

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

Programma Nazionale di Ricerche in Antartide



**Programmazione strategica per il
triennio 2017-2019**

A cura della Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide

Roma, 26 luglio 2017

Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide

costituita con Decreto MIUR Prot. 498 del 22 agosto 2011,

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, Via Michele Carcani, 61 - 00153 Roma

presidente@csna.it / segreteria@csna.it

www.csna.it

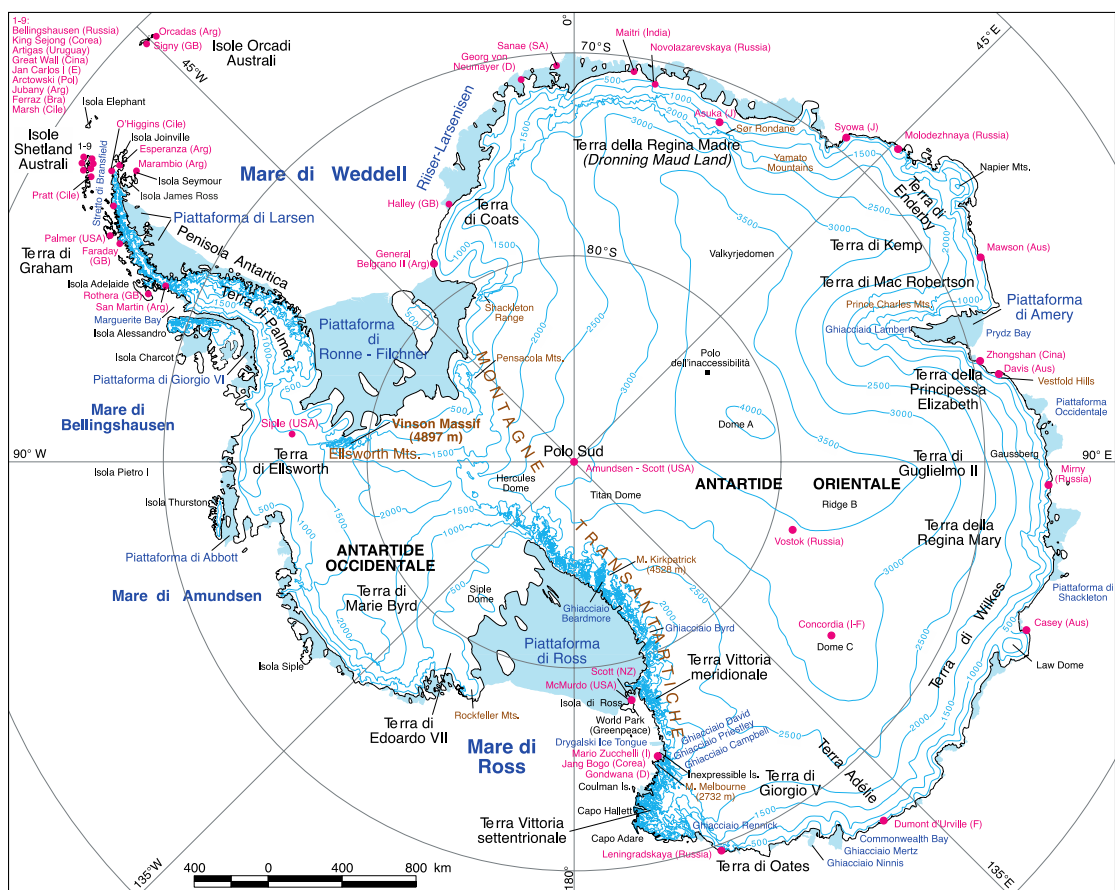
Antonio Meloni (Presidente)	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca	<i>antonio.meloni@ingv.it</i>
Silvano Onofri (Vicepresidente)	Università degli Studi della Toscana	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca	<i>onofri@unitus.it</i>
Vincenzo Di Felice	Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca	<i>vincenzo.difelice@miur.it</i>
Alessandro Scoppettuolo	Ministero della Salute	Ministro della Salute	<i>a.scoppettuolo@sanita.it</i>
Eugenio Sgrò	Ministero degli Affari Esteri	Ministro degli Affari Esteri	<i>eugenio.sgro@esteri.it</i>
Gerardo Capezzuto	Stato Maggiore Difesa	Ministro della Difesa	<i>quarto.log@smd.difesa.it</i>
Carlo Baroni	Università degli Studi di Pisa	Ministro dello Sviluppo Economico	<i>carlo.baroni@unipi.it</i>
Silvano Fares	Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma	Ministro delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali	<i>silvano.fares@crea.gov.it</i>
Silvestro Greco	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare	Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare	<i>silvestrogreco@gmail.com</i>
Giorgio Budillon	Università Parthenope di Napoli	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione della CRUI	<i>giorgio.budillon@uniparthenope.it</i>
Anna Maria Fioretti	Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Padova	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione del CNR	<i>anna.fioretti@igg.cnr.it</i>
Guido Di Donfrancesco	ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Roma	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione dell'ENEA	<i>guido.didonfrancesco@enea.it</i>
Paolo De Bernardis	Università degli Studi di Roma La Sapienza	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione dell'INAF	<i>paolo.debernardis@roma1.infn.it</i>
Emanuele Lodolo	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione dell'OGS	<i>elodolo@ogs.trieste.it</i>
Massimo Pompilio	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Pisa	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione dell'INGV	<i>massimo.pompilio@ingv.it</i>
Giovanni Macelloni	Consiglio Nazionale delle Ricerche, IFAC Firenze	Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca su indicazione del CNR	<i>g.macelloni@ifac.cnr.it</i>

PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE

PNRA - Programmazione strategica per il triennio 2017-2019

Indice

Sommario	5
Premessa	7
1 – Le regioni polari.....	11
2 – Le grandi sfide scientifiche globali, la ricerca polare nei prossimi anni.....	11
2.1 Questioni globali e ricerca polare.....	11
2.2 Le strategie internazionali per la scienza e la logistica in Antartide.....	12
3 – Le linee strategiche del PNRA	13
3.1 Le iniziative internazionali a carattere scientifico.....	13
3.2 Le iniziative a carattere operativo-logistico	15
3.3 Le iniziative verso la costituzione di un'entità polare nazionale.....	18
4 - Le linee scientifiche prioritarie del PNRA per il triennio 2017-2019	18
4.1 La vita in Antartide	18
4.2 La geologia dell'Antartide	21
4.3 Il sistema glaciale antartico e il livello del mare	24
4.4 La definizione dell'impatto globale dell'atmosfera antartica e dell'Oceano Meridionale	28
4.5 L'Universo sopra l'Antartide e lo <i>Space Weather</i>	33
4.6 Riconoscere e mitigare l'influenza umana - l'uomo in Antartide.....	36
5 – Le strategie del PNRA per il triennio 2017-2019	39
5.1 L'innovazione delle priorità scientifiche.....	39
5.2 Sistema degli osservatori permanenti.....	39
5.3 Potenziamento dell'internazionalizzazione	40
5.4 Tipologia delle attività di ricerca	41
5.5 L'innovazione tecnologica.....	42
5.6 Specificità e diversificazione dei bandi pubblici per nuove proposte di ricerca	43
5.7 Il processo meritocratico di valutazione e selezione delle attività di ricerca	43
6 – Infrastrutture di supporto.....	44
6.1 Infrastrutture di supporto e operatività in Antartide	44
6.2 Infrastrutture di supporto alla ricerca in Italia.....	46
7 – Organismi nazionali ed internazionali	47
7.1 Organismi nazionali	47
7.2 Organismi internazionali.....	47
8 – Previsione del fabbisogno finanziario	47
Allegati	49
Allegato A: Linee ed indirizzi per i PEA da attuare nel triennio 2017-2019	51
Allegato B: Glossario, acronimi e siti internet	53



Geografia dell'Antartide (in rosso le stazioni scientifiche)



Colonia di pinguini imperatore

PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE

Programmazione strategica per il triennio 2017-2019

Sommario

Il *Programma Nazionale di Ricerche in Antartide* (PNRA) ha come obiettivo principale quello di condurre una ricerca scientifica di eccellenza in ambito antartico razionalizzando e ottimizzando l'utilizzo delle risorse disponibili. Il PNRA, in particolare, favorirà le ricerche da svolgere nelle stazioni Mario Zucchelli e Concordia, quest'ultima installata e gestita in collaborazione con la Francia, e nell'ambito delle collaborazioni internazionali. Tra queste, il Programma punta alla partecipazione dei ricercatori e tecnici italiani alle iniziative di grande respiro scientifico e/o di rilevante impegno internazionale e al sostegno delle attività di ricerca promosse e condotte in contesti che prevedano l'utilizzo di piattaforme fisse e mobili anche di altri paesi.

Il presente programma triennale, da un lato, si pone in continuità con il precedente (2014-2016), adottandone le principali priorità scientifiche mantenendo gli obiettivi dell'anno 2016, e, dall'altro, tende a favorire lo sviluppo di ricerche innovative e di ampio respiro in contesti di iniziative internazionali, alcune in un orizzonte temporale che guarda al 2020 e oltre. Il piano inizia con l'anno 2017 che vede in attuazione i progetti selezionati dall'ultimo Bando pubblicato dal MIUR nell'aprile 2016. L'esigenza di ridefinire la collocazione e le strategie internazionali del PNRA è posta sia dal nuovo accordo intergovernativo con la Francia, sia dall'istituzione della più grande area marina protetta al mondo nella regione del Mare di Ross. Sono auspicabili una maggiore collaborazione con la Corea, che ha completato la sua stazione Jang Bogo a pochi km da quella italiana Mario Zucchelli, e le conseguenti possibili sinergie che si prospettano per i trasporti marittimi ed aerei. Quanto sopra esposto si pone nell'ottica del processo di rilancio e consolidamento del PNRA, come "eccellenza" scientifica e tecnologica del paese, alla quale concorrono Ministeri, Università, Enti Pubblici di Ricerca e l'imprenditoria nazionale.

Il programma del triennio prevede la realizzazione di spedizioni scientifiche in Antartide, con attività da svolgere presso stazioni scientifiche antartiche italiane e straniere e nell'ambito di campagne oceanografiche di tipo fisico-chimico, biologico-ecologico e geologico-geofisico nell'Oceano Meridionale. Per i possibili e opportuni confronti e correlazioni bi-polari sono previste anche attività nella regione artica.

Il fabbisogno finanziario del PNRA per il triennio 2017-2019 è stimato in complessivi **74 milioni di Euro**.



Stazione italo-francese Concordia sul plateau polare



Pinguini imperatore in marcia

Premessa

Uno dei compiti primari della CSNA (Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide), istituita presso il MIUR 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. Negli ultimi anni la CSNA ha elaborato prima un piano 2012-2104 e poi un piano 2014-2016, che si poneva in continuità con il precedente, adottandone le principali priorità scientifiche, mantenendo gli obiettivi che mostravano possibilità di continuità, e tendente a favorire lo sviluppo di ricerche innovative e di ampio respiro in contesti di iniziative internazionali.

La pubblicazione da parte del MIUR del Bando 2016 (Decreto Direttoriale n. 651 del 5 aprile 2016) che per motivi inerenti alla nomina della nuova CSNA (avvenuta a marzo 2016) ha avuto luogo solo nel mese di aprile 2016, ha comportato che si siano potuti selezionare progetti che hanno avviato attività in Antartide solo a partire dalla seconda metà del 2016. Tra queste attività, in particolare, vanno annoverate le due campagne oceanografica, e geologico/geofisica che hanno avuto luogo nel 2016-17, con le navi *Italica* e *OGS-Explora* e che facevano riferimento alle Linee A3 e A4 del suddetto Bando, e in parte della Linea B.

Per le altre linee del bando 2016, per attività internazionali e per attività da svolgere presso le stazioni Mario Zucchelli e Concordia, i tempi dovuti all'espletamento del processo di selezione delle proposte, hanno consentito alla CSNA di terminare il lavoro di selezione, solo tra la fine del 2016 e il marzo del 2017. Quindi la selezione delle proposte relative alle altre Linee del Bando (A1, A2 e B) ha consentito l'avvio di nuove attività solo dal 2017, che quindi verranno inserite nei PEA (Programmi Esecutivi Annuali) 2017 e successivi.

Gli elementi fondamentali che la CSNA ha utilizzato per le strategie da seguire per questo triennio sono stati diversi. Il nuovo PNR del MIUR 2015-2020, le priorità di *Horizon 2020* (H2020), 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), in particolare con le risultanze dell'analisi delle domande più rilevanti sulla scienza antartica e sull'Oceano Meridionale per le quali si cercherà di trovare risposta nelle prossime decadi (*Antarctic and Southern Ocean Science Horizon Scan*, 2014). Di questo processo sono rimasti elementi in diversi documenti e pubblicazioni, e soprattutto nell'individuazione di 6 Linee che precisano 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) Svelare la storia geologica dell'Antartide;
- d) Comprendere 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.

Gli obiettivi del nuovo PNR del MIUR, uno strumento agile di priorità e coordinamento per il sistema della ricerca e dell'innovazione italiano, ha una proiezione quinquennale ed è stato costruito come documento immediatamente eseguibile. Dopo un'analisi della situazione italiana e del quadro internazionale della ricerca, gli estensori hanno identificato delle aree di specializzazione, per dare priorità alle iniziative di ricerca applicata più promettenti. Sulla base di questa analisi e della classificazione, sono definiti 6 programmi (Internazionalizzazione, Capitale Umano, Infrastrutture di ricerca, Cooperazione pubblico-privato e ricerca industriale, Mezzogiorno, Efficienza e qualità della spesa) e 12 aree di specializzazione: 1. Aerospazio, 2. *Agrifood*, 3. *Cultural Heritage*, 4. *Blue growth*, 5. Chimica verde, 6. Design, creatività e *Made in Italy*, 7. Energia, 8. Fabbrica intelligente, 9. Mobilità sostenibile, 10. Salute, 11. *Smart, Secure and Inclusive Communities*, 12. Tecnologie per gli Ambienti di Vita.

La CSNA ha preso atto anche delle strategie dell'*European Polar Board* (EPB), in particolare del recente '*Report on prioritized objectives in polar research*', e dell'*International Arctic Science Committee* (IASC).

Tra le strategie internazionali del PNRA, come noto, un grande rilievo riveste il recente rinnovo, nel mese di marzo 2017, dell'accordo intergovernativo con la Francia, finalizzato alla cooperazione scientifica in Antartide, accordo che ci proietta verso nuove iniziative e impegni nel prossimo decennio.

L'istituzione della più grande area marina protetta al mondo nella regione del Mare di Ross, grande cinque volte l'Italia, offre al PNRA italiano una occasione unica di rilancio della sua azione di *leadership* in Antartide, in considerazione delle numerose compagne oceanografiche ivi condotte e delle irripetibili serie storiche di dati acquisite dall'Italia attraverso i suoi osservatori permanenti.

Il finanziamento da parte del CIPE, nell'ambito dell'ultima legge di stabilità, della realizzazione dell'aviosuperficie permanente su ghiaia a Boulder Clay nei pressi della stazione Mario Zucchelli 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.

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.

La CSNA ha inoltre riconosciuto nei sette *workshop* organizzati nella conferenza programmatica svoltasi in occasione del trentennale del PNRA (20 e 21 ottobre 2015) presso l'Accademia Nazionale dei Lincei, con la presenza di quasi 300 partecipanti, un momento fondamentale di aggregazione della comunità italiana operante in Antartide. Tali *workshop* hanno visto la comunità scientifica dividersi in gruppi per discutere e far emergere interessi scientifici, collaborazioni internazionali presenti e future, fabbisogni strumentali, tecnologici e logistici per le attività in Antartide. Questi *workshop* hanno posto in evidenza alcuni progetti internazionali già maturi per essere avviati e nei quali la partecipazione italiana potrà essere significativa, se opportunamente sostenuta.

Nell'ambito del programma *Polar Prediction Project* (PPP) particolare rilievo assume lo *Year Of Polar Prediction* (YOPP). Questa iniziativa 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. A tale riguardo, la CSNA supporterà la partecipazione della comunità scientifica italiana.

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 vantaggio della grande esperienza accumulata dai tanti esperti sia scientifici che logistici che le istituzioni hanno fornito al 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 siano elementi indispensabili per la partecipazione a grandi progetti di ricerca. Paesi che non hanno un Istituto Polare, e finanziano la ricerca con bandi non emanati a scadenze predefinite (come ad esempio Italia e Spagna) 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.

Le foto riportate nella presente programmazione strategica per il triennio 2017-2019 sono state scattate da partecipanti alle varie campagne del PNRA, ai quali va un particolare ringraziamento.



Attività di ricerca sul ghiaccio



Stazione italo-francese Concordia vista dall'alto



Stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova, nel Mare di Ross, sullo sfondo il profilo del vulcano Monte Melbourne

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 ed 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.

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 due regioni polari della Terra hanno in comune alte latitudini e clima freddo, ma presentano caratteristiche fisiografiche e climatiche molto differenti. Queste ultime si riflettono nelle forti differenze che caratterizzano gli ecosistemi marini e terrestri, che hanno età, endemicità e capacità di adattamento molto diverse. Proprio per queste differenze, dall'esplorazione e dallo studio comparato ed 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.

In questo quadro è chiaro che lo studio dell'Antartide e dell'Oceano Meridionale e il loro ruolo nel sistema globale della Terra non è mai stato più importante. La regione sta vivendo cambiamenti drammatici che hanno implicazioni globali. L'Antartide rimane un "laboratorio naturale" ineguagliabile per la ricerca scientifica vitale, importante nel suo stesso diritto ad essere preservato e impossibile da raggiungere altrove sul pianeta.

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 ed 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 ed alla contaminazione a livello planetario.

Il contributo della scienza polare è cruciale per la comprensione di come il sistema Terra operi a scala 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.

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 (es. USA, Australia, Corea del Sud), gli organismi internazionali di coordinamento scientifico (SCAR, IASC, EPB)

ed operativo (COMNAP, FARO) hanno avviato processi di analisi e studi tendenti ad 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 ha avviato un processo di consultazione internazionale (*SCAR Horizon Scan*, <http://www.scar.org/horizonscanning/>) in una prospettiva futura di 20 anni. L'EPB, congiuntamente all'*European Marine Board* (EMB), ha avviato un'analisi sul futuro dell'Oceano Artico con orizzonte il 2050. Lo IASC, al fine di promuovere la cooperazione della ricerca nella regione artica, ha identificato le priorità future durante la prossima *International Conference on Arctic Research Planning* (ICARP III) nel 2015. L'ottavo programma quadro della Commissione europea, noto come H2020, per le aree polari ha lanciato l'*European Polar Research Cooperation Call* nel 2014.

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

Il *Committee for Future Science Opportunities in Antarctica and the Southern Ocean*, costituito dalle Accademie Nazionali degli Stati Uniti d'America, ha individuato, nel suo rapporto finale (http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13169) due direttrici fondamentali:

1. La comprensione dei processi del *global change* (*global sea level, global climate system, biota and ecosystems, changing the planet in the past*)
2. La "scoperta" dell'ignoto (*past and future of climate, adaptation of life, interaction between Earth and Space, beginning and evolution of the Universe*)

Il nuovo piano strategico dello SCAR per gli anni 2017-2022 mira a creare un sistema di riferimento efficiente per la ricerca scientifica e la cooperazione internazionale, contribuendo a stabilire una migliore comprensione della natura stessa dell'Antartide, il suo ruolo nel sistema globale, i caratteri ed effetti del cambiamento ambientale e delle conseguenti attività umane. In questo ambito lo SCAR ha stabilito i suoi obiettivi.

Queste linee prioritarie dovranno essere affiancate da iniziative (nazionali ed internazionali) volte allo sviluppo di sistemi osservativi, il *management* e l'integrazione dei dati, la modellistica, la formazione ed il *training* della nuova generazione di ricercatori polari.

Logistica

La ricerca scientifica in Antartide è solo la punta dell'iceberg di un sistema che vede la logistica (la parte sommersa) costituirne il 70/90% dei costi. A spesa invariata, una riduzione del 10-20% dei costi logistici può riverberarsi in un aumento del 30-50% delle risorse per la ricerca. 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, ma 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 30 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).

Il funzionamento delle infrastrutture antartiche impone il noleggio biennale di una nave cargo, il noleggio annuale di mezzi aerei intra- e intercontinentali e il noleggio sulla base di opportunità di idonee navi da ricerca.

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 accordi 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.



Deposito delle carote di ghiaccio presso la stazione Concordia

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, *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 quindi estremamente significativo conoscere quale sia la sensibilità climatica del nostro pianeta in periodi diversi dall'attuale. In particolare, il progetto amplierebbe di molto le informazioni direttamente registrate dalla calotta est-antartica e, soprattutto, consentirebbe di indagare un periodo noto solo attraverso lo studio dei carotaggi di sedimenti marini (tra un milione e mezzo e ottocentomila anni fa), nel corso del quale la ciclicità tra fasi glaciali e interglaciali sarebbe passata da 40 mila a 100 mila anni, caratterizzando i cicli glaciali avvenuti negli ultimi 800 mila anni. 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 potrà quindi essere portato avanti 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. Inoltre, nell'area fra South Pole e Dome C si prevede di svolgere rilievi geofisici e di prelevare carote di ghiaccio poco profonde per la valutazione dell'accumulo nevoso, anche nel contesto della traversa internazionale (*East Antarctic International Ice Sheet Traverse*) approvata da Francia ed Italia (PNRA-2016, Progetto EISSAT) e che dovrebbe coinvolgere anche USA e Australia. Il contributo italiano ai costi per le operazioni di esplorazione preliminare nel periodo 2018-2020 è stimato essere dell'ordine di 2 milioni di Euro.

IODP (*International Ocean Discovery Program*) <http://www.iodp.org/> è un programma internazionale di perforazione profonda (circa 1000 metri sotto al fondo del mare) degli oceani, che continua da oltre 50 anni, mirato al recupero di carote di rocce e sedimenti, per studiare l'evoluzione geologica e climatica del Pianeta Terra. Le linee guida dell'IODP sono illustrate nello Science Plan 2013-2023 *Illuminating Earth's Past, Present, and Future*.

Tra il 2018 e il 2020, sono previste perforazioni IODP nell'Oceano Meridionale, nel Mare di Ross (*Exp. 374*), nell'Amundsen Sea (*Exp. 379*), nel Mare di Scozia (*Exp. 382*, Iceberg Alley e South Falkland Slope Drift), lungo la costa del *George V Land* (*Exp. 373*) e sul margine della Penisola Antartica (*Prop. 732*). Le cinque perforazioni IODP si prefiggono di raccogliere carote di sedimenti per ricostruire l'evoluzione paleoclimatica e paleoceanografica di cinque zone 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 (PNRA) e prevedono la collaborazione 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. Nel triennio 2014-2016 sono state effettuate campagne coreane, italiane, americane, australiane, tedesche e inglesi per l'acquisizione di ulteriori dati geofisici e geologici a supporto di queste e di altre proposte di perforazioni IODP in Antartide.

La condizione indispensabile per consentire la partecipazione di ricercatori italiani ai *Legs* di perforazione IODP è che venga mantenuta la 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. Ad 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 di 10-15 milioni di euro per ciascun *Leg*. Il contributo italiano (a parte la quota connessa con l'adesione nazionale ad ECORD) per lo studio dei campioni e dei dati raccolti nelle campagne di perforazione è dell'ordine di 2 milioni di Euro nel triennio 2017-2020 dedicati a campagne di *site survey* e studio dei materiali esistenti.

Nella precedente programmazione strategica per il triennio 2014-2016 erano previste due iniziative internazionali di medio-lungo periodo denominate QUBIC e ANDRILL, rispettivamente per lo studio dell'Universo primordiale tramite misure di precisione del fondo cosmico di microonde (QUBIC) e per il recupero di *record* stratigrafici dal margine antartico mediante perforazioni del fondo del mare utilizzando le piattaforme di ghiaccio per sostenere gli impianti (ANDRILL). Per differenti ragioni, la prima iniziativa è stata rilocata sulle Ande Argentine mentre la seconda è stata sospesa fino a data da definire.

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:

- AAA - *Astronomy and Astrophysics from Antarctica*;
- AntEco - *State of the Antarctic Ecosystems*;
- AnT-ERA - *AnTartctic Ecosystem Resilience and Adaptation*;
- AntClim²¹ - *Antarctic Climate Change in the 21st Century*;
- PAIS - *Past Antarctic Ice Sheet Dynamics*;
- SERCE - *Solid Earth Responses and influences on Cryosphere Evolution*.

3.2 Le iniziative a carattere operativo-logistico

Diverse sono le iniziative auspicabili per allargare e/o consolidare le collaborazioni con altri paesi sia per via di accordi sia su specifici progetti multilaterali:

- 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, successivamente Cina, Australia e Francia;
- fra programmi/istituzioni di altri paesi (Corea del Sud, USA, Germania) per l'utilizzo comune dell'aviosuperficie *ground-based* nell'area di Baia Terra Nova a Boulder Clay ora in fase di realizzazione 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.

Stazioni in Antartide (Mario Zucchelli e Concordia):

- 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 e ristrutturazione delle stazioni.



Nave OGS Explora con mare Forza 8

Il costo per gli interventi di riqualificazione della stazione Mario Zucchelli e di manutenzione straordinaria è stimato essere dell'ordine di 3,0 milioni di Euro per questi tre anni, di cui 1,2 milioni di Euro per la riqualificazione energetica delle stazioni e 1,8 milioni di euro per ristrutturazioni e ampliamenti.

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

Trasporti marittimi:

- definizione della strategia per il prossimo decennio e oltre che porti ad identificare una nave di classe ghiaccio 1A super che risponda alle specifiche tecniche richieste dal dover operare come cargo e come piattaforma scientifica in sicurezza in aree ghiacciate come il Mare di Ross;
- nel triennio è da prevedere il noleggio di una nave con capacità cargo, ad anni alterni per il rifornimento della stazione Mario Zucchelli; uso e costi di tale piattaforma potranno eventualmente essere condivisi con altri paesi. Soprattutto preme ricordare qui che l'istituzione della Area Marina Protetta nella regione del Mare di Ross rende ancor più necessario l'uso di una piattaforma da ricerca nazionale, in questa area;

Trasporti aerei intercontinentali:

- definizione della strategia per il prossimo decennio e oltre, anche a seguire la ormai avviata realizzazione di una aviosuperficie permanente in prossimità della stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova, il cui valore è non solo funzionale al PNRA, ma anche strategico per sviluppare le sinergie con i programmi polari americano, coreano, francese, tedesco e neo zelandese ed i cui costi sono stimati essere dell'ordine di 6,5 milioni di Euro di cui 5,2 finanziati da un intervento specifico del CIPE.



Aereo intercontinentale in atterraggio sul ghiaccio marino prospiciente la stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova



Un momento della ricerca sul substrato roccioso

Grandi Infrastrutture di Campagna e Sistema Interlaboratorio Antartico

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 a 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.

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.

La strategia di lungo periodo dovrebbe realizzarsi attraverso una serie di passaggi intermedi accompagnati e seguiti da attenta analisi e valutazione da parte del MIUR.

Valutazione finale da parte del MIUR ed eventuale "fusione" delle due attività polari in un'unica entità nazionale polare che possa anche comprendere le ricerche nelle altre aree fredde del pianeta.

4. Le linee scientifiche prioritarie del PNRA per il triennio 2017-2019

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 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.

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.

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.

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 quasi 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.

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.



Pinguini di Adelia a passeggio a Baia Terra Nova

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, 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.

Prospettiva bipolare

La prospettiva bipolare è da considerarsi progettualmente strategica, soprattutto negli aspetti che riguardano la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulle comunità biologiche 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*) fornisce 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".

Priorità per la biologia antartica

- 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
- Organismi antartici come modelli per studi fisiologici
- Ecosistemi antartici come modelli per lo studio dei limiti e della possibilità di vita su altri pianeti

Ambito internazionale (SCAR)

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*:

- Ant-ERA - *Antarctic Thresholds-Ecosystem Resilience and Adaptation*;
- Ant-ECO - *State of the Antarctic Ecosystem*;
- ABI - *Antarctic Biodiversity Informatics*;
- AntClim²¹ - *Antarctic Climate Change in the 21st Century*;
- EG-BAMM: *Expert Group on Birds and Marine Mammals*;
- EG-ABI: *Expert Group on Antarctic Biodiversity Informatics*;
- ANTOS: *Expert Group on Antarctic Near-shore and Terrestrial Observing System*;
- BEPSII: *Action Group on Biogeochemical Exchange Processes at the Sea-Ice Interfaces*;
- Biodiversity.aq: *Antarctic Biodiversity portal & SCAR thematic node for OBIS (Ocean Biogeographic Information System) & GBIF (Global Biodiversity Information Facility)*;
- SO-CPR: *The Antarctic/Southern Ocean branch of the Continuous Plankton Recorder*;
- ISSA: *Action Group on Integrated Science for the Sub-Antarctic*;
- JEGHBM: *Joint Expert Group on Human Biology and Medicine*;
- Remote Sensing: *Action Group on Remote Sensing*.

4.2 La geologia dell'Antartide

Le regioni polari sono ambienti geodinamici dove è possibile osservare in maniera integrata 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, in particolare anche tenendo conto dell'*Horizon Scan* promosso dallo SCAR nel 2014 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.

Struttura e dinamica della litosfera

Struttura della litosfera

Una delle problematiche di interesse internazionale e ancora ampiamente discussa riguarda la natura e la morfologia del *bedrock* subglaciale e la struttura fisica della litosfera e del mantello sub-litosferico. Allo stato attuale, sia le caratteristiche geologiche sia la natura del *bedrock* dell'Antartide sono ancora largamente sconosciute. La sua conoscenza diretta rappresenta la base fondamentale per l'interpretazione dei dati geofisici.

In questo contesto 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 ciò che riguarda 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; iii) evoluzione nel tempo del gradiente geotermico e iv) natura fisica anche attraverso informazioni dirette provenienti da xenoliti.

Per quanto riguarda il *bedrock* subglaciale la determinazione della morfologia, così come lo studio delle condizioni fisiche del ghiaccio all'interfaccia ghiaccio-roccia, sono necessari per ricostruire il

reticolo idrografico al di sotto della calotta glaciale e per comprendere come questo influenza la dinamica della calotta.



Il promontorio su cui sorge la stazione Mario Zucchelli in condizioni di assenza di ghiaccio marino

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 settentrionale, 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 intrapacca 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 non sono solo di interesse per il bilancio di massa della *East-Antarctic Ice Sheet* (EAIS), ma anche per quanto riguarda gli studi per l'individuazione di siti dove perforare il record di ghiaccio di 1.5 milioni di anni, e per la ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica dell'intero continente.

Anche in questo caso si ritiene fondamentale combinare le osservazioni geologiche e geofisiche e la modellizzazione per definire i processi in atto e fornire strumenti per l'evoluzione futura. In quest'ottica sono rilevanti: 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 modellizzazione della variazione del livello del mare, (v) la raccolta di dati di flusso di calore.

Sono altrettanto importanti le informazioni sulla dinamica glaciale più antica desumibili dai sedimenti glaciali di diversa età e attraverso lo studio combinato di esumazione e sedimentazione in bacini alimentati da sedimenti cronologicamente vincolabili.

In questo contesto sarebbe importante lo studio geologico-statigrafico di successioni di sedimenti da recuperare tramite perforazioni nell'ambito di collaborazioni internazionali. Qui si inserisce anche il progetto di perforazione del programma IODP nel settore orientale del Mare di Ross, presentato congiuntamente da ricercatori italiani e neozelandesi, che verrà effettuato nei primi mesi del 2018.

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 sulla 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 dei rilievi morfologici in grado di esercitare condizionare 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 crostali, e ripetuti cicli di carico e scarico possono generare riscaldamento nel mantello aumentando la produttività di magmi.

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 si sta approntando un *dataset* geologico a 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 prioritari: (1) la raccolta delle pubblicazioni esistenti di cartografia geologica, geomorfologica, magnetica, gravimetrica, flusso di calore, quota e morfologia del *bedrock*, laghi subglaciali, (2) la raccolta dei dati di terreno, non ancora 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. Infatti, dopo l'uscita di scena delle due navi Italica ed OGS Explora, che negli anni passati avevano assicurato le attività scientifiche PNRA in ambito antartico (e artico), si tratterà di mettere in campo una strategia comune per dotarsi nuovamente di una nave che sia magari in grado di svolgere sia la parte legata alle attività di rifornimento della stazione Mario Zucchelli, sia a quella scientifica e di raccolta dati.

4.3 Il sistema glaciale antartico e il livello del mare

Il complesso sistema glaciale antartico trattiene un'enorme quantità di acqua allo stato solido che, se rilasciata, sarebbe in grado di indurre un innalzamento significativo del livello del mare, anche considerando scenari di fusione limitata nel breve-medio termine. Tutte le proiezioni che considerano la contrazione delle calotte antartiche prevedono conseguenze potenzialmente drammatiche sulle popolose comunità costiere entro pochi decenni. La stabilità del sistema glaciale è in discussione e i ghiacciai antartici e subantartici hanno mostrato di recente un'elevata sensibilità al riscaldamento climatico. Sebbene sia ben nota l'elevata sensibilità della criosfera al riscaldamento atmosferico, ancor più preoccupanti sono le conseguenze della elevata sensibilità delle lingue e delle piattaforme galleggianti alle condizioni di temperatura e salinità lungo le linee di ancoraggio e all'interfaccia acqua-ghiaccio.

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 acqua alla base delle calotte, sia per quanto riguarda la topografia del substrato, le forme del rilievo sepolto, la natura geologica del *bedrock* e le variazioni del gradiente geotermico.

Inoltre, ancora poco chiari sono i dati relativi al bilancio di massa 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 la degradazione del permafrost, soprattutto considerando gli effetti sulle comunità biologiche estremofile 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 e il riscaldamento dell'Oceano Meridionale; 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 sono considerate anche tra le priorità scientifiche della ricerca europea in ambiente polare (Horizon 2020 EU-PolarNet).

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).

L'area limitrofa a Dome C per le sue caratteristiche e le potenzialità logistiche è attualmente la principale candidata per la realizzazione della perforazione Europea nello schema già seguito nel precedente progetto EPICA. Nella stagione 2016-17 sono stati raccolti i dati sia geofisici sia tramite sistemi di perforazione veloce per individuare un sito nell'area di Dome C (Little Dome C, distante 50 km da Concordia Station) idoneo alla raccolta di una carota di ghiaccio che copra un intervallo indisturbato di 1,2 -1,5 milioni di anni.

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

Il quinto rapporto dell'IPCC 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. La traversa EAIIST (*East Antarctic International Ice Sheet Traverse*) in collaborazione con ricercatori francesi, americani e australiani, potrà 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. Questa traversa scientifica è proposta da un consorzio di ricercatori italiani, francesi (con un contributo anche australiano e americano) per esplorare e studiare le 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 traversa dovrebbe aver inizio nel 2019-2020 e svolgersi in due stagioni successive. La traversa, già inserita nel programma triennale 2014-2016, è stata approvata da Francia (IPEV) e Italia (PNRA-2016, Progetto EISSAT) dovrebbe coinvolgere anche USA e Australia e svilupparsi nell'arco di 4 anni.



Distacco di iceberg dal fronte di una lingua glaciale

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. 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 EAIS e la ricostruzione 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 stato messo 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. Infine, una maggiore attenzione dovrebbe essere rivolta ai

sedimenti continentali di origine glaciale, principalmente al fine di ricostruire spazialmente le variazioni delle calotte e per caratterizzare la dinamica passata dei ghiacciai continentali. 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. La modellistica della dinamica delle calotte polari e della dinamica dell'oceano permette di studiare l'impatto dei cambiamenti climatici (durante i precedenti cicli glaciali e oltre), presenti e futuri sulla topografia dell'Antartide. Le osservazioni climatiche in situ come proposte nei punti precedenti, 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 componente della criosfera, in particolare all'emissione di "greenhouse gas (GHG)". 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. Lo studio del permafrost risulta 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 e comprendere quali siano le conseguenze dell'approfondimento dello strato attivo sugli ecosistemi terrestri e marini, 2) individuare la reale estensione del permafrost sottomarino, 3) analizzare la presenza di *talik* (falde acquifere nel *permafrost*) con *brine* ipersaline nella Terra Vittoria che rappresentano il migliore analogo di Marte, e 4) studiare i processi di alterazione dei substrati rocciosi che possono dare un utile contributo alla comprensione della storia della deglaciazione antartica antica.

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-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-South Pole; 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-South Pole); *Beyond EPICA-Oldest Ice*; IODP; IPICS; PAGES2k; il programma bilaterale italo-francese SOLARICE.

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 sua volta i cambiamenti climatici possono influenzare fortemente questi processi e quindi l'intensità del loro impatto sul sistema climatico. Nonostante gli sforzi, volti a migliorare le attuali conoscenze, molti dei processi che avvengono nelle regioni polari e che regolano le variazioni climatiche sono a oggi ancora poco conosciuti. Ad esempio non è del tutto chiaro come le interazioni fra atmosfera, mare e ghiaccio controllino il cambiamento climatico; come le modifiche che avvengono nelle zone polari siano in grado di influenzare il clima alle altre latitudini e in particolare gli oceani e i monsoni tropicali, che sono elementi chiave per il sistema atmosferico globale; come le modificazioni che occorrono nella composizione chimica dell'atmosfera, quali le variazioni della concentrazione dell'ozono ai poli e l'aumento della concentrazione di gas serra, influenzino la circolazione atmosferica e il clima regionale e globale; come, infine, le sensibili variazioni della salinità oceanica a causa dello scioglimento dei ghiacci influenzino la circolazione sia marina che atmosferica e le precipitazioni a scala globale.

Data la complessità dei fenomeni coinvolti e l'interazione fra le varie componenti del sistema climatico terrestre, è di 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 indicate nei programmi scientifici internazionali ed in particolare dell'*Horizon Scan* promosso dallo SCAR nel 2014. 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 studio dello strato di ozono stratosferico ed al suo trend di recupero e di aumento della CO₂ e al loro contributo al cambiamento climatico;
- Studio dei processi che avvengono nella stratosfera e dell'influenza della sua circolazione sui processi meteorologici alle alte e medie latitudini; scambio stratosfera-troposfera: 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 predicibilità nelle regioni polari con particolare riferimento 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;
- 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 e di energia alla superficie;

- Studio del ruolo delle componenti minoritarie dell'atmosfera, (aerosol, vapore acqueo, nubi) e della superficie (albedo), 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 la loro connessione con il cambiamento climatico;
- 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).



Lancio di un pallone per ozonosondaggio

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). Di particolare importanza l'attenzione allo sviluppo di una sinergia e interazione fra le iniziative esistenti a livello nazionale sui due poli, ricordando in particolare le attività già in corso per la regione artica in Groenlandia (stazione di Thule) e alle Svalbard (stazione Dirigibile Italia). A livello internazionale l'interconnessione è già evidenziata da varie iniziative, tra le quali spicca la *Open Science Conference 2018 IASC/SCAR "Where the poles meet"*, che suggella l'importanza scientifica di una visione globale dei fenomeni polari.

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 presso altre stazioni rafforzando le interazioni esistenti. Si raccomanda inoltre di incrementare la raccolta di dati atmosferici in area marina sia da piattaforma mobile che da piattaforma fissa. Sempre per quel che riguarda l'acquisizione dei dati a terra si sosterrà il mantenimento dell'attività di osservatorio per garantire la continuità temporale dei dati raccolti e la promozione dell'installazione di strumentazione innovativa per aumentare il potenziale conoscitivo in situ. In particolare, in accordo con le direttive sull'utilizzo in Antartide degli UAS presentate dal COMNAP UAS-WG (*Unmanned Aerial Systems Working Group*) nel XXXIX ATCM Meeting (*Working Paper 14*), si sosterrà l'utilizzo di tecnologie innovative per misurazioni autonome su terra, aria e mare come ad esempio i RPAV (*Remotely Piloted Aerial vehicles*) strumentati per l'analisi dell'atmosfera e della superficie, o gli AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) per le ricerche oceanografiche su vasta scala. Di grande importanza 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 ricorda l'iniziativa attualmente in corso che prevede la creazione 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; al programma PPP con particolare attenzione allo YOPP. Questa iniziativa 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. 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 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.

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*.

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 mentre le acque di *shelf* mostrano una riduzione della salinità.

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 tridimensionale 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.

La fusione della base dei ghiacciai, causata da incursioni di masse oceaniche sulla piattaforma continentale e dal riscaldamento del mare, influenza il bilancio d'acqua dolce e la stratificazione del mare alle latitudini maggiori, 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 chiaro però se esistono fattori che possono 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 del mare nell'arco di pochi decenni. L'addolcimento delle masse d'acqua, dovuto dalla fusione della base dell'*ice shelf*, potrebbe causare un aumento della copertura del ghiaccio marino.

I cambiamenti della struttura fisica e biogeochimica dell'OM sono già evidenti e ampiamente documentati ma necessitano di ulteriori approfondimenti in quanto non si manifestano in maniera uniforme nelle diverse regioni. Allo stesso modo, i cambiamenti nell'estensione del ghiaccio marino mostrano forti trend a livello regionale: evidenti aumenti nel Mare di Ross e chiare diminuzioni ad ovest della Penisola Antartica. 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.

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 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.

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 stanno 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.

Nello specifico, le tematiche di ricerca e sviluppo da svolgere nel triennio, per quanto possibile anche in una ottica bi-polare, devono tener conto della necessità di:

- approfondire lo studio del ruolo della circolazione termohalina 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;
- potenziare e valorizzare le reti osservative esistenti con l'introduzione di nuovi parametri e sistemi/strumenti di misura anche al fine di 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;
- meglio conoscere i 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 per lo studio della 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.

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 ampia scala e costruire e mantenere serie complete di dati che coprano lunghi intervalli temporali.

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. 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 e le tematiche di ricerca anche in una ottica bipolare.

L'istituzione nel Mare di Ross della più grande area marina protetta del globo impone 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.

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

Metodologie e strumenti

Al fine di portare a compimento queste attività e per confermare un ruolo di *leadership* all'Italia in particolare nel Mare di Ross, si ribadisce la necessità di dotare il PNRA di un idoneo mezzo navale dedicato alle ricerche oceanografiche polari – auspicabilmente capace di operare anche in periodi non tipicamente estivi. Nel contempo occorre aggiornare la dotazione strumentale oceanografica e le infrastrutture marine esistenti (compresi i mezzi minori necessari per le attività costiere presso la stazione Mario Zucchelli) 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*, *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).

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, 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.

Problematiche scientifiche

Le problematiche scientifiche che si possono affrontare in Antartide sono varie. Tuttavia, come è stato evidenziato (ad esempio i Programmi SCAR, come AAA e la visione europea documentata dal programma ARENA) il *plateau* antartico è particolarmente adatto per i programmi scientifici che richiedono un tempo di osservazione lungo in condizioni ambientali stabili, difficilmente ottenibili in altri siti osservativi. Questo è il requisito fondamentale per le osservazioni dell'Universo primordiale attraverso la Radiazione Cosmica nelle Microonde (CMB) in particolare per la misura dei modi-B di polarizzazione, che sono generati dal fondo di onde gravitazionali originatesi durante il periodo di *Cosmic Inflation* e per la misura delle distorsioni spettrali del fondo cosmico stesso, che richiedono una elevatissima stabilità atmosferica.

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, favorisce l'osservazione del Sole, ed in particolare della Corona solare. La Corona è sede dei fenomeni magnetici da cui si originano le particelle energetiche che arrivano sulla Terra e ne influenzano lo spazio circostante (*Space Weather*). Le particelle cariche più abbondanti provenienti dal sole (vento solare) e quelle energetiche (SPE), così come i raggi cosmici galattici, interagiscono con la magnetosfera terrestre, la ionosfera e la parte superiore dell'atmosfera. Queste penetrano, preferenzialmente nelle regioni polari, e trasferiscono energia alla magnetosfera ed alla ionosfera. Questi processi sono molto intensi durante le tempeste magnetiche. Tali fenomeni sono spesso accompagnati da Aurore polari e da disturbi ai sistemi tecnologici.



Cielo sopra la stazione Concordia

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 prossimo alla posizione del polo magnetico. I campi di vista dei due radar ionosferici di Concordia, recentemente installati, rivolti dal polo geomagnetico a due zone aurorali non coperte, completano la rete SuperDARN. Nondimeno sono indispensabili osservazioni effettuate da

diversi punti in modo da poter seguire l'evoluzione spaziale e temporale dei fenomeni che hanno origine da tempeste magnetiche dovute all'arrivo di particelle energetiche dal Sole. Pertanto la rete osservativa costituita dagli osservatori magnetici e da quelli che misurano parametri iono-magnetosferici necessita di 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 QUBIC 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.

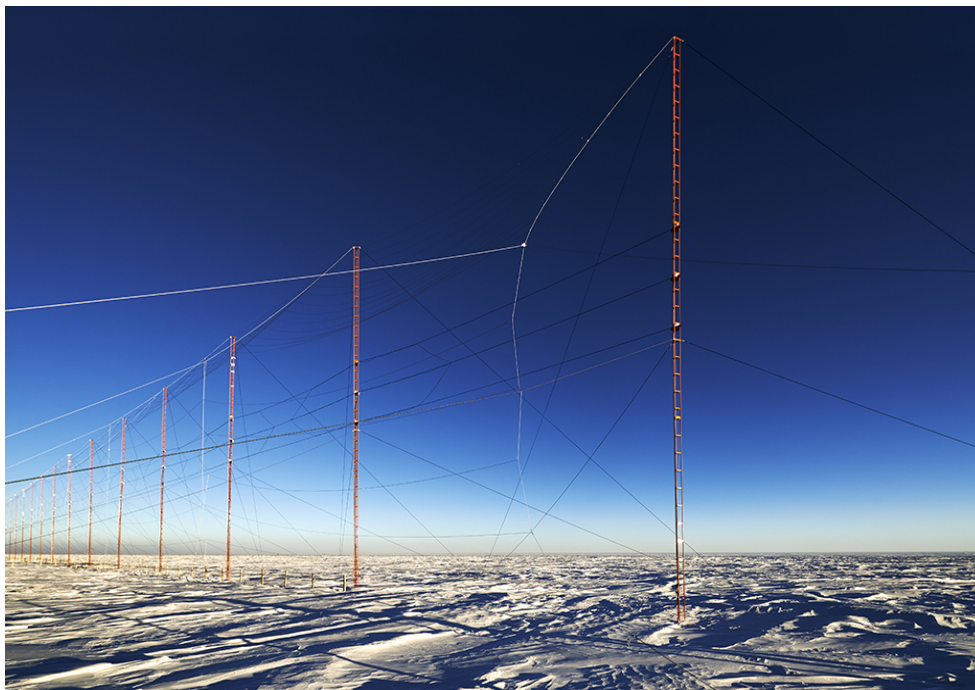
Lo studio delle relazioni Sole-Terra e dello *Space Weather* richiede un sistema integrato di osservatori che siano in grado di monitorare la varia fenomenologia associata all'interazione delle particelle energetiche con il sistema Magnetosfera/Ionosfera/Atmosfera. Le reti di radar ionosferici localizzati 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. 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 utili osservatori aurorali, composti da reti di camere *all-sky*, ionosonde e ricevitori GPS/GNSS, per il monitoraggio delle irregolarità ionosferiche. 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 Argentive) 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.



Rete SuperDARN 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. 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, 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 tenuta ad Auckland (New Zealand), ha enfatizzato la rilevanza dell'impatto umano sulla qualità dell'ambiente antartico ed in generale sugli ambienti polari. 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. 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.



Adamussium colbecki

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.

Temî 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 livelli di contaminazione in diversi comparti ambientali; 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.

b) L'uomo in ambienti estremi

Per quanto riguarda le ricerche in ambito biomedico, gli aspetti conoscitivi riguardano principalmente le informazioni su effetti biologici, psicologici e sociologici. Aspetti legati alla medicina e alla salute riguardano la prevenzione di stati 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 dell'affaticamento muscolare sotto stress; gli effetti del ritmo circadiano e delle sue disregolazioni in funzione della latitudine e dei tempi di 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 Europea hanno analizzato i fattori psicosociali, fisiologici e le tecniche di trattamento, potenzialmente in grado di influenzare la riuscita. Sarebbe opportuno promuovere un cluster di ricerche su queste tematiche, che coniughi gli aspetti di misurazione di parametri fisiologici e psicologici ad ampio spettro per il monitoraggio di biomarcatori della risposta allo stress e predittivi di patologie.

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

- sul ruolo degli ambienti estremi sulla fisiologia e la psicologia dell'individuo;
- 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 dello stato di salute degli equipaggi in missione (terapie).

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

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:

- comprendere l'adattamento psicofisiologico e sociale alle condizioni tipiche delle missioni di lunga durata in Antartide;
- progredire sul cammino della *Evidence Based Medicine*, maggiormente necessaria quando le risorse, pur se tecnologicamente avanzate, sono limitate.

5. Le strategie del PNRA per il triennio 2017-2019

L'obiettivo di questo programma triennale è quello di consolidare la posizione dell'Italia nel panorama internazionale e di partecipare attivamente alle crescenti iniziative scientifiche internazionali che guardano all'orizzonte 2020 ed oltre.

Gli strumenti che questo piano propone di utilizzare sono:

1. l'innovazione delle priorità scientifiche, come descritto nella Sezione 4;
2. il consolidamento e il potenziamento del sistema degli osservatori permanenti;
3. il potenziamento dell'internazionalizzazione;
4. l'innovazione della tipologia delle attività di ricerca;
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.

5.1 L'innovazione delle priorità scientifiche

Per il triennio 2017-2019 vengono mantenute le priorità del programma triennale 2014-2016 la cui attuazione è stata avviata nel corso delle ultime spedizioni in Antartide, in particolare a seguito del Bando 2016. La ricerca seguirà due direttrici, non divergenti, una a carattere *curiosity driven*, l'altra che punta verso l'innovazione e la sperimentazione tecnologica. La prima è prevalentemente orientata verso la comunità scientifica delle università e degli enti, la seconda è aperta anche al contributo del 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.

5.2 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 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 produrre un rapporto annuale e un rapporto finale alla conclusione del quinquennio di attività.

Nel 2015, a seguito di uno specifico bando, è stata confermata per un ulteriore quinquennio un nuovo ciclo di attività presso la stazione Mario Zucchelli a Baia Terra Nova:

- 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);
- Osservatori sismologici permanenti (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 (ENEA);
- Osservatorio di geomagnetismo e elettromagnetismo (INGV);
- Osservatori sismologici permanenti (INGV);
- Osservatorio alta atmosfera (INGV);
- Osservatorio LIDAR (CNR);

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).

È in fase di completamento l'installazione dell'osservatorio di climatologia spaziale (INAF-IAPS) a Concordia.

Nel 2018 la CSNA valuterà il rinnovo biennale degli osservatori permanenti sopra elencati e l'eventuale costituzione di nuovi osservatori permanenti. Per quanto concerne i dati acquisiti e la loro diffusione, dovrà essere realizzato 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);
- *Consorzi/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) e navali in aree polari (esempi: con KOPRI-Corea, BGR e AWI Germania).

Collaborazioni a carattere scientifico

Le tre priorità individuate da H2020 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*.

Lo *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR) ha promosso una serie di programmi a carattere multidisciplinare (AntEco, AnT-ERA, AntClim21, PAIS, AAA) che costituiscono le priorità per la scienza antartica (*SCAR Strategic Plan 2011-2016 Antarctic Science and Policy Advice in a Changing World* - www.scar.org). Analoga iniziativa ha condotto l'European Polar Board in una prospettiva bipolare per favorire la collaborazione europea (*EPB Strategic Position Paper – European Research in the Polar Regions* - www.esf.org).

La possibilità di partecipare ai bandi della Commissione Europea per H2020 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, 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 Tipologia delle attività di ricerca

Al fine di potenziare le collaborazioni scientifiche internazionali le priorità scientifiche nazionali dovranno essere perseguite attraverso tipologie di attività di ricerca innovative e flessibili.

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: ANDRILL, QUBIC, Oldest ICE).

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.

5.5 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, 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; microsensoristica ambientale e tecnologie per l'osservazione dello spazio e lo studio della bassa, media ed 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, MIUR e CSNA comporranno un tavolo di lavoro con la partecipazione delle imprese più significative allo scopo di approfondire le scelte dei settori di indagine.

5.6 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'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) su indicazione della Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (CSNA). I bandi, in continuità con quanto avviato con il bando PNRA 2013, e proseguito con i Bandi 2015 e 2016, 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, quelli relativi ad attività da svolgere in mare saranno emanati a seguito dell'esito di chiamate per espressioni di interesse tese ad indentificare interessi scientifici e fabbisogno di mezzi navali idonei.

Per quanto riguarda le attività presso la stazione Concordia la cadenza del bando è annuale e viene effettuato in maniera coordinata con l'Istituto polare francese (IPEV).

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.

I bandi per la istituzione di nuovi osservatori permanenti vengono pubblicati di norma ogni due anni in concomitanza con la verifica biennale degli osservatori già istituiti (vedi anche capitolo 5.2).

È prevedibile l'emanazione di un bando per lo studio e la valorizzazione di dati e reperti raccolti in precedenti spedizioni.

5.7 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 MIUR (vedi capitolo 5.6), 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 MIUR. 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.

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 70 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 50 persone durante l'estate australe e a 16 persone durante il periodo invernale. Presso la stazione sono installati diversi osservatori permanenti e disponibili laboratori da ricerca e mezzi per spostamenti di superficie.



La firma di Mario Zucchelli, sullo sfondo la stazione a lui dedicata

I mezzi di trasporto e di ricerca

Per il supporto alle basi antartiche è necessario provvedere al noleggio di una **nave cargo** con cadenza biennale. Qualora siano disponibili servizi tecnico-logistici e adeguati laboratori, tale nave potrà essere utilizzata per eventuali campagne di raccolta di dati e campioni nel Mare di Ross. È da

segnalare che la nave *Italica* per più di venti anni noleggiata per la sua specificità dal PNRA, non è ormai più disponibile in quanto non più omologabile per le attività in zona polare.

Per la realizzazione dei progetti di esplorazione geofisica e geologica marina, biologica e ecologica marina e oceanografica fisica e chimica si dovrà ricorrere all'utilizzo di **navi da ricerca** dotate 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 2017-2019 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.

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, 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 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. [AF1]

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 inviate 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, minimizzando quindi il ricorso a ulteriori misure e/o campionature in Antartide. Un gruppo di lavoro *ad hoc*, costituito dal MIUR, ha proposto di realizzare un portale nazionale e una serie di *data center* tematici/disciplinari con l'indicazione del fabbisogno finanziario per il funzionamento dei sistemi per la raccolta e gestione dei metadati e dei dati del PNRA.

I responsabili dei progetti di ricerca finanziati dal PNRA dovranno rendere disponibili ai competenti *data center* i metadati entro sei mesi dalla conclusione delle attività in campagna e i dati entro due anni dalla conclusione del progetto. 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.

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.

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 MIUR
- 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* e *Scientific Council* del progetto franco-italiano Concordia, al fine di armonizzare le attività scientifiche e la conduzione della omonima stazione.

8. Previsione del fabbisogno finanziario

In Antartide l'incidenza dei costi tecnico-logistici ed infrastrutturali 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 74 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 l'operatività in Antartide (57,7 milioni di Euro) e il finanziamento diretto alla ricerca, inclusa la partecipazione ad importanti iniziative internazionali (11,2 milioni di Euro).

La voce "Ricerca" (11,2 milioni di Euro) comprende i costi stimati per finanziare le attività dei progetti scientifici e tecnologici selezionati mediante bandi emanati dal MIUR per complessivi 9 milioni di Euro (secondo le priorità alla sezione 5.1); il funzionamento e la gestione degli osservatori con 550 mila Euro riferiti al biennio 2018-2019; i costi relativi alla prosecuzione degli esperimenti di lungo periodo con 350 mila euro per il biennio 2018-2019; il fondo di supporto alla ricerca per l'anno 2017 di 300 mila Euro; 1 milione di Euro relativo agli investimenti e alle attività preparatorie per la partecipazione alle iniziative internazionali ritenute strategiche per il PNRA (IPICS, IODP), che troveranno attuazione in anni successivi al 2017 (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 4,54 milioni di Euro. Tale cifra si compone di: 1,3 milioni di Euro per le attività di catalogazione e conservazione dei reperti svolte dal Museo Nazionale dell'Antartide; 240 mila euro per le diverse attività di divulgazione; 1,1 milioni di Euro per il sistema GIC e il SIA, relativo agli anni 2017-2019; 500 mila Euro per il sistema di raccolta e di diffusione dei dati; 1,4 milioni di euro per l'adeguamento delle strutture scientifiche in Antartide.

Per le "Infrastrutture e l'operatività in Antartide" sono previsti complessivi 57,7 milioni di Euro. Tale voce comprende le spese per il noleggio dei mezzi navali (9,5 milioni di Euro) e aerei (15,5 milioni di Euro), per la conduzione e manutenzione delle stazioni Mario Zucchelli e Concordia (complessivamente 12,6 milioni di Euro), le spese di missione e indennità del personale in Antartide (12,7 milioni di Euro); le spese da sostenere in Italia per l'organizzazione delle campagne (4,4 milioni di Euro). Sono inoltre comprese spese per la riqualificazione energetica e la manutenzione straordinaria delle stazioni pari a 3 milioni di Euro (vedi Allegato A).

Le spese preventivate per gli "Organismi nazionali ed internazionali" assommano a 560 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.

Tabella – Previsione di fabbisogno finanziario per il triennio 2017-2019 (in migliaia di Euro – kE).

	2017	2018	2019	Totale
Finanziamento delle attività di ricerca Bandi per nuove proposte di ricerca, gestione osservatori permanenti, iniziative internazionali, supporti e accordi	3.700	4.000	3.500	11.200
Infrastrutture di supporto alla ricerca GIC, SIA, raccolta e diffusione dati; divulgazione, <i>sorting centers</i> (MNA), adeguamento strutture scientifiche in Antartide	1.540	1.500	1.500	4.540
Infrastrutture e operatività in Antartide Mezzi aerei e navali, conduzione e manutenzione ordinaria e straordinaria delle stazioni scientifiche, compresa aviopista e personale in Antartide	17.600	18.300	21.800	57.700
Organismi nazionali ed internazionali CSNA, SCAR, EPB, COMNAP, ATCM	160	200	200	560
TOTALE COMPLESSIVO	23.000	24.000	27.000	74.000

La presente previsione dei fabbisogni finanziari non include i costi connessi con le scelte strategiche illustrate nel capitolo 3.2 relative ai trasporti intercontinentali (aerei e marittimi) e la costruzione dell'aviosuperficie nell'area di Baia Terra Nova.

ALLEGATI
AL PROGRAMMA NAZIONALE DI RICERCHE IN ANTARTIDE
TRIENNIO 2017-2019

Allegato A: Analisi dei fabbisogni finanziari per il triennio 2017-2019.....	51
Allegato B: Glossario, acronimi e siti internet.....	53

Analisi schematica del fabbisogno finanziario per il triennio 2017-2019

Nella previsione del fabbisogno triennale di 74 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 (57,7 milioni di Euro) e il finanziamento della ricerca, inclusi gli osservatori permanenti, i progetti di lungo periodo e la partecipazione ad iniziative internazionali (11,2 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 MIUR per complessivi 9 milioni di Euro nel triennio; per il funzionamento e la gestione degli osservatori, è previsto un finanziamento di 500 mila Euro riferito al 2018 e 400 mila al 2019 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 4,54 milioni di Euro. Tale cifra si compone di 1,54 milioni di Euro per il *sorting center*-Museo Nazionale dell'Antartide e divulgazione, da definire nel dettaglio a seguito della verifica dei reperti e campioni che saranno effettivamente raccolti nel corso delle campagne; di 550 mila Euro per il Sistema SIA e 550 mila Euro per le infrastrutture GIC. Per l'adeguamento delle infrastrutture scientifiche presso le stazioni antartiche viene prevista la cifra di 1,4 milioni di Euro mentre per il sistema di raccolta e diffusione dei dati sono previsti 500 mila Euro.

Per l'operatività in Antartide sono previsti complessivi 57,7 milioni di Euro. Tale voce comprende le spese per il noleggio dei mezzi navali e aerei, per la conduzione e manutenzione delle stazioni Mario Zucchelli e Concordia, le spese di missione e indennità del personale in Antartide. Il noleggio della nave cargo, fondamentale per il rifornimento delle stazioni, è previsto nel triennio per il 2018 con un impegno di 4,5 milioni di Euro. Per il noleggio di una nave da ricerca da utilizzare nel Mare di Ross per l'esecuzione dei progetti selezionati a seguito di apposito bando sono previsti 5 milioni di Euro nel 2019. Per i trasporti aerei è prevista una spesa di 15,5 milioni di Euro quasi equamente ripartita nei tre anni. Per la conduzione delle stazioni scientifiche è prevista una spesa complessiva di 12,6 milioni di Euro, ripartita pressoché equamente nei tre anni. Per gli adempimenti in Italia connessi con l'organizzazione delle campagne antartiche sono previsti complessivi 4,4 milioni di Euro. Per le missioni e indennità del personale impegnato nelle campagne in Antartide sono previsti complessivi 12,7 milioni di Euro, maggiormente finanziati nel 2017. Per la manutenzione straordinaria delle stazioni sono previsti per gli anni 2018 e 2019 complessivamente 3 milioni di Euro.

Per il funzionamento e la partecipazione alle attività degli organismi nazionali ed internazionali sono previsti complessivamente 560 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 che nel triennio in oggetto si svolgerà nel 2018 a Davos in Svizzera.

	2017	2018	2019	Totale
Ricerca	3.700	4.000	3.500	11.200
Bandi per nuove proposte e altre iniziative scientifiche	3.100	3.100	2.800	9.000
Supporto alla ricerca e osservatori permanenti	300	500	400	1.200
Iniziative internazionali di lungo periodo	300	400	300	1.000
Infrastrutture di supporto alla ricerca	1.540	1.500	1.500	4.540
Sorting Center (Museo Nazionale dell'Antartide) e divulgazione	500	470	570	1.540
Sistema Interlaboratorio Antartico (SIA)	150	200	200	550
Grandi Infrastrutture di Campagna (GIC)	150	200	200	550
Adeguamento infrastrutture scientifiche presso le stazioni antartiche	500	500	400	1.400
Sistema di raccolta e diffusione dei dati	240	130	130	500
Infrastrutture e operatività in Antartide	17.600	18.300	21.800	57.700
Mezzi navali	0	4.500	5.000	9.500
Mezzi aerei	5.300	4.700	5.500	15.500
Funzionamento stazione Mario Zucchelli	2.600	2.000	1.800	6.400
Funzionamento stazione Concordia	2.500	1.900	1.800	6.200
Adempimenti in Italia	1.900	1.100	1.400	4.400
Manutenzione straordinaria delle stazioni	0	500	2.500	3.000
Missioni e indennità personale in Antartide	5.300	3.600	3.800	12.700
Organismi nazionali e internazionali	160	200	200	560
Organismi nazionali	80	100	100	280
Organismi internazionali	80	100	100	280
	23.000	24.000	27.000	74.000

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/eg-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.ogs.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 MIUR 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'Istruzione, 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).

Super-DARN: *Super Dual Auroral Radar Network*, radar da installare presso la base di Concordia, parte di un network internazionale di radar per lo studio dell'alta atmosfera e della climatologia spaziale (<http://superdarn.jhuapl.edu/>).

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

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

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

WAIS: *West-Antarctic Ice Sheet*

WISSARD: *Whillans Ice Stream Subglacial Access Research Drilling*, progetto internazionale finalizzato all'esplorazione di sistemi di acque subglaciali sul margine del *West Antarctic Ice Sheet*. Il progetto utilizza una varietà di strumenti, come radar e attrezzatura sismica, e tecniche specifiche per esplorare il Lago subglaciale Whillans e la regione circostante lungo il margine sudorientale del Mare di Ross, delineando un profilo di acqua, sedimenti e rocce sotto il ghiaccio il cui movimento viene accuratamente monitorato tramite stazioni GPS.

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

YOPP: *Year Of Polar Prediction*, iniziativa che 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.