negativi sulle infrastrutture tecnologiche e sulla salute umana, come, per esempio, disturbi di vario grado alle comunicazioni e ai sistemi di navigazione e l'esposizione degli astronauti e dei passeggeri di voli di linea a elevati livelli di radiazione. Proprio a causa di questi possibili effetti negli ultimi anni si sono moltiplicati gli sforzi a livello nazionale, europeo e mondiale per migliorare la comprensione dei processi alla base dello *Space Weather* e per aumentare la capacità di previsione degli effetti da questo provocati. La ricerca scientifica condotta in Antartide ha in quest'ambito un'importanza cruciale.

Aree geografiche di interesse

Per le osservazioni astrofisiche, come si è detto, sono privilegiati i siti dove l'atmosfera è molto stabile e trasparente. Pertanto sono interessanti le aree interne ad alta quota sul *plateau*. Qui la temperatura particolarmente bassa consente di avere un contenuto di vapore d'acqua molto basso rispetto ad altri siti sulla Terra. La stazione Concordia è uno dei siti migliori in assoluto sul pianeta. La posizione di Dome-C è anche ideale per evitare di avere venti forti che possano contribuire a far aumentare la turbolenza atmosferica e la presenza di cristalli di ghiaccio in sospensione. A quanto detto si aggiunga la stabilità ambientale particolarmente elevata, soprattutto nei mesi invernali, l'elevata frequenza di cielo sereno e la quasi assenza di precipitazioni. In sintesi il sito permette di avere un elevatissimo *duty cycle* di osservazione.

Per quanto riguarda lo studio delle relazioni Sole-Terra, Concordia rappresenta ancora un sito privilegiato, in quanto, come già scritto, prossimo alla posizione del polo magnetico. I campi di vista dei due radar ionosferici di Concordia rivolti dal polo geomagnetico alle zone aurorali, completano la rete internazionale di radar HF SuperDARN, cosicché, nel loro insieme, i campi di vista dei radar coprono in maniera omogenea la ionosfera della cappa polare e dell'ovale aurorale. Per quanto riguarda la rete osservativa costituita dagli osservatori magnetici e da quelli che misurano parametri iono-magnetosferici, per poter seguire l'evoluzione spaziale e temporale dei fenomeni d'interesse sono indispensabili osservazioni effettuate da diversi punti, cosicché si rende necessaria una copertura spaziale il più possibile ampia. La strumentazione in funzione presso Concordia e Mario Zucchelli fornisce dati che vengono utilizzati in correlazione con quelli acquisiti presso altre stazioni.

Metodologie e strumenti

I progetti osservativi in cosmologia, in particolare per la CMB, si avvalgono di strumentazione

appositamente costruita che utilizza lo stato dell'arte della tecnologia. I rivelatori sono tra i più sofisticati e la strategia osservativa è fondamentale per poter distinguere i tenui segnali che si vogliono cercare. Molto spesso la strumentazione è di grandi dimensioni, infatti la superficie di raccolta della radiazione ed il numero di rivelatori hanno un impatto diretto sulla sensibilità dello strumento. Inoltre, nel caso di misure di precisione del fondo cosmico di microonde, dedicate allo studio dell'Universo primordiale (quali le misure dell'esperimento COSMO e della sua possibile evoluzione in un progetto nuovo che guardi alle stesse tematiche) si utilizza un grande numero di rivelatori per garantire elevata sensibilità, mentre la tecnica interferometrica viene impiegata per avere un controllo estremo degli effetti sistematici e quindi una elevata accuratezza. Tutto questo vale anche nei programmi per i quali i target osservativi sono relativamente vicini, ma emettono un segnale debole, come è il caso dei pianeti extrasolari, o sono sorgenti estremamente lontane come gli ammassi di galassie ed in genere gli oggetti ad alto *red-shift*. Per queste osservazioni sono privilegiati telescopi con specchi di grande diametro (tipicamente 8-10 metri in banda infrarossa o nel sub-millimetrico). In tal senso l'esempio è dato dalla strumentazione in servizio presso la base americana Amundsen-Scott a South Pole. Per poter attuare progetti di questa portata è necessario che ci sia il supporto delle strutture logistiche ed una stazione funzionale, sia in fase di implementazione della strumentazione che nella fase successiva di presa dati.

Lo studio delle relazioni Sole-Terra e dello *Space Weather* richiede un sistema integrato di osservatori che siano in grado di monitorare la varia fenomenologia associata all'interazione delle perturbazioni interplanetarie, delle SEPs e dei Raggi Cosmici con il sistema magnetosfera-ionosfera-atmosfera. Le reti di radar ionosferici localizzati nella zona aurorale e sub-aurorale, in entrambi gli emisferi, permettono di studiare, tra le altre cose, la struttura e la dinamica della convezione ionosferica, la coniugazione inter-emisferica dei fenomeni ionosferici, la convezione associata alle tempeste magnetiche, le irregolarità ionosferiche alle alte latitudini, le onde di gravità nell'alta atmosfera. Gli Osservatori geomagnetici sono fondamentali poiché garantiscono la raccolta dei dati su tempi molto lunghi, consentendo lo studio della dinamica del campo geomagnetico su varie scale temporali (variazione secolare, variazione diurna, pulsazioni, etc...). Inoltre la collocazione geografica degli osservatori è importante. Infatti ad esempio le stazioni Mario Zucchelli, Dumont d'Urville e Scott Base costituiscono una rete lungo il parallelo geomagnetico 80°S e sono ideali per lo studio della propagazione longitudinale delle variazioni del campo di origine esterna, nell'ambito dello *Space Weather*. Il confronto con la stazione di Concordia, in prossimità del polo geomagnetico, permette invece di studiare la propagazione latitudinale. Le misure fornite dall'Osservatorio di alta atmosfera e le misure di monitoraggio del TEC delle scintillazioni ionosferiche contribuiscono ad un'ulteriore ed importante caratterizzazione della fenomenologia indotta dallo *Space Weather*. La serie storica dei dati raccolti dalla rete di osservatori dell'alta atmosfera è disponibile al sito www.eSWua.ingv.it. Accanto a questi sono anche molto utili gli osservatori aurorali, composti da reti di camere *all-sky*. Ad integrare quanto detto è possibile associare, a Concordia, un telescopio solare con un coronografo per il monitoraggio della corona solare da cui provengono i flussi di particelle cariche che sono la causa dei fenomeni di perturbazione citati.

Ambito internazionale

Le osservazioni astronomiche e cosmologiche e quelle relative allo *Space Weather* sono, di norma, effettuate nell'ambito di grandi progetti internazionali, in cui è coinvolto un cospicuo numero di ricercatori, di istituti ed enti di ricerca. In Antartide, ed in particolare a Concordia, ci sono diverse attività in atto o programmate per il futuro immediato che hanno un respiro internazionale. Qui di seguito vengono riportati gli esempi più significativi, che coinvolgono maggiormente la comunità scientifica italiana.

COSMO (*COSmic Monopole Observations*) è un programma di misura delle distorsioni spettrali della Radiazione Cosmica a Microonde, una originale osservabile scientifica che promette di fornire informazioni sul "*very early universe*". Utilizza l'hardware realizzato originariamente per l'esperimento QUBIC (che è stato rilocato sulle Ande Argentine) ed i rivelatori KID realizzati in Italia con finanziamento PNRA. È un progetto internazionale (Italia, UK, USA) a leadership Italiana, che trova la sua collocazione naturale presso la stazione Concordia.

GRAPE (*GNSS Research and Application for Polar Environment*) è un *expert group* dello SCAR (<http://www.scar.org/ssg/geosciences/grape>), a guida italiana, che coordina una rete internazionale (tra cui Stati Uniti, Sudafrica, Argentina, Regno Unito, Australia, Canada, Giappone, Brasile, Belgio, Polonia) con l'obiettivo di condividere ed ottimizzare l'uso dei dati acquisiti dal network distribuito di stazioni GPS/GNSS per la scintillazione ionosferica.

IRAIT-ITM (*International Robotic Antarctic Infrared Telescope – Infrared Telescope Maffei*) è un telescopio infrarosso installato a Concordia, sotto la guida italiana, a cui hanno effettuato osservazioni preliminari gruppi Italiani, con la camera AMICA in collaborazione internazionale, con la camera CAMISTIC. Si opererà per favorire l'utilizzo di altri strumenti di piano focale competitivi nell'IR o in una prospettiva multibanda.

SuperDARN (<http://vt.superdarn.org>) è una rete di radar ionosferici distribuiti in entrambi gli emisferi, nelle regioni polari, aurorali e sub-aurorali L'Italia ha in gestione i due radar di Concordia. Le nazioni, oltre all'Italia, che attualmente contribuiscono a SuperDARN sono: l'Australia, il Canada, la Cina, la Francia, il Giappone, l'Inghilterra, la Norvegia, gli Stati Uniti e il Sud Africa.

- **4.6 Riconoscere e mitigare l'influenza umana - L'uomo in Antartide**
- **a) Contaminazione ambientale**

Lo SCAR, in occasione della conferenza Polar 2018 tenuta a Davos, ha enfatizzato di nuovo la rilevanza dell'impatto umano sulla qualità dell'ambiente antartico ed in generale sugli ambienti polari, anche istituendo 2 nuovi Action Group: IMPACT - Input Pathways of Persistent Organic Pollutants to Antarctica (Life Sciences), SKAG and Plastics in Polar Environment (Life Sciences). Infatti, le attività umane in aree temperate e tropicali hanno effetti molto importanti sulla qualità dell'ambiente antartico, per esempio influenzando il livello della contaminazione chimica attraverso processi di trasporto a lunga distanza che coinvolgono atmosfera ed idrosfera. Gli studi hanno preso in considerazione i meccanismi di trasporto di alcune classi di microinquinanti organici persistenti, tuttavia mancano informazioni sul trasporto di composti che solo recentemente sono stati rilevati in aree polari e su quanto il cambiamento climatico, unitamente alla maggiore influenza delle attività umane, stiano danneggiando questo vulnerabile ecosistema.

Studi recenti hanno inoltre evidenziato la dispersione di microparticelle legate alla degradazione di materie plastiche in ambienti oceanici raggiungendo concentrazioni che in alcuni casi sono allarmanti. Allo stato attuale gli studi condotti in aree polari sono estremamente rari e nel caso dell'Oceano Meridionale e nei mari antartici sono solo occasionali, tuttavia, a seguito della sensibilità della rete trofica nell'Oceano Meridionale, anche una contaminazione molto limitata da microplastiche può avere effetti estremamente gravi sull'intero ecosistema antartico.

In questo contesto il continente antartico e l'Oceano Meridionale rappresentano gli scenari ideali per studiare e approfondire le conoscenze sui processi che governano i cambiamenti dell'ambiente e del clima a livello globale ed il ruolo che l'uomo svolge su tali cambiamenti. Lo studio della composizione chimica di alcune matrici conservative presenti nel continente antartico (ghiaccio continentale, sedimenti marini) permette di ricostruire l'evoluzione temporale della qualità ambientale e di discriminare il contributo di origine antropica. Nell'Oceano Meridionale sono presenti le più estese aree con caratteristiche *High Nutrient Low Chlorophyll* legate alla carenza di micronutrienti che impediscono una produzione primaria commisurata alla concentrazione di nutrienti. I processi che influenzano il trasporto e l'input di micronutrienti sono legati ai cambiamenti climatici che quindi determinano una notevole influenza sull'attività biologica in queste aree. Aree continentali congelate in zone polari (per esempio il permafrost o il ghiaccio continentale) fungono spesso da crio-trappole di microcomponenti e contaminanti. L'effetto ambientale di questi inquinanti risulta limitato fino a che le aree risultano congelate, tuttavia

cambiamenti nella temperatura superficiale e conseguente fusione degli strati superficiali, possono portare alla rimobilizzazione di inquinanti depositati negli ultimi decenni.

Temi prioritari saranno: caratterizzazione chimica e dimensionale dell'aerosol antartico ed identificazione di *marker* specifici delle tre sorgenti principali: *Long Range Atmospheric Transport*, sorgenti umane locali ed altre sorgenti non antropiche (per esempio: eruzioni vulcaniche, estesi incendi boschivi); evoluzione dei livelli di contaminazione ed effetti sulle diverse componenti ambientali, con particolare riferimento agli inquinanti emergenti; studio delle reazioni chimiche e fotochimiche sulla neve e sul ghiaccio, con particolare riferimento agli inquinanti ed altri composti di interesse ambientale; studio dei processi di trasferimento di composti chimici e micro-inquinanti tra differenti comparti ambientali; effetti della estesa fusione di ghiaccio e altre matrici congelate sui



La vita sotto il ghiaccio marino dell'Antartide

livelli di contaminazione in diversi comparti ambientali; correlazione tra i livelli di contaminanti, il loro trasferimento nell'ecosistema (nei comparti biotici e abiotici) ed i parametri climatici; uso e realizzazione di banche di campioni ambientali antartici da utilizzare per indagini retrospettive.

Tali ricerche si pongono in un quadro di grande interesse internazionale, infatti i più importanti paesi coinvolti in ricerche scientifiche sia in Artide che in Antartide hanno implementato protocolli e attivato progetti di ricerca per valutare gli effetti derivanti dalla contaminazione ambientale, sia derivanti dalle attività locali che dalla diffusione e trasporto a livello globale.

Come detto all'inizio del presente paragrafo, le seguenti linee guida dello SCAR, in parte già citate, hanno rilevanza anche per il PNRA per quanto riguarda l'Antartide.

Input Pathways of Persistent Organic Pollutants to Antarctica (IMPACT) Action Group

Il gruppo d'azione ImpACT ha lo scopo di facilitare le indagini coordinate sugli input chimici nella regione antartica, sia il piano di monitoraggio globale della convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POP), sia il protocollo sulla protezione ambientale del trattato antartico (protocollo di Madrid). Gli inquinanti organici persistenti (POP) sono contaminanti ubiquitari, tossici e ambientali che sono stati rilasciati attraverso l'industria globale nel corso dell'ultimo secolo. Le regioni polari fungono da "serbatoi" per i POP, che raggiungono questi ambienti ad alta latitudine attraverso processi di trasporto ambientale a lungo raggio. La sfida oggi è di quantificare e prevedere l'impatto di questa contaminazione, in assenza di una solida

comprensione degli input passati o presenti. Il Gruppo di Azione si concentrerà sul monitoraggio coordinato di quattro vie note di input delle sostanze chimiche:

1. Trasporto atmosferico
2. Trasporto idrosferico
3. Utilizzo in situ
4. Biota migratore

Plastic pollution Action Group

L'inquinamento da plastica è riconosciuto come un problema globale, ma si sa poco sulla distribuzione e sulle fonti di plastica nelle regioni polari, in particolare in Antartide.

La Plastic-AG mira a: esaminare la presenza, l'origine e gli effetti biologici di macro, micro e nanoplastiche; quantificare la portata del problema; e proporre soluzioni per ridurre al minimo il rischio ambientale e gli impatti sugli ecosistemi polari.

Il Gruppo di Azione affronterà le seguenti domande scientifiche chiave:

- Qual è la presenza e la distribuzione di materie plastiche (nano, micro e macro) negli ambienti polari?
- Quali sono le fonti e i destini della plastica nelle regioni polari?
- Quali sono gli impatti sugli ecosistemi polari?
- Quali sono le potenziali soluzioni di risanamento / mitigazione nelle regioni polari?

b) L'uomo in ambienti estremi

Per quanto riguarda le ricerche in ambito biomedico, gli aspetti conoscitivi riguardano principalmente le informazioni su effetti fisiopatologici, psicologici e sociologici, antropologico-culturali relativi all'esposizione ad ambiente antartico. I temi prioritari di medicina e salute riguardano la prevenzione di condizioni di progressivo o accentuato malessere e di stati francamente patologici, sia acuti che cronici: questi ultimi anche con effetti a distanza che potrebbero riguardare il personale italiano e non, che permane in ambiente antartico. Altri aspetti riguardano l'adattamento fisiologico al clima, le eventuali misure da adottare sia nella fase di preparazione alla partenza e al viaggio, sia della permanenza in Antartide, sia durante la fase di monitoraggio dopo il rientro la dieta; la valutazione dello stress dovuto all'esposizione a ipossia sistemica e all'affaticamento muscolare sotto stress; gli effetti delle alterazioni del ritmo circadiano e della funzione e dei parametri visivi in funzione della latitudine e dei tempi e modalità di esposizione e acclimatazione.

Un aspetto particolarmente interessante riguarda infine la permanenza in unità sociali numericamente assai limitate, per periodi prolungati, in condizione di confinamento e di parametri ambientali "estremi".

In riferimento alle interazioni con le agenzie spaziali, le missioni prolungate in Antartide costituiscono, da tempo, un modello sperimentale tramite il quale sia il PNRA sia l'Agenzia Spaziale Italiana ed Europea hanno analizzato i fattori psicosociali, fisiologici e le tecniche di trattamento, potenzialmente in grado di influenzarne la riuscita. Temi prioritari saranno quindi quelli legati all'approfondimento delle conoscenze della fisiopatologia delle reazioni ad ambienti estremi sia *in situ* che *ex situ* e in modelli comparativi, mediante ricerche che coniughino gli aspetti di misurazione di parametri fisiologici e psicologici ad ampio spettro per il monitoraggio di biomarcatori della risposta, anche individuale, allo stress e predittivi di patologie, per la definizione di un'opportuna prevenzione e contromisure da adottare per la migliorata sicurezza del personale in loco, anche con studi *ex situ* su rischi specifici (isolamento, freddo, ecc.).

Le missioni in ambiente antartico rappresentano un'importante risorsa per informazioni:

- sul ruolo degli ambienti estremi sulla fisiologia e la psicologia dell'individuo e del gruppo;
- al fine di ottimizzare le procedure di selezione del personale (profilassi);
- per lo sviluppo di tecniche e tecnologie avanzate e dedicate, per provvedere alla tutela della salute degli equipaggi in missione (profilassi, contromisure e terapie).

Questi aspetti hanno importanti ricadute, sia per il personale che opera nelle stazioni di ricerca antartiche sia per la popolazione generale.



Grotta di ghiaccio nella Terra Victoria

In riferimento alle interazioni con le agenzie spaziali, le missioni prolungate in Antartide costituiscono, da tempo, un modello sperimentale tramite il quale sia il PNRA sia l'Agencia Spaziale Italiana ed Europea hanno analizzato i fattori psicosociali, fisiologici e le tecniche di trattamento, potenzialmente in grado di influenzarne la riuscita. Temi prioritari saranno quindi quelli legati all'approfondimento delle conoscenze della fisiopatologia delle reazioni ad ambienti estremi sia *in situ* che *ex situ* e in modelli comparativi, mediante ricerche che coniughino gli aspetti di misurazione di parametri fisiologici e psicologici ad ampio spettro per il monitoraggio di biomarcatori della risposta, anche individuale, allo stress e predittivi di patologie, per la definizione di un'opportuna

prevenzione e contromisure da adottare per la migliorata sicurezza del personale in loco, anche con studi ex situ su rischi specifici (isolamento, freddo, ecc.).

Le missioni in ambiente antartico rappresentano un'importante risorsa per informazioni:

- sul ruolo degli ambienti estremi sulla fisiologia e la psicologia dell'individuo e del gruppo;
- al fine di ottimizzare le procedure di selezione del personale (profilassi);
- per lo sviluppo di tecniche e tecnologie avanzate e dedicate, per provvedere alla tutela della salute degli equipaggi in missione (profilassi, contromisure e terapie).

Questi aspetti hanno importanti ricadute, sia per il personale che opera nelle stazioni di ricerca antartiche sia per la popolazione generale.



Spaghetti a Stazione Concordia

La possibilità di approfondire questo tipo di studi avrà pertanto ricadute: applicative sulla qualità del lavoro in Antartide; conoscitive in ambito di salute pubblica; e preparatorie in ambito di interazioni e collaborazioni con agenzie spaziali, peraltro già in atto.

Questi filoni di ricerca principali costituiscono priorità e possono essere declinati in attività progettuali atte a caratterizzare e analizzare l'adattamento psicofisiologico e sociale alle condizioni tipiche delle missioni di breve e lunga durata in Antartide, anche al fine di pianificare adeguate contromisure.

Per quanto riguarda il contesto internazionale, nell'ambito dello SCAR, il Joint Expert Group on Human Biology è inteso da tempo a coordinare le esperienze internazionali di medici, psicologi, fisiologi e biologi che sono attivamente impegnati nel supporto biomedico dell'attività antartica, nonché nella ricerca biomedica nell'Antartide.

5. Le strategie del PNRA per il triennio 2020-2022

In continuazione con i programmi triennali precedenti anche qui l'obiettivo è quello di consolidare la posizione dell'Italia nel panorama internazionale e di partecipare attivamente alle crescenti

iniziative scientifiche internazionali che guardano all'orizzonte del 2027 ed oltre.

Gli strumenti che questo piano propone di utilizzare sono:

1. La promozione delle attività di ricerca innovative e multidisciplinari, come descritto nella Sezione 4, favorendo la presentazione di progetto di ampie dimensioni;
2. Il miglioramento delle condizioni di salubrità e sicurezza in ambienti estremi
3. il consolidamento e il potenziamento del sistema degli osservatori permanenti;
4. il potenziamento dell'internazionalizzazione;
5. l'innovazione tecnologica;
6. la specificità dei bandi pubblici per nuove proposte di attività in Antartide;
7. il processo meritocratico di valutazione e selezione delle attività di ricerca.
8. La valorizzazione delle nuove infrastrutture del PNRA rispettivamente della nuova nave rompighiaccio Laura Bassi e dell'aviosuperficie in via di realizzazione a Baia Terra Nova
9. Le ricadute delle attività della ricerca antartica come benefici per la Società
10. Le attività di divulgazione comunicazione e formazione

- **5.1 La promozione delle attività di ricerca innovative e multidisciplinari, come descritto nella Sezione 4;**

Per il triennio 2020-2022 vengono mantenute le priorità dei programmi triennali precedenti, la cui attuazione è stata avviata nel corso delle ultime spedizioni in Antartide, in particolare a seguito dei Bandi 2018 e 2019. La ricerca è prevalentemente orientata verso la comunità scientifica delle università e degli enti, ma non vengono escluse collaborazioni con il sistema produttivo nazionale.

Le priorità scientifiche individuate hanno per lo più carattere multidisciplinare, secondo lo schema individuato dallo SCAR e calato nella realtà italiana come visto nella Sezione 4. Nello specifico le sei linee che precisano le priorità della Scienza Antartica per i prossimi decenni sono: a) definire dell'impatto globale dell'atmosfera antartica e dell'Oceano Meridionale; b) comprendere come, dove e perché i ghiacci continentali perdono massa; c) svelare la storia geologica dell'Antartide; d) imparare come la vita in Antartide si sia evoluta e preservata; e) osservare lo Spazio e l'Universo; f) riconoscere e mitigare l'influenza umana - l'uomo in Antartide.

Al fine di potenziare le collaborazioni scientifiche internazionali, le priorità scientifiche nazionali dovranno essere perseguite attraverso tipologie di attività di ricerca innovative e flessibili, sviluppando anche sinergie con le infrastrutture Europee di ricerca prioritarie a livello nazionale ed a cui l'Italia contribuisce attraverso il PNIR.

Progetti di ricerca condotti in ambito di accordi scientifici internazionali

Si tratta di progetti di ricerca promossi da gruppi di ricerca internazionali, valutati da panel internazionali, e condotti nell'ambito di accordi formalizzati fra agenzie e/o organismi polari, di durata pluriennale (esempi: IODP, ICDP, BE-OIC).

Progetti di ricerca condotti nell'ambito di iniziative scientifiche internazionali

Si tratta di progetti condotti da gruppi di ricerca nazionali che contribuiscono ad iniziative

internazionali quali ad esempio i programmi promossi dallo *Scientific Committee on Antarctic Research*, IODP, IPICS, *Eurofleets*, anche di durata pluriennale.

Progetti di ricerca nazionali

Si tratta di progetti promossi da ricercatori italiani e condotti da due o più unità di ricerca, anche in collaborazione con ricercatori di altri paesi, della durata massima di due anni.

Esperimenti di lungo periodo

Si tratta di progetti promossi da ricercatori italiani e condotti da due o più unità di ricerca, anche in collaborazione con ricercatori di altri paesi, che implicano la raccolta sistematica di dati la cui significatività scientifica impone osservazioni e/o misure per un periodo superiore a due anni.

• **5.2 Il consolidamento e il potenziamento del sistema degli osservatori permanenti**

Il compito di ogni programma nazionale antartico è di raccogliere con sistematicità e continuità e diffondere dati di natura fisica e chimica sull'ambiente antartico.

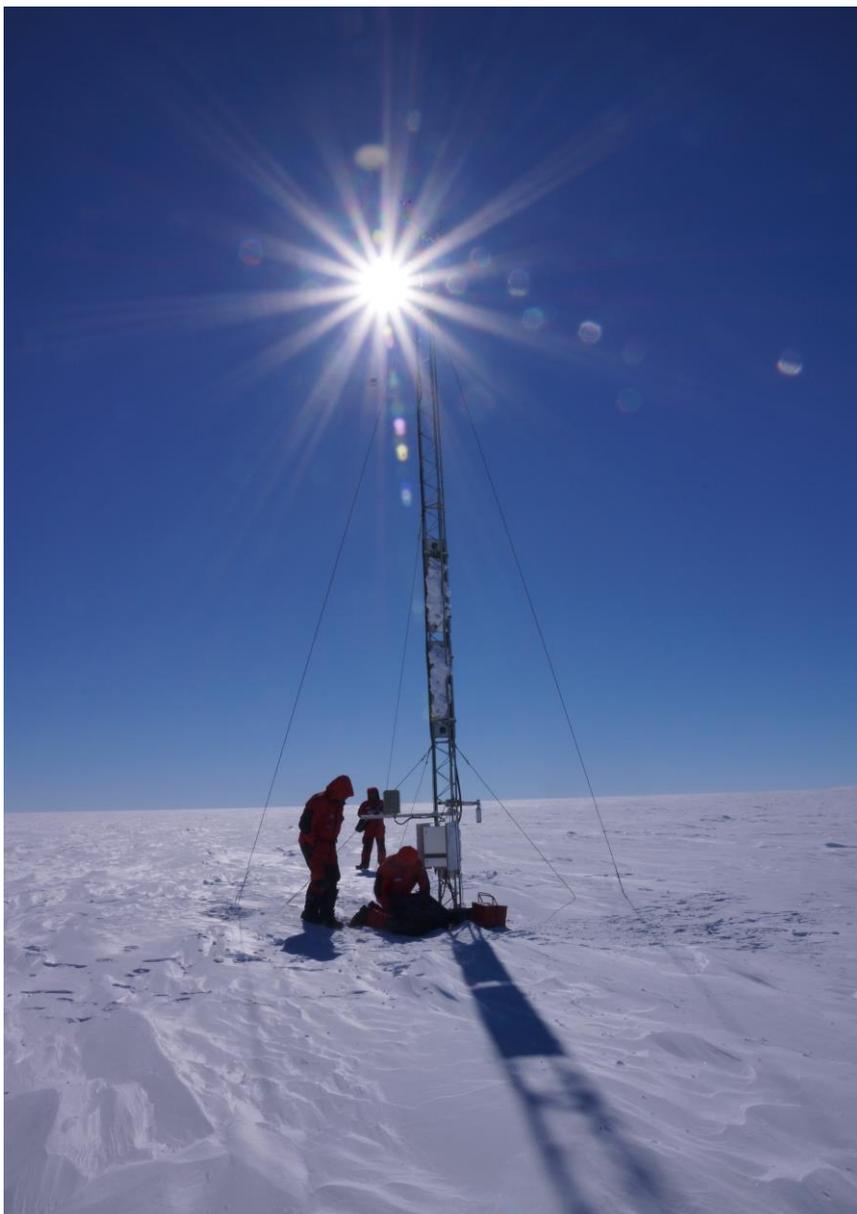
Sono considerati osservatori permanenti quelle strutture che svolgono attività di raccolta di osservazioni e di dati di interesse generale, nazionale ed internazionale, che implica la standardizzazione della raccolta dei dati, l'automatizzazione dei sistemi osservativi e ove possibile la trasmissione in tempo reale. La responsabilità della conduzione, manutenzione periodica della strumentazione, dei sistemi di conservazione e della diffusione dei dati dovrà essere affidata a un'entità con personalità giuridica (ente pubblico di ricerca, università, etc.) che ne assicurerà la continuità nel tempo e ne proporrà il responsabile. Il responsabile dell'osservatorio permanente sarà impegnato a mantenere aggiornata un sito web dedicato, produrre un rapporto biennale e un rapporto finale alla conclusione del quinquennio di attività.

Presso la stazione MZS:

- Osservatorio di geomagnetismo e elettromagnetismo (INGV);
- Osservatorio geodetico nella Terra Vittoria settentrionale (Università di Modena e Reggio Emilia);
- Osservazioni in alta atmosfera e climatologia spaziale (INGV);
- Osservatorio sismologico permanente (INGV);
- Osservatorio meteo-climatologico (ENEA).

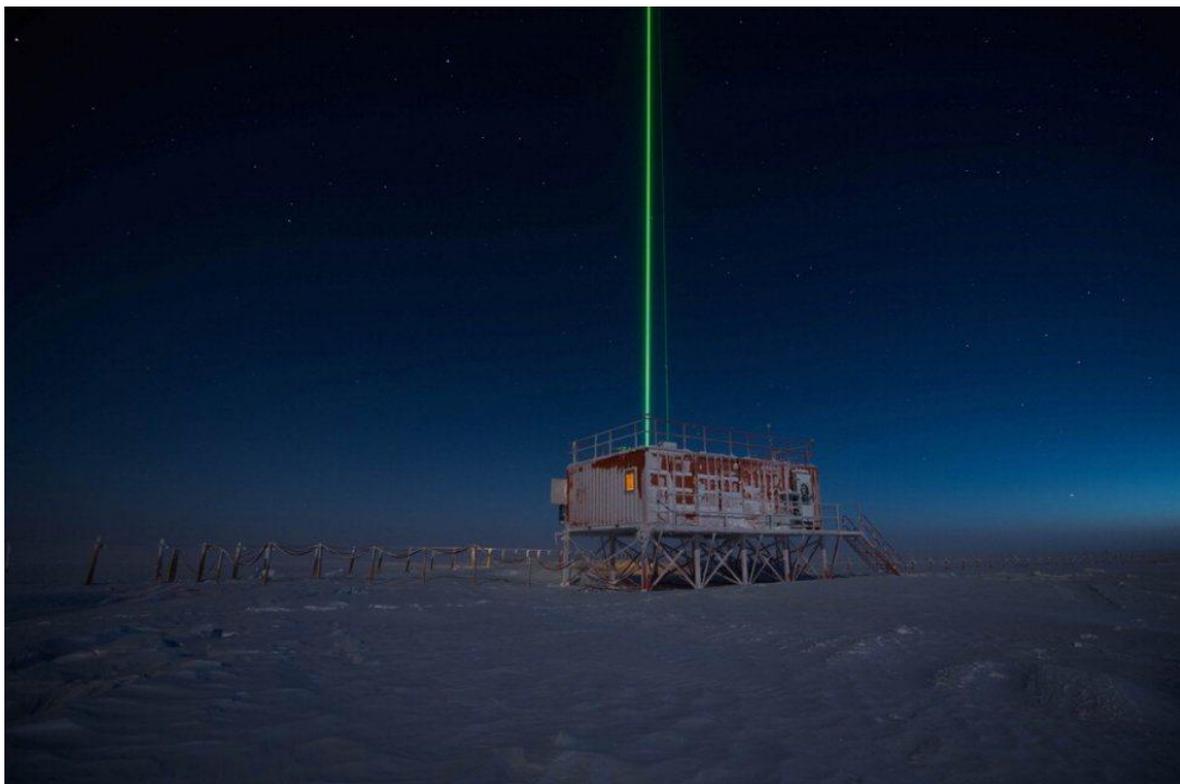
Presso la stazione Concordia a Dome C:

- Osservatorio di flussi di radiazione solare ed infrarossa (sito BSRN) (CNR);



Osservatorio meteo-climatologico

- Osservatorio meteo-climatologico (ENEA);
- Osservatorio di geomagnetismo e elettromagnetismo (INGV);
- Osservatorio sismologico permanente (INGV);



Osservatorio LIDAR

- Osservatorio fisica alta atmosfera (INGV); Osservatorio LIDAR (CNR);
- Osservatorio di climatologia spaziale Super-DARN (INAF-IAPS).

E, in altre regioni:

- Osservatorio marino nel Mare di Ross (Università Parthenope di Napoli);
- Rete di osservatori sismologici a larga banda nel Mare di Scozia (OGS).

Nel 2019 la CSNA ha approvato il rinnovo biennale degli osservatori permanenti sopra elencati. Per quanto concerne i dati acquisiti e la loro diffusione, è in via di realizzazione il portale degli osservatori e dovranno essere identificati i *data center* idonei a garantire la raccolta, la conservazione e l'accesso ai dati.

• **5.3 Potenziamento dell'internazionalizzazione**

La collaborazione internazionale è nello spirito della ricerca polare. Infatti, permette lo sviluppo di progetti di ricerca di dimensioni e interessi sopranazionali e consente risparmi e razionalizzazioni dell'uso dei mezzi di supporto infrastrutturale e logistico. Sviluppare la collaborazione internazionale, se prima era un'opportunità, adesso in tempi di crisi economica globale è diventata una esigenza per tutti i programmi nazionali polari.

Collaborazioni a carattere logistico-operativo

Di seguito vengono esemplificate alcune tipologie di collaborazioni:

- *ConSORZI internazionali per la progettazione, costruzione di infrastrutture*, collaborazioni regolate da accordi intergovernativi, interministeriali o fra agenzie polari (esempio: stazione Concordia fra Francia e Italia);

- *Consorti/accordi per l'utilizzazione/gestione comune/coordinata di stazioni polari, mezzi navali e aerei*, accordi fra agenzie e/o organismi polari tendenti a ottimizzare l'utilizzo comune di stazioni (esempi: Concordia con IPEV-Francia eventualmente da allargare ad altri paesi), e di mezzi aerei/aeroporti (esempi: con NSF-USA, Antarctica New Zealand, KOPRI-Corea AAD per voli con trasporto di personale) e navali in aree polari (esempi: con KOPRI-Corea, BGR e AWI Germania).

Collaborazioni a carattere scientifico

Le tre priorità individuate nei grandi programmi cornice per la ricerca polare trovano ampia corrispondenza con alcune delle tematiche scientifiche del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide. La possibile partecipazione del PNRA riguarda in particolare la priorità "Sfide per la società" per gli obiettivi specifici: (e) azioni per il clima, efficienza delle risorse e materie prime; (c) energia sicura, pulita ed efficiente; (d) trasporti intelligenti, verdi e integrati; e per la parte relativa alla ricerca marina e marittima dell'obiettivo (b) sicurezza alimentare agricoltura sostenibile, ricerca marina e marittima nonché bioeconomia.

Lo sviluppo di collaborazioni internazionali ha come presupposto la partecipazione attraverso rappresentanze nazionali ad organismi quali lo *Scientific Committee on Antarctic Research*, l'*International Arctic Science Committee* e l'*European Polar Board*.

La possibilità di partecipare ai bandi della Commissione Europea e/o promuovere iniziative scientifiche internazionali a carattere internazionale nel contesto delle priorità SCAR e/o EPB spesso presuppone la costituzione di accordi di collaborazione formali sia pur temporalmente limitati alla durata del progetto.

Esempi di tipologie di accordi di collaborazioni sono:

Grandi programmi/progetti di ricerca internazionali

Si tratta di programmi/progetti di ricerca promossi da gruppi di più paesi e regolati da accordi sottoscritti da agenzie/organismi polari (esempi: IPICS, IODP e ICDP, Ice Memory, GCW).

Ricerche che utilizzano piattaforme fisse e mobili di altri paesi

Per la conduzione di progetti di interesse comune di due o più gruppi di ricerca da realizzarsi a partire da piattaforme di altri paesi (esempi: WISSARD, Eurofleets) dovranno essere stipulati accordi fra agenzie e/o organismi polari. Tale tipologia di accordo può essere adottata anche per favorire la mobilità di ricercatori, specialmente giovani, non solo presso piattaforme polari, ma anche in laboratori di altri paesi attraverso accordi fra istituti di ricerca basati su interessi scientifici comuni.

Sistemi internazionali di archivi di campioni e banche dati

Lo SCAR ed altri organismi internazionali promuovono lo sviluppo di accordi fra agenzie e/o organismi polari nazionali tendenti a conservare dati e campioni al fine di ridurre l'impatto sul territorio antartico, evitare duplicazioni e garantirne la disponibilità alle future generazioni di ricercatori (esempi: *Antarctic SDLS*, Banche campioni ambientali, geologici, biologici, etc.). In questo contesto è da evidenziare l'iniziativa sorta dalla collaborazione fra *action group*, *ECA (Environmental Contamination in Antarctica)* e *AGAFS (Antarctic Fuel Spills)* per il coordinamento della rete per il controllo ed il monitoraggio della qualità dell'ambiente antartico, anche allo scopo di definire le linee di valutazione del rischio connesso alle attività in campagna.

5.4 L'innovazione tecnologica

Gli avanzamenti delle ricerche nelle aree polari sono fortemente correlati con la disponibilità di

strumenti di osservazione e di indagine diretta a elevato contenuto tecnologico. Infatti, qui ciascun tipo di osservazione di lungo termine o di misura puntuale richiede soluzioni molto specializzate in risposta non solo alle condizioni ambientali/climatiche estreme, ma anche alla capacità di operare per lunghi periodi di tempo senza intervento umano, o anche in completo automatismo sia in riferimento a sistemi fissi che mobili. Le sfide tecnologiche che necessitano e perciò producono innovazione tecnologica riguardano principalmente i materiali speciali, l'affidabilità del funzionamento in un ampio intervallo di condizioni ambientali, la miniaturizzazione, la sensoristica, anche per gli studi micro - e nano climatici, la robotica, le telecomunicazioni, la telemedicina, l'elaborazione dati, l'ingegnerizzazione e, non da ultimo, il contenimento dei costi.

Le ricerche nelle aree polari divengono perciò anche un "propulsore" di ricerca e sviluppo tecnologico, generando molteplici intese tra il sistema ricerca e le imprese; nella maggioranza dei casi queste intese hanno le caratteristiche per trasformarsi da un semplice rapporto del tipo committente-fornitore, a una alleanza che vede il soggetto di impresa-fornitore di tecnologia diventare anch'esso "beneficiario" dei prodotti innovativi, in termini di brevetti e trasferibilità al mercato.

La rassegna delle idee raccolte per la definizione delle presenti linee strategiche di ricerca polare ha messo in evidenza come molte iniziative si prestino a sviluppare stretti rapporti di collaborazione o evidenti potenzialità di partenariato con il sistema delle imprese, per lo sviluppo tecnologico congiunto di sistemi innovativi di indagine diretta o di processo produttivo.

Per grandi gruppi, le proposte riguardano sistemi osservativi marini, geofisici, geochimici, vulcanologici, criosferici, astronomici; microsensistica ambientale e tecnologie per l'osservazione dello spazio e lo studio della bassa, media e alta atmosfera; veicoli autonomi di tipo UAV, USV, e ROV; campionatori di fondo marino; biotecnologie e sistemi energetici da fonti rinnovabili e tecnologie avanzate di supporto alla logistica.

I benefici per le ricerche nelle aree polari riguardano non solo l'avanzamento delle conoscenze scientifiche, ma anche il possibile contenimento dei costi delle campagne di ricerca attraverso l'impiego dei sistemi osservativi automatici che non richiedono l'intervento umano per lunghi periodi e i veicoli autonomi sia di superficie che aerei.

Sul fronte dell'innovazione e della competitività del sistema produttivo, la trasferibilità dei prodotti "guarda" all'ampio mercato del monitoraggio e controllo dell'ambiente nei suoi diversi comparti, la sorveglianza di obiettivi sensibili, la sicurezza e la difesa, nonché l'ampissima area delle biotecnologie e della medicina, e alle potenzialità degli organismi polari facilmente coltivabili in laboratorio, da sottoporre a screening per la produzione di nuove biomolecole di interesse applicativo, come ad esempio metaboliti bioattivi, acidi grassi insoliti e sostanze anticongelanti. La potenzialità delle biomolecole può essere verificata anche *in silico*. Nell'ottica della partnership pubblico-privato in termini di mutuo beneficio dei prodotti delle ricerche, ma anche di condivisione dei costi di R&S, si ritiene appropriato il modello di cofinanziamento del tipo *public procurement*, già adottato con successo dagli USA come "motore" di innovazione nel sistema produttivo. In sintesi, il finanziamento pubblico dovrebbe coprire i costi di costruzione dei prototipi dei dispositivi o delle macchine, ma non, ad esempio, i costi della loro progettazione, cioè il costo *in kind* sostenuto dalle imprese.

Considerati gli interessi scientifici e in progetti in corso di sviluppo in ambito pubblico e industriale, si considera prioritario lo sviluppo di:

- sistemi osservativi dell'ambiente e del fondo marino, inclusi i veicoli autonomi di superficie e di profondità;
- strumenti di osservazione dello spazio e dell'alta atmosfera;
- biotecnologie, in prevalenza orientate alla produzione di farmaci o di catalizzatori.

Data la complessità della tematica e la necessità di rafforzare l'alleanza fra comunità scientifica e mondo produttivo, MUR e CSNA comporranno un tavolo di lavoro con la partecipazione delle imprese più significative allo scopo di approfondire le scelte dei settori di indagine.

- **5.5 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 e 2019 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 presso la stazione Mario Zucchelli avranno, di norma, cadenza biennale. E' comunque obiettivo della CSNA l'emanazione di bandi con regolarità e in coerenza con le capacità e l'uso delle infrastrutture.

E' 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.

- **5.6 Il processo meritocratico di valutazione e selezione delle attività di ricerca**

La selezione delle attività di ricerca scientifica e tecnologica verrà effettuata sulla base del merito scientifico e della compatibilità economica e operativa. Le proposte, raccolte a seguito dei bandi emanati dal MUR saranno sottoposte ad un processo di valutazione curato dalla CSNA che, per gli aspetti del merito scientifico, si avvale anche di *referee* esterni. L'esito del processo di valutazione viene reso pubblico dal MUR. I coordinatori delle proposte ammesse al finanziamento saranno invitati a formulare un progetto definitivo coerente con le risorse finanziarie e i supporti logistici e infrastrutturale che saranno messi a disposizione.

- **5.7 La valorizzazione delle nuove infrastrutture del PNRA, rispettivamente della nuova nave rompighiaccio Laura Bassi e dell'aviosuperficie in via di realizzazione a Baia Terra Nova**

L'acquisizione della nave rompighiaccio polare Laura Bassi da parte dell'OGS ha già influito sulle scelte programmatiche del PNRA alla fine del precedente triennio. Il Bando pubblicato il 17-1-2020 con un impegno finanziario di 3,000,000 euro (Bando 2019) è rivolto come d'uso alla selezione di nuove attività di ricerca volte ad approfondire le conoscenze in Antartide al fine di ottenere una migliore comprensione dei processi di interazione e connessione fra i diversi comparti del sistema Terra (criosfera, idrosfera, atmosfera, biosfera e litosfera). Due linee del bando A1 e A2, sono

espressamente dedicate a valorizzare l'impiego della nuova nave polare da ricerca 'Laura Bassi' per le discipline oceanografiche con ricerche di Geologia e Geofisica Marina, Biologia e Ecologia Marina. Questo orientamento dovrà essere perseguito anche nel triennio 2020-22 per consentire al sistema nazionale dedicato alle attività marine ed oceanografiche di poter proseguire, e migliorare il proprio impegno in questi campi.

La realizzazione dell'aviosuperficie permanente su ghiaia a Boulder Clay nei pressi della stazione Mario Zucchelli ragionevolmente avviata alla conclusione in questo triennio consentirà al PNRA di disporre di una importante infrastruttura aeroportuale nella regione del Mare di Ross favorendo lo sviluppo di azioni sinergiche con i programmi antartici di altri paesi in piena sintonia con lo spirito del Trattato Antartico che fa della cooperazione tra le parti uno dei suoi pilastri.

• **5.8 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.

• **5.9 Le attività di divulgazione comunicazione e formazione**

L'Antartide stimola sul pubblico un fascino indiscutibile di Continente lontano, inospitale, incontaminato, irraggiungibile. Un po' meno chiaro al pubblico è perché sia utile investire risorse umane e finanziarie per studiare un posto tanto lontano e "diverso". Una corretta informazione, comunicazione e divulgazione sulle attività scientifiche che il PNRA si impegna a produrre sono indispensabili per generare quel consenso che giustifica gli investimenti. È necessario che l'informazione sia corretta, costante, presidiata e sostenuta, per tale ragione si prevede di costituire nell'ambito del PNRA una piccola unità rappresentativa che gestisca e favorisca la corretta informazione, comunicazione e divulgazione. Si evidenzia quindi la necessità che il MUR, mediante un comitato per la divulgazione composto da membri della CSNA e del Ministero stesso, coordini le attività di divulgazione interfacciandosi con i responsabili della divulgazione PNRA presso il CNR e l'ENEA, e inoltre con quelli dei Ministeri, delle Università e degli Enti di ricerca che annualmente partecipano alle attività del PNRA.

Si prevede altresì di perseguire anche azioni pertinenti alle attività di ricerca polare che costituiscono il cuore del PNRA. Si ricorda che presso l'Università di Siena è attivo da anni un Dottorato in Scienze e tecnologie Ambientali, Geologiche e Polari. In particolare il sostegno all'attività di formazione di nuovi giovani ricercatori con il meccanismo del Dottorato di ricerca. Sulla base del dottorato in Scienza e Gestione dei Cambiamenti Climatici (SGCC) dell'Università di Venezia, attualmente strutturato in quattro anni, ad esempio, si è ora realizzato un Dottorato in Scienze Polari. Le Università fondanti sono impegnate ad attivare convenzioni con altre Università, Enti, e altre istituzioni, come il PNRA. Per questo motivo si è quindi ritenuto importante aderire a questa iniziativa di Dottorato in Scienze Polari impegnandosi per il prossimo triennio con 2 borse

all'anno per attività formative (aumentabili in caso di ulteriori finanziamenti) che vengano specificatamente dedicate all'Antartide. E' auspicabile in un prossimo futuro e con l'entrata in vigore del nuovo D.M. sui dottorati di ricerca, l'attivazione di un Dottorato Nazionale in Scienze Polari, al quale possano partecipare università ed EPR interessati ai temi polari.

6. Infrastrutture di supporto

• 6.1 Infrastrutture di supporto e operatività in Antartide

Per l'esecuzione delle attività di ricerca saranno disponibili diversi supporti infrastrutturali e logistici sia in Antartide sia in Italia.

Le stazioni scientifiche

La **stazione Mario Zucchelli** a Baia Terra Nova nel Mare di Ross consente lo svolgimento di attività esclusivamente durante l'estate australe ed ha una recettività di circa 90 persone. Presso la stazione sono disponibili laboratori da ricerca, mezzi aerei, mezzi marini minori, infrastrutture mobili per traverse e attrezzature per campi remoti per attività distanti dalla base.

La **stazione franco-italiana Concordia** in località Dome C sul *plateau* polare, operativa durante tutto l'anno, consente lo svolgimento di attività tecnico-scientifiche a circa 65 persone durante l'estate australe e a 16 persone durante il periodo invernale. Presso la stazione sono installati diversi osservatori permanenti e disponibili laboratori di ricerca anche biomedici e mezzi per spostamenti di superficie.

La **nave da ricerca Laura Bassi**, affidata all'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS) a fronte di un apposito finanziamento del MUR, anche per garantire un costante supporto al PNRA, rappresenta in concreto una stazione scientifica per le attività di ricerca nell'Oceano Meridionale, oltre a fornire supporto alla logistica, come si dirà nel seguito.



I mezzi di trasporto e di ricerca



Operazioni di scarico a Stazione Mario Zucchelli

Per il supporto alle basi antartiche è quindi ormai disponibile per le necessità legate alle esigenze di cargo la nuova Nave Laura Bassi. Essendo dotata di servizi tecnico-logistici e adeguati laboratori, tale nave verrà utilizzata anche per le campagne di raccolta di dati e campioni nel Mare di Ross e in aree specifiche di indagine. Per la realizzazione dei progetti di esplorazione geofisica e geologica marina, biologica e ecologica marina e oceanografica fisica e chimica si potrà quindi ora ricorrere all'utilizzo della Laura Bassi come nave da ricerca dotata di idonee attrezzature per rilievi e di laboratori per trattamento di campioni e dati.

Per consentire l'apertura della stazione Mario Zucchelli e l'inizio delle attività scientifiche sin dal mese di ottobre anche presso la stazione Concordia, annualmente si farà ricorso al noleggio di un **aereo da trasporto intercontinentale**.

Per assicurare le connessioni tra le stazioni Mario Zucchelli e Concordia e per il supporto di attività di ricerca distanti dalla stazione Mario Zucchelli sarà necessario disporre di **mezzi aerei leggeri** (aerei attrezzati di sci ed elicotteri).

Per far fronte alle esigenze della ricerca e per ridurre lo *human footprint* (vedasi le raccomandazione del Trattato Antartico), si dovrà operare in modo da ridurre il fabbisogno energetico da fonti fossili. Questo obiettivo potrà essere raggiunto attraverso la riduzione dei consumi dei mezzi di trasporto (mezzi terrestri, aerei e navali), l'aumento dell'efficienza energetica e l'integrazione del sistema di produzione dell'energia tradizionale delle stazioni con impianti basati su fonti rinnovabili (eolico, solare, etc.). Lo sviluppo, la pianificazione e la condivisione a livello internazionale delle infrastrutture potrà contribuire in maniera sostanziale alla diminuzione dei consumi. Un ulteriore sforzo è richiesto per applicare le migliori tecnologie disponibili nel campo della gestione dei rifiuti e della depurazione delle acque.

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 dal MIUR, (decreto 581 del 26/02/2014) 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.

Risorse umane

La conduzione delle ricerche nel triennio 2020-2022 sarà garantita dal personale scientifico e tecnico delle università e degli enti di ricerca impegnati nei progetti di ricerca da attuare. Il personale tecnico ed amministrativo impegnato nel garantire il funzionamento delle stazioni antartiche e delle loro infrastrutture sarà selezionato sulla base di specifiche esigenze e competenze.

Il dettaglio delle risorse umane effettivamente impegnate nelle piattaforme operanti in Antartide nelle diverse spedizioni (stazione Mario Zucchelli, stazione Concordia, navi italiane, navi e stazioni di altri paesi) sarà definito in fase di programmazione esecutiva annuale da CNR e ENEA.



Preparazione di un campo remoto a stazione Mario Zucchelli

Quadro sintetico

Con la finalità di massimizzare l'utilizzo delle risorse in una cornice di finanziamenti limitati, la strategia per la conduzione delle attività di ricerca nelle regioni polari prevede:

- il presidio stagionale della stazione costiera Mario Zucchelli e annuale della stazione Concordia a Dome C in Antartide;
- la modulazione delle attività di ricerca articolata su cicli biennali;
- il mantenimento e lo sviluppo di accordi di collaborazione con paesi come Francia, USA, Nuova Zelanda, Corea del Sud, Germania, Cina, Australia e Argentina per il reciproco supporto logistico e la condivisione e lo sviluppo delle risorse e delle infrastrutture polari;

- il sostegno dello sviluppo di collaborazioni scientifiche internazionali a "geometria variabile" che favoriscano la partecipazione di gruppi italiani a ricerche presso spedizioni e/o su piattaforme fisse e mobili di altri paesi;
- l'utilizzo di navi da ricerca per campagne marine di tipo fisico e chimico, biologico-ecologico e geologico-geofisico in diverse aree dell'Oceano Meridionale, nell'Oceano Artico e nell'Atlantico settentrionale, in contesti di collaborazioni internazionali che prevedano anche la condivisione dei costi.

• 6.2 Infrastrutture di supporto alla ricerca in Italia

Sorting Center - Museo Nazionale dell'Antartide Felice Ippolito

Al fine di provvedere alla conservazione, studio e valorizzazione dei reperti acquisiti nel corso delle spedizioni scientifiche e di ogni altra testimonianza relativa alla presenza italiana in Antartide la CSNA e il Museo Nazionale dell'Antartide Felice Ippolito (<http://www.mna.it/>), previsto dalla legge 380/1991 e istituito con decreto ministeriale nel 1996, hanno sottoscritto un apposito protocollo di intesa (12 novembre 2010).

Il MNA è organizzato come centro interuniversitario fra gli Atenei Genova, Siena e Trieste. Provvede alla conservazione e catalogazione dei reperti raccolti durante le spedizioni ed al mantenimento delle relative banche dati e del *Geographic Information System* (GIS). I reperti sono conservati presso i *sorting center* delle sue tre sedi (materiale biologico – Università di Genova, materiale geologico – Università di Siena, documentazione storica e materiale sedimentologico – Università di Trieste) e delle sedi associate (microbiologia – Università di Messina, glaciologia – Università di Milano Bicocca, lichenologia – Università di Trieste, micologia – Università della Tuscia, Banca Campioni Ambientali Antartici – Università di Genova, sedimentologia – ISMAR CNR Bologna).

Per garantire la funzionalità dei *sorting center* è fondamentale porre in essere le azioni necessarie a far sì che la documentazione relativa alla consistenza e alla natura dei materiali raccolti in Antartide e i reperti vengano consegnati tempestivamente al Museo. Le modalità di raccolta, conservazione e accesso a reperti e campioni saranno regolamentate dando seguito alle proposte elaborate dal gruppo di lavoro *ad hoc*, costituito dal MIUR con decreto 581 del 26/02/2014). Con questa occasione si auspica che venga a breve predisposto il regolamento attuativo già previsto dal sopra citato protocollo di intesa tra CSNA e MNA.

Presso i centri di documentazione del Museo è raccolta la letteratura (monografie e periodici) relativa alle regioni polari, la cartografia generale e tematica, oltre ad altro materiale documentario quali immagini da satellite, foto aeree, diapositive, audiovisivi.

Il Museo promuove la divulgazione della scienza antartica attraverso le sue sedi espositive, mostre itineranti, materiale educativo e divulgativo e il sito web. Il Museo, con altre istituzioni coinvolte nel PNRA, concorre alle attività di diffusione dei risultati scientifici.

Il Museo dovrà provvedere al completamento del recupero dei reperti non ancora depositati e all'aggiornamento continuo dei data base al fine di garantire l'accessibilità e l'utilizzo alla comunità scientifica ed evitare duplicazione di raccolte e ridurre l'impatto umano in Antartide.

Il Sistema Interlaboratorio Antartico

Il SIA costituisce una rete di laboratori, attrezzati con grandi strumentazioni, a disposizione della comunità nazionale. Si tratta di una piattaforma tecnologica finalizzata all'esecuzione di ricerche avanzate, caratterizzate dall'ottenimento di dati sperimentali altamente specifici ed affidabili.

Il gruppo di lavoro *ad hoc*, è stato costituito dal MIUR con decreto in data 26/02/2014 con il compito di verificare la consistenza e l'efficienza della strumentazione e predisporre proposte per un graduale aggiornamento e possibile potenziamento della rete. In data 13/04/2015 sono state

inviare al MIUR e alla CSNA le risultanze dei lavori. Successivamente, il MIUR ha dato mandato al CNR di procedere secondo quanto indicato nel documento elaborato dal gruppo di lavoro.

Sistema di raccolta e diffusione dei dati

La strategia e la policy dovranno tendere ad incoraggiare il rilascio dei metadati e dei dati e a favorire il loro utilizzo, l'efficace accessibilità dei dati e delle informazioni aiuta infatti a spostare in avanti la frontiera della scienza, così che tutti possono sfruttare il lavoro fatto negli anni passati e farlo diventare parte del loro lavoro. Questo è uno degli obiettivi importanti dell'Open Science.

Su indicazione del gruppo di lavoro istituito ad hoc dal MIUR, gli Enti e le Istituzioni che partecipano al PNRA hanno firmato una convenzione per l'implementazione del National Antarctic Data Center (NADC), come da specifiche SCAR, basato su una infrastruttura digitale distribuita che costituirà il punto d'accesso unificato per il discovery, l'access e download dei metadati e dei dati del PNRA. Il NADC potrà avvalersi di una sinergia con il Data Center nazionale di LifeWatch ERIC e con i servizi sviluppati dall'infrastruttura, relativamente alla meta-datazione di dati e dataset ed ai servizi per catalogazione, gestione ed analisi dei dati.

In un'ottica di consolidato open access dei dati, i responsabili dei progetti di ricerca finanziati dal PNRA dovranno rendere disponibili ai rispettivi data center (nodi di I livello del NADC) i metadati entro sei mesi dalla conclusione delle attività in campagna e i dati entro due anni dalla conclusione del progetto.

I metadati pubblicati dai nodi di I livello saranno costantemente collezionati (harvesting) e pubblicati dal nodo comune del NADC (*Common Node*) armonizzandoli secondo uno schema comune. Tra i metadati veicolati dal Common Node ci saranno quelli utili per l'accesso ai dati.

Le modalità del rilascio dei dati saranno opportunamente regolamentate e riportate nel modulo delle proposte di attività che dovrà prevedere anche le conseguenze del mancato rispetto di queste disposizioni.

7. Organismi nazionali ed internazionali

• 7.1 Organismi nazionali

Il decreto interministeriale del 30 settembre 2010 individua e definisce i compiti dei seguenti organismi nazionali:

- Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (CSNA), costituita presso il MUR
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)
- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)

• 7.2 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)*, al fine di garantire la gestione del continente antartico attraverso il sistema del Trattato Antartico con azioni di supporto al Ministero degli Affari Esteri, anche partecipando alle riunioni dell'ATCM e del CCAMLR;
- *Steering Committee, Managing Committee, Scientific Council e Organizing Committee* del progetto franco-italiano Concordia, al fine di armonizzare le attività scientifiche e la conduzione della omonima stazione.



Operazioni scientifiche subacquee a Baia Terra Nova

8. Previsione del fabbisogno finanziario

In Antartide l'incidenza dei costi tecnico-logistici e infrastrutturali di supporto alla Ricerca può raggiungere e superare l'80% del costo del singolo esperimento. In ciò la ricerca polare, e quella antartica in particolare, trova significative analogie con quella spaziale.

Per lo svolgimento delle attività, delineate nei capitoli 4 e 5 e nell'allegato A, è stimato un fabbisogno complessivo di 83 milioni di Euro. L'allegato A riporta l'analisi del fabbisogno finanziario per il triennio. Si evidenzia che le più rilevanti voci di spesa riguardano le infrastrutture e l'operatività in Antartide (61,65 milioni di Euro) e il finanziamento diretto alla ricerca, inclusa la partecipazione ad importanti iniziative internazionali (16,1 milioni di Euro).

La voce "Ricerca" (16,1 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 15,38 milioni di Euro (secondo le priorità alla sezione 5.1); 720 mila Euro sono per il supporto alla ricerca con borse di Dottorato (vedi allegato A).

La previsione di spesa per il funzionamento e le attività delle "Infrastrutture di supporto alla ricerca" (capitolo 6.2) assomma a complessivi 4,6 milioni di Euro. Tale cifra si compone di: 1,5 milioni di Euro per le attività di catalogazione e conservazione dei reperti svolte dal Museo Nazionale dell'Antartide comprendendo diverse attività di divulgazione e 150 mila Euro per attività divulgative e di comunicazione; 600 mila Euro per il sistema GIC e il SIA; 250 mila Euro per il sistema di raccolta e di diffusione dei dati; 1,5 milioni di euro per l'adeguamento delle strutture scientifiche in Antartide.

Per le "Infrastrutture e l'operatività in Antartide" sono previsti complessivi 61,65 milioni di Euro. Tale voce comprende le spese per il costo del nuovo *icebreaker* Laura Bassi (13,5 milioni di Euro) e aerei (13,5 milioni di Euro), per la conduzione e manutenzione delle stazioni Mario Zucchelli e Concordia (complessivamente 16,05 milioni di Euro), le spese di missione e indennità del personale in Antartide (14,7 milioni di Euro); le spese da sostenere in Italia per l'organizzazione delle campagne (4,9 milioni di Euro).

Le spese preventivate per gli "Organismi nazionali ed internazionali" assommano a 650 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.

Il fabbisogno evidenziato e dettagliato è di 83 MI di Euro per il triennio 2020-2022, ponendo il fabbisogno per il 2021 a 30 MI di Euro, come 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. Il Disegno di Legge di Bilancio 2021, approvato dal Governo in data 16 novembre 2020, prevede per il PNRA 23 MI di Euro, con l'importante novità dello scorporo della cifra dal Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca. Nel rispetto del DLdB 2021 è stata riportata una tabella integrativa che porta il totale a 76 MI di Euro, di cui 23 per il 2021. Le diminuzioni riguardano soprattutto la cifra prevista per la Ricerca, diminuita per 4,04 MI di Euro, e per il funzionamento delle Stazioni, diminuita di 1,7 MI di Euro. Risulta da quanto previsto che, oltre le spese considerate incomprimibili, verrebbero a soffrire la capacità di produzione scientifica e la manutenzione e ammodernamento delle strutture. Si auspica quindi fortemente, nel corso del 2021, il reperimento di risorse aggiuntive, per consentire all'Italia di mantenere la posizione di Paese leader nella ricerca in Antartide, conquistata in oltre 30 anni di attività.

<i>Tabella – Previsione di fabbisogno finanziario per il triennio 2020-2022 (in migliaia di Euro – k€).</i>	2020	2021 Assegnazioni e DLdB	2021 Fabbisogno	2022 Fabbisogno	Totale Assegnazione DLdB 2021	Totale fabbisogno
Finanziamento delle attività di ricerca Bandi per nuove proposte di ricerca, gestione osservatori permanenti, iniziative internazionali, supporti e accordi	5.300	1.860	5.900	4.900	12.060	16.100
Infrastrutture di supporto alla ricerca GIC, SIA, raccolta e diffusione dati; divulgazione, <i>sorting centers</i> (MNA), adeguamento strutture scientifiche in Antartide	1.500	900*	1.550	1.550	3.950	4.750
Infrastrutture e operatività in Antartide Mezzi aerei e navali, conduzione e manutenzione ordinaria e straordinaria delle stazioni scientifiche, compresa aviopista e personale in Antartide	16.050	20.100	22.300	23.300	59.450	61.650
Organismi nazionali ed internazionali CSNA, SCAR, EPB, COMNAP, ATCM	150	140**	250	250	540	650
TOTALE COMPLESSIVO	23.000	23.000	30.000	30.000	76.000	83.000

*Comprendono 400k€ per il MNA, 300k€ per SIA e GIC e 50k€ per attività educative e di comunicazione

**Comprendono 55k€ per organismi nazionali, 45k€ per organismi internazionali e 40k€ per prime attività urgenti 2022

ALLEGATI
AL PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE
TRIENNIO 2020-2022

Allegato A: Analisi dei fabbisogni finanziari per il triennio 2020-2022
Allegato B: Glossario, acronimi e siti internet.....

ALLEGATO A

Analisi schematica del fabbisogno finanziario per il triennio 2020-2022

Nella previsione del fabbisogno triennale di 83 milioni di Euro per lo svolgimento delle attività delineate nei capitoli 4 e 5, le più rilevanti voci di spesa riguardano le infrastrutture e l'operatività in Antartide (61,6 milioni di Euro) e il finanziamento della ricerca, inclusi gli osservatori permanenti, i progetti di lungo periodo e la partecipazione ad iniziative internazionali (15,95 milioni di Euro).

La voce ricerca comprende i costi stimati per finanziare le attività dei progetti scientifici e tecnologici selezionati mediante bandi annuali emanati dal MUR per complessivi 13,5 milioni di Euro nel triennio; per il funzionamento e la gestione degli osservatori, è previsto un finanziamento di 1,45 milioni Euro per la prosecuzione delle attività conseguenti al Bando Osservatori emanato nel 2015. Pur non essendo destinata al finanziamento dei gruppi di ricerca, nel programma triennale viene prevista una significativa quantità di risorse (1 milione di Euro) per sostenere i costi relativi agli investimenti e alle attività preparatorie per la partecipazione alle iniziative internazionali di lungo periodo.

La previsione di spesa per il funzionamento e le attività delle infrastrutture in Italia assomma a complessivi 4,75 milioni di Euro. Tale cifra si compone di 1,60 milioni di Euro per il *sorting center*-Museo Nazionale dell'Antartide, divulgazione e formazione, da definire nel dettaglio a seguito della verifica dei reperti e campioni che saranno effettivamente raccolti nel corso delle campagne; di 600 mila Euro per il Sistema SIA e 600 mila Euro per le infrastrutture GIC. Per l'adeguamento delle infrastrutture scientifiche presso le stazioni antartiche viene prevista la cifra di 1,5 milioni di Euro. Per attività educative e di comunicazione sono previsti 150mila Euro, mentre per il sistema di raccolta e diffusione dei dati sono previsti 300 mila Euro.

Per l'operatività in Antartide sono previsti complessivi 61,6 milioni di Euro. Tale voce comprende le spese per il nuovo icebreaker 'Laura Bassi' e il noleggio dei mezzi aerei, per la conduzione e manutenzione delle stazioni Mario Zucchelli e Concordia, le spese di missione e indennità del personale in Antartide. Il costo previsto per la nave comprende ora i costi che prima erano legati al noleggio della nave cargo, fondamentale per il rifornimento delle stazioni e quello che prima si sosteneva per la una nave da ricerca da utilizzare nel Mare di Ross e aree collegate, per l'esecuzione dei progetti selezionati a seguito di apposito bando; in totale ora sono previsti 14,5 milioni di Euro nel triennio. Per i trasporti aerei è prevista una spesa di 13,5 milioni di Euro quasi equamente ripartita nei tre anni. Per la conduzione delle stazioni scientifiche è prevista una spesa complessiva di 12,5 milioni di Euro, ridotta nel 2020 a causa delle limitazioni della campagna 20-21 e ripartita pressoché equamente nei successivi due anni. Per gli adempimenti in Italia connessi con l'organizzazione delle campagne antartiche sono previsti complessivi 4,9 milioni di Euro. Per le missioni e indennità del personale impegnato nelle campagne in Antartide sono previsti complessivi 14,7 milioni di Euro.

Per il funzionamento e la partecipazione alle attività degli organismi nazionali ed internazionali sono previsti complessivamente 700 mila Euro di cui 280 mila Euro, equamente ripartiti nel triennio, per gli organismi nazionali e 280 mila Euro per gli organismi internazionali che riguardano le quote associative annuali a SCAR ed EPB, le spese di missione delle delegazioni nazionali inviate ai meeting annuali dell'EPB, COMNAP e dell'ATCM e a quello biennale dello SCAR.

	2020	2021	2022	Totale
Ricerca	5.300	5.900	4.900	16.100
Bandi per nuove proposte e altre iniziative scientifiche	5.120	5.630	4.630	15.380
Fondo di supporto alla ricerca	180	270	270	720
Infrastrutture di supporto alla ricerca	1.500	1.550	1.550	4.600
Museo Nazionale dell'Antartide (<i>sorting center</i> , formazione e divulgazione)	500	500	500	1.500
Sistema Interlaboratorio Antartico (SIA)	200	200	200	600
Grandi Infrastrutture di Campagna (GIC)	200	200	200	600
Adeguamento infrastrutture scientifiche presso le stazioni antartiche	500	500	500	1.500
Attività educative e di comunicazione	50	50	50	150
Sistema di raccolta e diffusione dei dati	50	100	100	250
Infrastrutture e operatività in Antartide	16.050	22.300	23.300	61.650
Mezzi navali	4.500	4.500	4.500	13.500
Mezzi aerei	2.800	4.700	5.000	12.500
Funzionamento stazione Mario Zucchelli	2.100	2.800	3.000	7.900
Funzionamento stazione Concordia	2.150	3.000	3.000	8.150
Adempimenti in Italia	1.300	1.800	1.800	4.900
Missioni e indennità personale in Antartide	3.200	5.500	6.000	14.700
Organismi nazionali e internazionali	150	250	250	650
Organismi nazionali	55	100	100	255
Organismi internazionali	45	100	100	245
<i>Prime attività urgenti 2021-22-23</i>	50	50	50	150
	23.000	30.000	30.000	83.000

NB. Il fabbisogno evidenziato e dettagliato è di 83 MI di Euro per il triennio 2020-2022, ponendo il fabbisogno per il 2021 a 30 MI di Euro, come 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.

ALLEGATO B

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/eq-abi>

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

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 multi-canale raccolti a sud di 60°S (sdls.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).

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).

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).

CAML: *Census of Antarctic Marine Life*

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.

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.

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

CSNA: Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide, costituita presso il MUR ai sensi del DM 30/09/2010 (www.csna.it).

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

EPB: *European Polar Board*, comitato di esperti dell'*European Science Foundation* (www.esf.org/research-areas/european-polar-board-epb.html). 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. (www.esf.org/index.php?id=855).

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>).

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.

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.

INGV: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

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 a presso la base Concordia (http://astro.fisica.unipg.it/dome_c_news.htm).

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).

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).

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

PAIS: *Past Antarctic Ice Sheet Dynamics* programma internazionale e multidisciplinare, promosso 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

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/>).

Remote Sensing: *Action Group on Remote Sensing* (<http://www.scar.org/ssg/life-sciences/remotesensing/>); contatti: Hans-Ulrich Peter (Hans-Ulrich.Peter@uni-jena.de) e Osama Mustafa (osama.mustafa@think-jena.de).

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 (<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 da estrarre fino ad una profondità di 350 m a Dome C.

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 Spitzbergen (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>).

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 (voce) 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 intende coprire 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.