PROGRAMMA NAZIONALE DI ESPLORAZIONE

Art.10, DL n. 84/2024

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Il presente documento è stato redatto con il contributo di un apposito GdL coordinato da ISPRA e costituito da ricercatori esperti in esplorazione mineraria, giacimenti minerari e materie prime critiche e strategiche.

Con l'obiettivo di rispettare la scadenza per la presentazione del Programma Nazionale di Esplorazione alla Commissione Europea, si auspica un dialogo efficiente con i Ministeri di riferimento, con le Regioni/PA, con gli altri Servizi Geologici Nazionali e con i membri del Subgroup Exploration del CRM Board, finalizzato ad apportare miglioramenti al Programma descritto in questo documento.

Sommario

PROGRAMMA NAZIONALE DI ESPLORAZIONE 8
1 – INTRODUZIONE 8
2 – IL PROGRAMMA DI ESPLORAZIONE NAZIONALE, OBIETTIVI 9
2.1 Esplorazione di base e esplorazione operativa 12
2.2 Importanza strategica dell'esplorazione mineraria per la sicurezza nazionale – le materie prime critiche (MPC) 13
3 - LA SITUAZIONE MINERARIA ITALIANA 15
3.1 Il contesto geo-giacimentologico del territorio italiano 15
3.2 Le miniere in Italia 18
3.2 I rifiuti estrattivi 24
3.3 La ricerca mineraria in aree marine (DL 84/2024, art. 3, comma 8) 27
4 – ACQUISIZIONE E GESTIONE DEI DATI 30
4.1 – Acquisizione ed elaborazione dei dati 30
4.2 La gestione dei dati: Il database minerario nazionale 34
5 - ORGANIZZAZIONE DEL PROGRAMMA 43
6 - PROGRAMMA NAZIONALE DI ESPLORAZIONE - AREE/TEMI DI INDAGINE 49
6.1 Potenziali Giacimenti Primari 49
6.2 Depositi di rifiuti estrattivi 52
AREE DI INDAGINE DI FASE 1 56
1) MINERALIZZAZIONI A FLUORITE (± BARITE ± TERRE RARE) DELLE ALPI MERIDIONALI CENTRO-ORIENTALI 56
2) METALLI DEL GRUPPO DEL PLATINO (OS, IR, RU, RH, PT, PD) NEL PIEMONTE ORIENTALE 61
3) DISTRETTI MINERARI A RAME E MANGANESE DELLA LIGURIA ORIENTALE 67
4) PROGETTO GRAFITE: CALABRIA, PIEMONTE, LIGURIA 75
5) RISORSE NON CONVENZIONALI DI LITIO IN ITALIA (TOSCANA, LAZIO, CAMPANIA, EMILIA ROMAGNA, MARCHE, PIEMONTE, LOMBARDIA, TRENTINO ALTO ADIGE) 83
6) DISTRETTO ANTIMONIFERO MAREMMANO (TOSCANA) 92
7) GIACIMENTI DI MAGNESITE DELLA TOSCANA CENTRALE 98
8) MINERALIZZAZIONI A FLUORITE (TERRE RARE ± BARITE) DELLA PROVINCIA COMAGMATICA ROMANA 104
9) MINERALI INDUSTRIALI ED ELEMENTI CRITICI NELLE ROCCE VULCANICHE QUATERNARIE DELLA REGIONE CAMPANIA 110
10) FELDSPATO, TERRE RARE E MINERALI INDUSTRIALI NELLE ROCCE DEL MAGMATISMO ACIDO DELLA SARDEGNA 117
11) MINERALIZZAZIONI A SOLFURI MISTI (CU-PB-ZN ± AG), A W E A TERRE RARE E TI DEL DISTRETTO DI FUNTANA RAMINOSA (SARDEGNA CENTRALE) 123

12) MINERALIZZAZIONI IDROTERMALI A FLUORITE-BARITE E TERRE RARE, CENTRO-SUD SARDEGNA. 130

13) MINERALIZZAZIONI A TUNGSTENO (STAGNO, ARSENICO, BISMUTO, MOLIBDENO) LEGATE AI GRANITI, SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE. 140

14) MINERALIZZAZIONI A RAME, MOLIBDENO E ORO DELLA "SOGLIA DI SILIQUA" E DELLA VALLE DEL CIXERRI, SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE. 149

7 – PROGRAMMA NAZIONALE DI ESPLORAZIONE – PIANO DI MONITORAGGIO 156

8 –PIANO DELLA FORMAZIONE 158

9 – L'IMPORTANZA DELLA DISSEMINAZIONE: IL PIANO DELLA COMUNICAZIONE 161

10 – PIANO DI COINVOLGIMENTO DEGLI STAKEHOLDERS (PCS) 164

Figura 1 - Schema delle principali unità paleogeografiche o strutturali citate nel testo (Doglioni & Floris, 1997) 18
Figura 2- Siti minerari attivi sul territorio nazionale nel periodo 1870-2023 per tipo di minerale estratto 19
Figura 3 - Siti di estrazione di Materie Prime Critiche nel periodo 1870-2023 21
Figura 4 -Corpi Minerari noti sul territorio italiano, i simboli sono proporzionati alle dimensioni dei corpi allora conosciute (Carta Mineraria d'Italia, 1973) 22
Figura 5 - Mappa delle aree nazionali con le maggiori potenzialità di Materie Prime Critiche, desunte sulla base dell'insieme dei dati pregressi. 23
Figura 6 - Siti minerari con presenza di depositi di rifiuti estrattivi pericolosi per l'ambiente (ISPRA 2024) 26
Figura 7 - Miniera di Pb-Zn-Ag di Montevecchio Ponente (Sardegna). presenza di 130 discariche per circa 3 milioni di mc di materiale, dati analitici disponibili solo per i primi 30cm di suolo 26
Figura 8a - Siti dei campionamenti di sabbie marine costiere e seamount realizzati nel corso del progetto RIMIN 28
Figura 8b - Sintesi dei risultati degli studi effettuati nel corso del progetto RIMIN 29
Figura 9 - Home page del Database GeMMA 35
Figura 10 - Cronoprogramma delle attività di Fase 1 48
Figura 11 - Localizzazione delle aree/temi di studio 55
Figura 12 - Localizzazione dei siti di indagine della Alpi meridionali sulla carta giacimentologica 57
Figura 13 - Mappa geologica semplificata della Zona Ivrea-Verbano, con la localizzazione del complesso di Finero e delle intrusioni ultramafiche arricchite in solfuri di Ni-Fe-Cu-PGE. Sigle: F: complesso di Finero; CM, Campello Monti; LB-AG, La Balma-Monte Capio/Alpe Laghetto, VM, Valmaggia; SB, Sella Bassa, FD, Fej di Doccio; BdO: Bec d'Ovaga; CdG, Castello di Gavala; PF, Piancone la Frera. Colori - verde scuro: rocce mafiche (complesso mafico Ivrea-Verbano ed anfiboliti basamento); nero: rocce ultramafiche; giallo scuro: basamento sudalpino (crosta profonda) in facies granuliti; giallo pallido: basamento sudalpino (crosta profonda) in facies afiboliti; livelli azzurri: marmi; grigio pallido: basamento sudalpino in facies scisti verdi (Zona Strona Ceneri). 62
Figura 14 - Mappa geologica semplificata del complesso di Finero, Ivrea Verbano. Il nucleo (in verde scuro), costituito da peridotite a flogopite, presenta numerosi corpi cromititici arricchiti in PGM. 63
Figura 15 - Carta geologica della Liguria orientale , con la localizzazione delle principali miniere abbandonate di manganese e rame. Il riquadro indica l'area di maggiore interesse per rame. 69
Figura 16 - Geologia dell'area di Monterosso Calabro 76
Figura 17 - Campioni mineralizzati a grafite (Monterosso Calabro) 76
Figura 18 - Geologia dell'area della Val Chisone e Val Germanasca 78
Figura 19 - Mineralizzazioni a grafite 78
Figura 20 - Concentrazione di litio nei fluidi geotermici (Target 1) e termali (Target 2) italiani 84
Figura 21 - Schema tettonico d'Italia con indicati i target per litio. 85
Figura 22 - Roccia granitica contenente minerali di litio (Toscana) 87
Figura 23 - Localizzazione delle mineralizzazioni antimonifere del Distretto maremmano, Toscana. Sono stati indicati i nomi delle località dove, in passato, sono state condotte attività estrattive 93

Figura 24 – Carta geologica schematica con indicata la distribuzione delle mineralizzazioni antimonifere del Distretto Maremmano (cerchi grigi; 1: Tafone, 2: Macchia Casella). I cerchi rossi indicano le mineralizzazioni mercurifere della zona del Monte Amiata.....94
Figura 25 - Localizzazione delle mineralizzazioni a magnesite ospitate in rocce serpentinitiche della Toscana centrale.....99
Figura 26 – Sezione interpretativa di uno dei filoni di magnesite coltivati nella miniera di Castiglioncello..... 100
Figura 27 - Sketch geologico della Provincia Comagmatica Romana (Parlapiano F., in fase di sottomissione), con la distribuzione areale delle fluorititi; 1 – Lago di Mezzano; 2 – Santa Maria di Sala (e Acquaforte); 3 – Pian Aùta; 4 – Castel Giuliano; 5 – Pianciano; 6 – Cornazzano; 7 – Farnesina; 8 – Monte delle Fate; 9 – Pian della Carlotta; For – Forcinelle; Fic – Ficoreto. 105
Figura 28 – Sketch degli affioramenti dell'ignimbrite Campana e del Tufo giallo. 112
Figura 29 – Esempi di fronti di cava e affioramenti di tufo e ignimbrite..... 113
Figura 30 - Aree principali, oggetto di valutazione preliminare per feldspati, bentoniti, zeoliti, terre rare entro le rocce del magmatismo acido Ordoviciano, Ercinico e Cenozoico (Carta litologica da SardegnaMappe, https://www.sardegnageoportale.it) 119
Figura 31 - Localizzazione delle principali mineralizzazioni del distretto di Funtana Raminosa 124
Figura 32 - Principali cantieri nel settore di Funtana Raminosa 124
Figura 33 - Distribuzione regionale delle principali mineralizzazioni a fluorite-barite in Sardegna. 1. Tzurufusu; 2. Santa Lucia; 3. Perda S'Oliu; 4 Su Zurfuru; 5. Perda Niedda; 6. Mont'Ega; 7. Sa Galanza; 8. Monreale; 9. S'Ortu Becciu; 10. Burcei; 11. Monte Genis; 12. S'Arcu Mannu; 13. Monte Narba; 14 Is Crabus; 15. Su Leonaxi; 16. Bruncu Molentinu; 17. Bruncu Vintura; 18. Silius; 19. Bruncu Mannu; 20. Castel Medusa; 21. Goene; 22. Correboi; 23. Guzzurra; 24. Valle del Posada; 25. Su Laccheddu..... 132
Figura 34 - Principali mineralizzazioni a fluorite-barite del Sarrabus..... 133
Figura 35 - Geometria della mineralizzazione di Forru Iscrappeddu, campo filoniano di Castel Medusa..... 134
Figura 36 - Settore di Santa Lucia (Fluminimaggiore). 135
Figura 37 – Area di Nuxis-Acquacadda, Sardegna sud-ovest, a) perimetrazione dell'area di indagine; b) le principali zone mineralizzate; in c) mappa litologica dell'area di indagine e delle zone limitrofe, in cui sono osservabili le relazioni tra graniti e calcari nei depositi tipo skarn a tungsteno-arsenico. In evidenza, nella stessa area, la presenza di mineralizzazioni (karst e idrotermali) a barite. 142
Figura 38 – Lavori minerari presso la miniera di San Pietro (a) e la ricerca di Sinibidraxiu (b) .. 142
Figura 39 – Mineralizzazioni a Tungsteno nel settore del Monte Linas 143
Figura 38a. Illustrazioni relative alle miniere di San Pietro (a) e Sinibidraxiu (b) in Sardegna. Alle due sezioni delle miniere sono stati sovrapposti in colorazione rossa due triangoli con angolo inferiore di 120° per rappresentare la porzione della collina che è possibile ispezionare con una singola misura con un apparato muografico installato in corrispondenza del vertice in basso del triangolo..... 146
Figura 40 - Area di interesse per le esplorazioni. Riquadro azzurro: settore di Vallermosa-Siliqua precedentemente investigato da Progemisa SpA; riquadro rosso: area proposta per un airborne survey nell'ambito del Programma Nazionale di Esplorazione. Formazioni geologiche all'interno dell'area proposta: 1. Depositi continentali recenti e attuali. Quaternario. 9. Vulcaniti: lave quarzo-andesitico-tonalitico-dacitiche in corpi ipoabissali con diffuse alterazioni e presenza di mineralizzazioni a Cu, Mo, Au.; piroclastiti riolitico-riodacitiche. Oligocene-Miocene inf. 10. Depositi continentali arenaceo-conglomeratici. 29. Successione terrigena alloctona pre-

discordanza Sarda (Unità tettonica Arburese), con metarenarie, quarziti e metapeliti. Cambriano-Ordoviciano inf. 30. Successione terrigena e carbonatica autoctona post-discordanza Sarda (Zona Esterna): metarenarie, metaconglomerati, metapeliti, black shales carboniosi, metacalcari. Ordoviciano m. – Devoniano inf. 32-33-34. Successione terrigena e carbonatica pre-discordanza Sarda: metarenarie e calcari (34), calcari e dolomie (33), metapeliti (32). Cambriano inf. – Ordoviciano inf. 150
Figura 41 - Mappa geochimica dei suoli Progemisa SpA (1989-90). 151
Figura 42 - Schema di alterazione interpretato in profondità sulla base dei sondaggi eseguiti nel settore dell'intrusione di Monte Perdosu..... 151
Figura 43 - Possibili Settori coperti dalla prospezione AEM: in 1, l'area della "soglia di Siliqua". 153

Programma Nazionale di Esplorazione

1 – INTRODUZIONE

La problematica della sicurezza nell'approvvigionamento delle risorse minerarie indispensabili per lo sviluppo industriale e la transizione digitale ed ecologica, è ormai inserita ai primi posti nelle agende politico-economiche di tutti i Paesi con sistemi economici avanzati.

Per limitare la dipendenza delle forniture dalla iper-concentrazione delle risorse, spesso in Paesi politicamente instabili o comunque ritenuti a rischio, la Commissione Europea ha elaborato un nuovo regolamento per l'approvvigionamento sicuro e sostenibile delle materie prime ritenute critiche o strategiche (Regolamento EU 1252/2024, Critical Raw Materials Act - CRMA) che è entrato in vigore il 24 maggio 2024.

Il nuovo Regolamento europeo delinea in modo chiaro ed inequivocabile la strategia che l'Unione Europea vuole perseguire per cercare di mitigare la propria dipendenza dalle forniture estere di materie prime essenziali per il proprio apparato industriale.

Considerando le problematiche insite in tutte le opzioni di approvvigionamento delle forniture in una economia di transizione, la sola **strategia efficace è quella che integra una attività estrattiva sostenibile con le pratiche di economia circolare, di riprogettazione ecologica dei prodotti, di ricerca di materiali sostitutivi e con lo sviluppo di collaborazioni con i paesi europei ed extra EU.**

Nessun sistema economico avanzato è indipendente sotto il profilo minerario e la situazione italiana non è diversa da quella di molte delle economie di riferimento. Non è dunque né possibile, né verosimilmente auspicabile che la strategia nazionale guardi verso una generalizzata autosufficienza.

Strategie nazionali sbilanciate verso un'unica opzione di approvvigionamento sono inesorabilmente destinate a deludere.

In un'economia di transizione ci si aspetta che la domanda di materie prime critiche salga anche di 10 volte o oltre, non è dunque pensabile poter contare solo sul riciclo e per tutte le materie prime critiche. Diverse di queste hanno tassi di recupero estremamente bassi ed inoltre le pratiche di ecodesign ed economia circolare permetteranno di estendere la vita in servizio delle tecnologie, vero obiettivo della circolarità, che potrebbe rallentare un possibile ed auspicabile contributo sostanziale dell'industria del riciclo.

L'Italia è stato un Paese minerario, per certe materie prime è tutt'ora un grande produttore, ed è dunque **determinante recuperare una quota di autonomia strategica di origine mineraria**, variabile da materia prima a materia prima. Obiettivo cui si può giungere partendo dalla conoscenza delle risorse del territorio e dunque da un nuovo programma di ricerca mineraria di base.

Dal punto di vista minerario il Regolamento EU impone agli stati membri di procedere con un Programma di Esplorazione generale nazionale (Art. 19) e con la caratterizzazione dei rifiuti estrattivi, compresi quelli abbandonati, in termini di contenuto in Materie Prime Critiche (Art. 26).

Il DL 84/2024, convertito in L.115/2024, recepisce alcuni punti fondamentali del regolamento EU ed individua ed incarica il Dipartimento per il Servizio Geologico di

ISPRA di elaborare e realizzare il **Programma Nazionale di Esplorazione** mineraria generale per le materie prime critiche (di seguito **PNE**) che deve essere redatto entro il 24 maggio 2025.

2 – IL PROGRAMMA DI ESPLORAZIONE NAZIONALE, OBIETTIVI

Il PNE ha l'obiettivo di definire un quadro delle potenzialità minerarie nazionali tramite l'integrazione delle informazioni minerarie pregresse con una nuova campagna di ricerca mineraria di base, a distanza di circa 30 anni dall'ultimo investimento nazionale in ricerca mineraria.

Il programma mira, pertanto, a identificare le aree più promettenti dal punto di vista minerario, focalizzando l'interesse sulle Materie Prime Critiche/Strategiche definite dalla UE, in molti casi mai o poco ricercate in Italia, ma anche su altri materiali di specifico interesse per l'industria nazionale.

Su queste aree, se sussistono le condizioni economiche, sociali ed ambientali, potranno successivamente essere rilasciati permessi di ricerca operativa a compagnie minerarie nazionali ed estere, finalizzati al rilascio di concessioni per la coltivazione mineraria che deve essere condotta secondo i più rigidi criteri di sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

È luogo comune, ormai consolidato, che l'Italia non disponga di depositi minerari coltivabili, in quanto le risorse sarebbero scarse o ormai esaurite. In realtà le motivazioni che hanno portato alla progressiva chiusura del settore dell'estrazione dei minerali metalliferi in Italia sono più di carattere politico-economico che non giacimentologico. Le vecchie miniere erano ormai obsolete ed inquinanti e in un contesto internazionale di grandi disponibilità a basso costo era sicuramente più conveniente ricorrere ai mercati esteri. Oggi la situazione è drasticamente e rapidamente cambiata, la disponibilità di materie prime di origine mineraria ha assunto una importanza vitale per l'industria nazionale e continentale, d'altra parte sono ormai ben consolidati criteri di gestione sostenibile dell'attività che, sia pur non annullandoli, consente la minimizzazione degli effetti avversi sull'ambiente, sul territorio e sulle comunità locali.

Una valutazione, con moderne tecniche di indagine, delle disponibilità delle risorse minerarie nazionali è un imperativo indotto da un contesto geopolitico internazionale in cui il conflitto economico, e non solo, per l'approvvigionamento delle materie prime minerarie si prefigura sempre più esasperato.

Il PNE si trova dunque ad affrontare una sfida importante che è quella di convincere l'opinione pubblica, a tutti i livelli, che una attività mineraria sostenibile è possibile e indispensabile per mantenere il nostro tenore di benessere in modo equo e giusto. Sicuramente non potremo mai raggiungere, per caratteristiche geologiche e territoriali, i livelli produttivi delle grandi economie minerarie (Canada, Australia, Cina ecc..) ma sicuramente siamo in grado di fornire un contributo significativo, per diversi materiali, alla mitigazione della dipendenza dai mercati esteri dell'Italia e della UE.

ISPRA ed i soggetti attuatori del PNE avranno anche il compito di assicurare una corretta e trasparente comunicazione alla popolazione sulle motivazioni e sugli aspetti tecnici dei progetti di ricerca.

Il PNE è anche l'occasione per rilanciare, verso la possibile ripresa degli investimenti nel settore dei minerali metalliferi, un ecosistema minerario nazionale costituito da imprese orientate solo sulle attività di cava o dei minerali industriali e da un apparato educativo, professionale ed accademico, che dopo 30 anni, in mancanza di attività estrattive per minerali metallici, ha progressivamente ridotto le proprie capacità formative ed attrattive nel settore.

Allo scopo di definire l'effettiva presenza di depositi minerari, la cui coltivabilità è da definire con successiva ricerca operativa, e considerate le attuali disponibilità finanziarie che non permettono una copertura dell'esplorazione sull'intero territorio nazionale, **il PNE si concentra su alcune aree e temi di ricerca, dove saranno valutati congiuntamente sia i corpi mineralizzati sia i rifiuti estrattivi presenti.**

Per la mappatura e caratterizzazione **dei rifiuti estrattivi abbandonati** dalle precedenti attività minerarie è stato avviato uno specifico progetto PNRR denominato URBES (URBan mining and Extractive waste information System) focalizzato sul recupero di materie prime seconde da rifiuti urbani ed estrattivi.

Le aree/temi di indagine sono state scelte da un GdL coordinato da ISPRA e costituito da alcuni dei massimi esperti nazionali di giacimenti minerari, già componenti del GdL Mininig del Tavolo Nazionale per le Materie Prime Critiche, cercando di individuare quelle che possono fornire i risultati migliori nei tempi più brevi.

Le aree sono state scelte secondo **i seguenti criteri:**

- Più promettenti dal punto di vista minerario in base delle conoscenze pregresse, a partire dalle aree indiziate durante la ricerca di base RIMIN condotta alla fine del secolo scorso
- Con presenza di studi giacimentologici moderni conclusi o in corso, editi ed inediti (Relazioni sui permessi di ricerca rilasciati, tesi di laurea/dottorato/master, pubblicazioni scientifiche, report di altri progetti nazionali/EU)
- Con accertata presenza di elementi mai ricercati nel territorio italiano ma con evidenti grandi prospettive anche sulla base dell'esperienze internazionali (es. litio da geotermia) o da quanto documentato in precedenti studi (es. terre rare nelle fluoriti)
- Con possibilità di integrazione con altri progetti nazionali (CARG, MER, URBES ecc..) e con altre attività di supporto alla ricerca (es. Copernicus, SIMI)
- Con possibilità di utilizzo di metodiche innovative come la magnetometria aerotrasportata attiva, l'analisi delle particelle cosmiche e l'utilizzo estensivo dei software di intelligenza artificiale

In alcuni casi sono state inserite anche aree con materie prime non rientranti nella lista europea ma di possibile interesse per l'industria nazionale e per il commercio verso l'estero come ad es. le zeoliti, o che possono presentare future problematiche di approvvigionamento non considerate né considerabili nella redazione della lista UE. Può essere, ad es., il caso del **molibdeno materia prima proveniente al 90% dagli Stati Uniti e quindi potenzialmente soggetto alle nuove politiche USA** o del cromo proveniente principalmente dal Sud Africa. In questi casi l'opportunità del loro inserimento tra i temi di ricerca sarà posta all'attenzione del Comitato per le Materie prime critiche e strategiche.

Sulla base del DL 84/2024, art. 7, l'esecuzione di attività di ricerca non invasive non necessita di verifica di assoggettabilità alla Valutazione d'Impatto Ambientale mentre in

base all'art 4 della Legge 752/82 *"I possessori dei fondi sui quali vengono effettuate operazioni di ricerca di base non possono opporsi all'effettuazione dei lavori di ricerca, ferme restando le vigenti norme di polizia mineraria."*

A causa della estrema carenza di imprese specializzate nel campo dell'esplorazione mineraria di minerali metalliferi e della necessità di dover disporre delle più avanzate conoscenze giacimentologiche, il Programma dovrebbe essere realizzato in collaborazione con la comunità scientifica e tecnica in materia che ancora detiene competenze in materia (accademia, centri di ricerca, Regioni/Province autonome, SNPA). L'esecuzione del Programma avverrà utilizzando i più avanzati standard internazionali, anche grazie al confronto con gli altri programmi realizzati dai Servizi Geologici Nazionali degli Stati Membri riuniti nella rete EuroGeoSurveys e nel Subgroup Exploration del CRM Board. Contemporaneamente ISPRA parteciperà alla redazione del BREF europeo (*Best available tecnique REFerence document*) sull'attività estrattiva dei minerali metalliferi, cioè il documento di riferimento sulle migliori tecniche disponibili per ridurre l'impatto sull'ambiente.

In estrema sintesi **gli obiettivi finali del programma sono**:

1) Individuare nuove risorse minerarie e incrementare le conoscenze minerarie di base nelle aree più promettenti relativamente a:
   - Depositi di Materie Prime Critiche già coltivati in passato sul territorio nazionale come rame, tungsteno, manganese, magnesio, antimonio, grafite, fluorite, barite, feldspati ecc..
   - Depositi di Materie Prime Critiche mai coltivati e mai, o poco, esplorati come litio, cobalto, elementi del gruppo del platino, terre rare leggere e pesanti
   - Depositi di Materie prime non critiche ma che potrebbero essere di importanza strategica per la filiera nazionale come bentonite, zeoliti, caolino o che potrebbero diventare critiche a seguito delle nuove politiche economiche dei paesi alleati come, ad es. il molibdeno le cui forniture all'industria europea provengono al 90% dagli Stati Uniti
2) Fornire una base di dati, organizzati secondo gli standard internazionali, per favorire l'interesse di aziende nazionali ed internazionali alla richiesta di permessi di ricerca operativa, per lo sviluppo di progetti minerari sostenibili.
3) Stimolare la rinascita di un completo ecosistema minerario nazionale tramite:
   - Incremento delle competenze tecniche e scientifiche nella PA
   - Rivitalizzazione degli insegnamenti accademici e delle scuole minerarie
   - Sviluppo della ricerca e dei ricercatori in ambito minerario
   - Creazione dell'anagrafe mineraria nazionale
   - Coinvolgimento di PMI nazionali e liberi professionisti in ambito geologico, geofisico, geochimico, come stimolo per lo sviluppo del settore
   - Dialogo con gli Enti e con le comunità locali per favorire l'accettabilità sociale anche, e soprattutto, tramite la disseminazione dei criteri di Responsible Mining
4) Porre le basi per un proseguimento pluriennale della ricerca mineraria
5) Fornire il contributo nazionale alla riduzione della dipendenza europea dalle forniture estere di materiali indispensabili allo sviluppo industriale.

Contemporaneamente, tramite la realizzazione del progetto PNRR URBES, si vuole incentivare il recupero di **materie prime seconde** dai rifiuti minerari abbandonati e da tutte le altre possibili fonti di approvvigionamento.

Le Materie Prime Critiche ricercate, descritte in dettaglio nei successivi capitoli, sono:

1) Fluorite, Barite, Terre rare (Alpi meridionali)
2) Elementi del gruppo del Platino (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) (Piemonte orientale)
3) Rame e manganese (Liguria occidentale)
4) Grafite (Piemonte, Liguria, Calabria)
5) Litio non-convenzionale (Toscana, Lazio, EMR)
6) Antimonio (Toscana)
7) Magnesite (Toscana)
8) Fluorite, barite, Terre rare (Lazio)
9) Feldspato, Litio, Terre rare (Campania)
10) Feldspato, Terre rare, REE (Sardegna)
11) Rame, Tungsteno, Terre rare, Titanio (Piombo, Zinco, Argento)
12) Fluorite, barite, Terre rare (Sud Sardegna)
13) Tungsteno, Arsenico, Bismuto (+Stagno, Molibdeno) (SW Sardegna)
14) Rame (+Molibdeno, Oro) (SW Sardegna)

2.1 Esplorazione di base e esplorazione operativa

Considerate le possibili aspettative, soprattutto mediatiche, derivanti dall'attuazione del PNE si ritiene necessario specificare che il Regolamento UE prevede una esplorazione mineraria generale, non una esplorazione mirata.

L'esplorazione mineraria, cioè l'insieme delle attività di ricerca di giacimenti minerari, si sviluppa infatti, in due fasi consecutive ma ben distinte tra di loro in termini di obiettivi, tempi, modalità di indagine, impatto sul territorio e, soprattutto, costi da sostenere.

Esplorazione di base (General exploration)

L'esplorazione di base rappresenta la fase di ricognizione di un territorio più o meno ampio che mira a identificare le aree con potenziale minerario, senza intraprendere metodiche di analisi particolarmente invasive. È quindi la prima fase dell'esplorazione e comprende:

- Rilievi geologici, strutturali e minerari per la mappatura delle caratteristiche geologiche e delle mineralizzazioni affioranti.
- Indagini geofisiche attive, anche tramite sensori avio/eli trasportati, per il rilevamento di anomalie che potrebbero indicare la presenza di corpi mineralizzati
- Tecniche di telerilevamento passivo (ottico, termico), attivo (SAR, LiDAR), multispettrale e iperspettrale tramite analisi di immagini satellitari, o acquisizioni da aerei, droni, etc.
- Tecniche in indagine altamente innovative come la rilevazione delle particelle cosmiche
- Raccolta di campioni di roccia, suolo e acqua per analisi di laboratorio mineralogiche, geochimiche, isotopiche, spettroscopiche
- Estensivo utilizzo di software di intelligenza artificiale per l'analisi dei dati pregressi e dei dati acquisiti ex-novo, compresa la modellistica 3D

Sarà compito di ISPRA e delle Unità di ricerca sul territorio la verifica preliminare della sussistenza della relativa vincolistica territoriale presente e in carico ai diversi enti di governo del territorio

Nell' art. 8 della Legge 752/1982, la ricerca di base è infatti così definita: "*La ricerca di base consiste nella raccolta dei dati, della documentazione e della bibliografia mineraria;*

nelle indagini e studi sistematici, geologico-strutturali e mineralogici finalizzati alla ricerca mineraria; nelle prospezioni geologiche, geofisiche, geochimiche, geognostiche, geostatiche e giacimentologiche; nella elaborazione di tutti i documenti interpretativi e dei relativi studi illustrativi."

L'esplorazione di base è condotta dallo Stato a livello nazionale ed ha lo scopo di individuare i corpi mineralizzati in aree da aprire successivamente, e previa la Valutazione di Impatto Ambientale, alle istanze di permesso di ricerca per esplorazione operativa da parte delle compagnie minerarie finalizzata, a seguito di apposita istanza, al rilascio di una concessione mineraria.

In aree non comprese nel PNE l'attività di ricerca di base può essere condotta anche dalle compagnie minerarie tramite la richiesta di un Permesso di Ricerca agli organi competenti (Stato o Regioni a seconda dei materiali ricercati).

Esplorazione operativa (Targeted exploration)

L'esplorazione operativa è **a carico delle compagnie minerarie** e si concentra su un deposito minerario ad alto grado di potenzialità con l'obiettivo di valutare le dimensioni, i quantitativi utili e l'economicità della coltivazione. Comprende quindi studi prolungati e molto dettagliati necessari per definire con la massima precisione possibile il potenziale economico del corpo minerario. Include:

- Scavi, trincee e sondaggi per acquisire, attraverso l'indagine sui campioni raccolti, un data set analitico tridimensionale ad elevata densità spaziale.
- Modellazione del giacimento con creazione di modelli 3D per valutare tenori, dimensioni ed andamento del deposito, con riferimento ai codici di valutazione internazionali.
- Test metallurgici per la determinazione dei migliori metodi di estrazione.
- Studi di fattibilità e impatto ambientale per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale.

Nell' art. 8 della Legge 752/1982, la ricerca operativa è infatti definita come "*La ricerca operativa consiste nell'esecuzione di studi di carattere geogiacimentologico, geofisico e geochimico di dettaglio; nell'esecuzione di fori di sonda, di scavi a cielo aperto ed in sotterraneo per la ricerca e la delimitazione di nuovi giacimenti minerari; nelle operazioni di campionatura e relative valutazioni; nell'elaborazione statistica dei dati; nell'esecuzione di studi di fattibilità minerari e mineralurgici.*"

L'esplorazione operativa ha costi che, come noto, possono raggiungere anche decine di milioni di euro per singolo progetto minerario, con un elevatissimo rischio d'impresa. È una attività tecnologicamente molto avanzata e che, nell'attuale situazione nazionale, può essere condotta solo da **compagnie minerarie specializzate**. Considerati i potenziali impatti sul territorio la ricerca operativa deve essere necessariamente sottoposta a Valutazione d'Impatto Ambientale.

2.2 Importanza strategica dell'esplorazione mineraria per la sicurezza nazionale – le materie prime critiche (MPC)

Tutte le attività antropiche sono legate direttamente o indirettamente all'utilizzo delle risorse del pianeta (georisorse s.l.). Dal Neolitico in poi la scoperta dei metalli e delle leghe ha permesso la creazione di nuovi utensili e lo sviluppo dell'agricoltura, dei trasporti, delle arti, delineando il percorso che porterà alle società moderne.

Parallelamente allo sviluppo delle varie tecnologie e dell'industria l'utilizzo delle materie prime minerarie è progressivamente cresciuto nel tempo sino all'odierno utilizzo di quasi tutti gli elementi della tavola periodica.

Attualmente la crescita esponenziale della loro richiesta è veicolata dalla rapida espansione delle nuove tecnologie dall'elettronica di consumo, alla *information technology*, intelligenza artificiale, robotica, aerospazio sino alle tecnologie per la decarbonizzazione del settore energetico, veicolare ed industriale e a tutte le altre tecnologie civili e militari della quarta rivoluzione industriale. Questo modello di sviluppo decarbonizzato, digitalizzato e robotizzato necessita, però, dell'uso intensivo di un ampio spettro di metalli e non-metalli molti dei quali sono inseriti nelle liste delle Materie Prime Critiche (*Critical Raw Materials-CRMs*) stilate da tutte le nazioni industrialmente avanzate.

La lista EU comprende 34 materie prime critiche, di cui 17 strategiche, considerate come materiali indispensabili per la propria industria e la cui disponibilità, in un contesto di fabbisogno globale crescente, può diventare problematica poiché dipendente dalle condizioni politico-economiche dei Paesi produttori, dalle strategie industriali, dall'evoluzione tecnologica nell'uso delle risorse, dall'entrata in produzione di nuovi giacimenti, dalla ricerca di materiali sostitutivi e di riprogettazione sostenibile dei prodotti, dai tassi di riciclo e recupero e delle relative tecnologie, oltre che dall'andamento dei mercati. Realizzare scenari sulle future necessità di MPC è opera molto complicata ma tutte le stime realizzate da organismi internazionali (World bank, IEA, UNECE, IRENA ecc..) concordano, però, sull'inarrestabile crescita della richiesta di materie prime di origine mineraria per alimentare il nuovo modello di sviluppo decarbonizzato e digitalizzato.

Poiché **essenziali per la garanzia di continuità dei settori strategici della nazione** (industria, energia, difesa, servizi, commercio ecc..) le materie prime critiche svolgono un ruolo sostanziale nella sicurezza del Paese e del Continente. La loro carenza può significare l'impossibilità di sviluppare una industria competitiva in tutti i settori ad alta tecnologia compresa la realizzazione di **sistemi di difesa** avanzati che, nell'attuale preoccupante contesto geopolitico, stanno diventando sempre più importanti.
La dipendenza da pochi fornitori, spesso in aree politicamente instabili o potenzialmente ostili, espone l'Europa a possibili interruzioni delle forniture per politiche protezionistiche dei Paesi produttori, che potrebbero anche riunirsi in cartelli per manipolare i prezzi e controllare i mercati utilizzando le risorse minerarie come arma geopolitica, o per cause più o meno ponderabili come conflitti, eventi naturali o sanitari, incidenti tecnologici. **In questo contesto la definizione delle potenzialità minerarie del Paese è quindi tornata ad essere una assoluta priorità.**

3 - LA SITUAZIONE MINERARIA ITALIANA

3.1 Il contesto geo-giacimentologico del territorio italiano

La descrizione dell'assetto geologico del territorio italiano è particolarmente complessa; in un'area relativamente piccola sono presenti, contemporaneamente, molti e diversificati caratteri geologici insieme alla presenza di fenomeni endogeni ed esogeni attivi. L'evoluzione geologica dell'Italia si estende dagli orogeni del Paleozoico inferiore fino all'apertura degli oceani della Tetide nel Mesozoico e alla successiva chiusura di queste insenature oceaniche durante le subduzioni alpine e appenniniche.

La crosta italiana è continentale, fatta eccezione per la pianura abissale tirrenica e il Mar Ionio. Il suo spessore massimo si riscontra nella catena alpina (circa 50÷60 km), mentre il minimo lungo la fascia costiera toscana e laziale.

Da un punto di vista geografico e geologico, è possibile distinguere schematicamente: l'ex basamento europeo (Sardegna), le Alpi (settentrionali e meridionali), gli Appennini, le pianure maggiori (Pianura Padana, Tavoliere delle Puglie) e minori, e i variegati distretti vulcanici, che includono anche numerosi gruppi insulari e sottomarini.

Il basamento prealpino è ben esposto nelle Alpi, in Sardegna e localmente in Calabria e Sicilia. È costituito da successioni sedimentarie variamente metamorfosate, associate a scarse magmatiti caledoniane e a magmatiti varisiche, molto più diffuse. La stratigrafia post-Varisica, dal Permiano al Cretaceo, mostra in Italia le caratteristiche di un margine passivo, con le tipiche sequenze sedimentarie. L'inversione e il moto relativo tra le placche europea e adriatica iniziarono durante il Cretaceo e generarono compressione al margine occidentale o traspressione destra al margine settentrionale della placca adriatica. L'evoluzione spaziale e temporale delle Alpi e successivamente degli Appennini durante il Terziario è documentata da sedimenti clastici, flysch e melasse che si sovrapponevano alle precedenti sequenze del margine passivo.

Dal Triassico al Recente, in Italia si sono verificati diversi episodi magmatici con diversa rilevanza geodinamica. I più significativi sono: i magmatismi calco-alcalini del Triassico medio e riolitico-trachitico e basaltico, sia effusivi che subvulcanici, dell'Eocene-Oligocene, delle Alpi Meridionali centro-orientali; il magmatismo calco-alcalino terziario, che ha caratterizzato il rift oligo-miocenico in Sardegna; il vulcanismo plio-quaternario a carattere variabile, presente in Sardegna, in diversi distretti dell'Italia centro-meridionale e nelle isole Eolie.

Tutti questi fenomeni si riflettono nelle caratteristiche litologiche delle diverse regioni italiane. Le regioni alpine, dal Piemonte, alla Lombardia, al Trentino-Alto Adige, al Veneto e al Friuli, sono caratterizzate da una combinazione di litologie che comprende le rocce metamorfiche-magmatiche dei basamenti dei diversi sovrascorrimenti alpini, le estese coperture sedimentarie dal Permo-Triassico all'Oligocene-Miocene e i diffusi sedimenti delle pianure (pianura Padana-Adige-Piave). In Piemonte le litologie più settentrionali sono le rocce cristalline pre-Triassiche e, in parte, la serie ofiolitico-sedimentaria mesozoica, compresa nelle Unità tettoniche Penniniche, separate dai Lineamenti Canavese e Centovalli (parte più occidentale della Linea Insubrica) dalle magmatiti

meridionali tardo-post-Varische e dai sedimenti calcareo-dolomitici e terrigeni associati, dall'Anisico all'Eocene. Più a sud si trovano le molasse orogenetiche tardive e i depositi alluvionali della Pianura Padana. In Liguria sono comuni i depositi ofiolitici, associati a sedimenti di mare profondo, entrambi di età Giurassica.
Nelle regioni più orientali, dalla Lombardia al Friuli, il Lineamento Tonale-Giudicarie-Pusteria-Gail (la parte più orientale della Linea Insubrica) separa, a nord, le Unità rocciose cristalline del Complesso Austroalpino dalle sequenze del Complesso Sudalpino. Le Unità Austroalpine sono costituite da varie serie polimetamorfosate di sedimenti e vulcani sedimentari paleozoici, localmente con fasce autoctone di copertura sedimentaria mesozoica, che mostrano solo gli effetti del ciclo tettono-metamorfico alpino. Nelle aree più settentrionali della Lombardia e del Trentino-Alto Adige, alcune fasce delle Unità Penniniche affiorano in finestre tettoniche attraverso la catena Austroalpina. Il Complesso Sudalpino comprende: 1) un basamento cristallino Varisico, prevalentemente affiorante lungo la Linea Insubrica, costituito da paragneiss prevalenti in Lombardia e da filliti in Trentino-Alto Adige e Veneto, in entrambi i casi con intercalazioni di quarziti minori, gneiss porfiroide e metabasiti; 2) un'ampia copertura sedimentaria Permo-Miocenica non metamorfizzata, spessa diverse migliaia di metri, costituita sia da carbonati di acque basse che da depositi bacinali, con importanti sequenze calcareo-dolomitiche nelle Dolomiti. Corpi granitico-granodioritici tardo-post-Varisici sono intrusi lungo la Linea Insubrica, così come nel basamento cristallino Sudalpino (principalmente in Trentino-Alto Adige) come masse plutoniche ed epi-plutoniche; Depositi effusivi molto estesi, spesso ignimbritici, che evolvono da andesite-dacite a riolite (Piattaforma Porfirica Atesina) sono prodotti dello stesso evento magmatico. Lungo le coperture sedimentarie meridionali sono inoltre ampiamente presenti prodotti subvulcanici ed effusivi, da calco-alcalini a shoshonitici, del magmatismo ladinico-carnico. Al margine o nella vicina pianura padano-adigea, affiorano abbondanti rocce alcalino-basaltiche (Monti Lessini-Berici) e corpi subvulcanici trachi-andesitici e riolitici (Colli Euganei) di età eocenica-oligocenica.
Nella regione Tosco-ligure-emiliana, sono presenti complessi ben distinti, che includono sia le Unità Liguridi, costituite da successioni flyschoidi, spesso associate a ofioliti, sia le successioni di terreni dei sovrascorrimenti toscani. Queste sono costituite da una piattaforma carbonatica e da sedimenti pelagici, con i relativi depositi flysch. L'unità tettonica più profonda è costituita dai depositi cristallini (paraautoctoni) dei carbonati metamorfici apuani. La stessa situazione tettonica, ma con tipologie litologiche fortemente variabili, si riscontra nella Toscana meridionale e in parte delle regioni Umbria-Marche-Lazio-Abruzzo. Qui affiorano le successioni pelagiche del dominio umbro-marchigiano, tettonicamente accostate ai depositi di piattaforma carbonatica e accompagnate dai sovrastanti depositi dei flysch tardo-orogenici. Le sequenze carbonatiche si estendono dall'Abruzzo alla Puglia ricoperte dai flysch silicoclastici e coeve., nella Campania meridionale, alle sequenze bacinali di Lagonegro. Le successioni dell'area del golfo di Taranto corrispondono a spessi depositi silicoclastici appartenenti ad accumuli di avanfossa post-orogenica
Lungo la fascia costiera tirrenica, sono localizzati gli importanti depositi vulcanici alcalino-potassici della provincia tosco-romana meridionale. Le rocce vulcaniche a carattere

potassico sono presenti anche in Campania, dove formano i complessi di Roccamonfina, Vesuvio e Campi Flegrei. Un altro centro vulcanico è il complesso del Vulture, tra Puglia e Lucania.
Nella Calabria meridionale si riscontrano principalmente tipi metamorfici e magmatici prodotti dai cicli orogenetici ercinici e alpini. Le stesse litologie sono state registrate nell'area più orientale della Sicilia, i Monti Peloritani. Nella Sicilia settentrionale le successioni sono principalmente sedimentarie, Mesozoico-Terziarie e simili a quelle delle piattaforme carbonatiche dell'Italia continentale meridionale. Sono presenti anche diversi depositi di flysch, tra cui il flysch numidico. Nella Sicilia orientale i complessi vulcanici più importanti sono legati all'Etna, le cui effusioni basaltiche ricoprono gran parte della provincia di Catania. Più a nord, è presente il vulcanismo dell'arco eoliano, prevalentemente a carattere calco-alcalino e, più a sud, quello degli Iblei.
In Sardegna affiora la maggior parte dei litotipi paleozoici registrati in Italia. A nord, prevalgono rocce metamorfiche di alto grado di età Varisica (anfiboliti e migmatiti), associate a graniti da sin- a post-cinematici. Vulcaniti terziarie di carattere calcalcalino sono presenti sia nel nord che nel sud dell'isola, spesso in associazione con sedimenti continentali terziari. La parte meridionale dell'isola è caratterizzata dal Complesso dei Thrust Paleozoici a basso grado di metamorfismo. Nel sud-ovest dell'isola, i carbonati di piattaforma Cambriani e Ordoviciani delle Zone Esterne ospitano importanti risorse di minerali metalliferi.

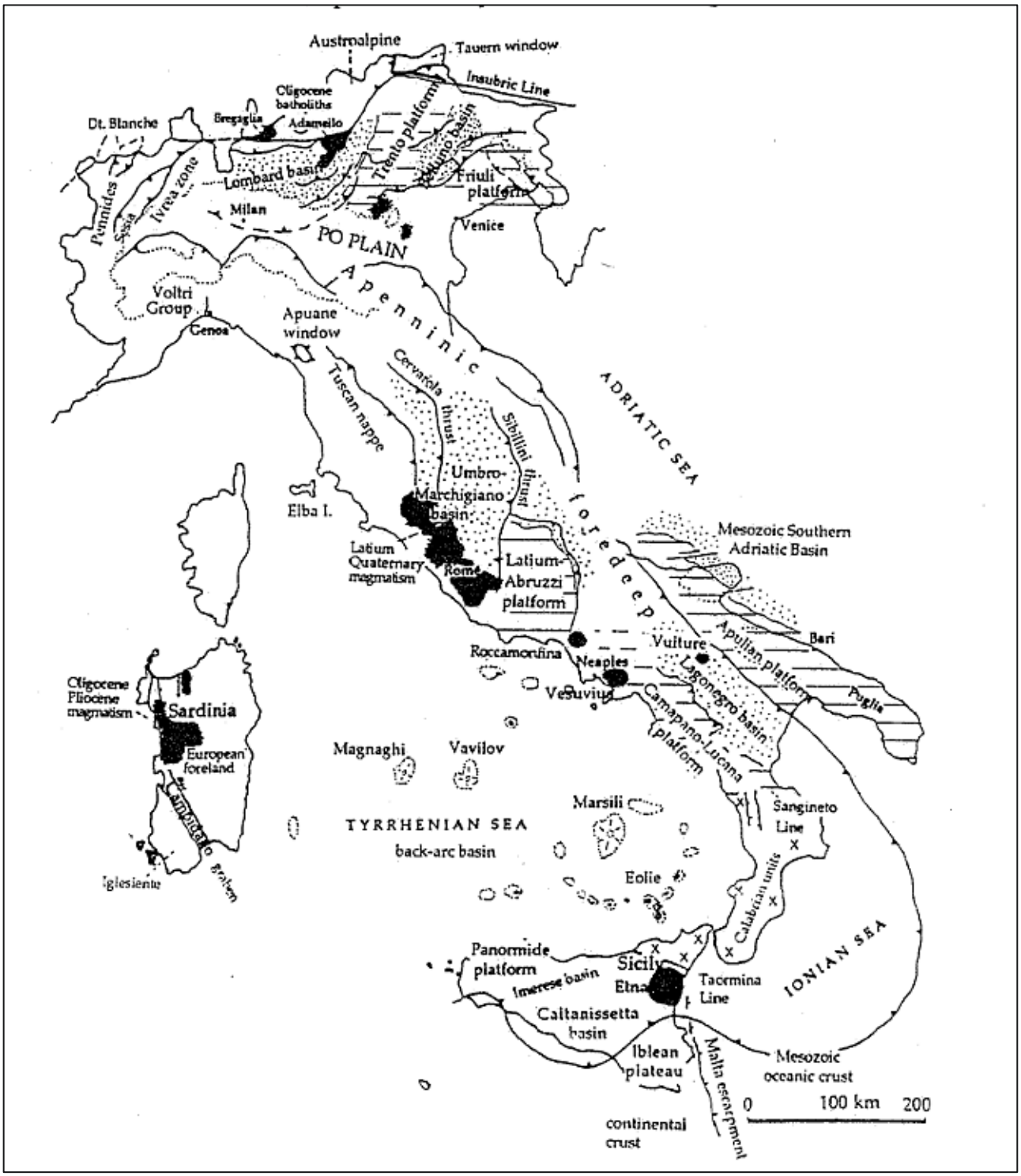

Figura 1 - Schema delle principali unità paleogeografiche o strutturali citate nel testo (Doglioni & Floris, 1997)

3.2 Le miniere in Italia

Per le sue caratteristiche geologiche, l'Italia è sede di numerosi e diversificati giacimenti minerari, diffusi sull'intero territorio e intensamente sfruttati nei secoli scorsi, in particolare a partire dai primi del Novecento. L'attività mineraria è stata diffusa nella quasi totalità del territorio nazionale. 3.016 siti minerari sono stati in attività dal 1870 ad oggi,

interessando tutte le regioni, 93 Province e 889 Comuni. Il trend è stato in continua ascesa sino alla metà del secolo scorso, tranne una piccola inversione di tendenza tra la fine degli anni '20 e l'inizio degli anni '30 in corrispondenza dell'adozione del R.D. 1927 che ha regolamentato l'attività mineraria in Italia, per poi decrescere soprattutto a causa del progressivo abbandono dell'estrazione dei minerali metallici e dello zolfo (Figura 2). Lo sfruttamento dei minerali metalliferi è stato intenso soprattutto nell'arco alpino, Toscana e Sardegna. Lo zolfo presente nell'area centrale della Sicilia è stato estratto per oltre due secoli, con metodi antiquati basati essenzialmente sullo sfruttamento operaio, compreso quello dei bambini (carusi). L'estrazione della lignite ha caratterizzato le pianure alluvionali dell'Italia centrale.
Circa 900 sono stati i siti di estrazione di minerali metalliferi, concentrati sui metalli cosiddetti "di base", che erano la fonte dell'industria siderurgica del secolo scorso (soprattutto Ferro, Piombo, Zinco, Rame, Antimonio, Manganese, Allumino). Un certo sviluppo, sin da epoca etrusca ha avuto anche la coltivazione di minerali preziosi (Oro e Argento). Poco o nulla coltivati, né ricercati, a causa del loro scarso interesse per l'epoca risultano invece molti degli attuali Critical Raw Materials (Materie Prime Critiche – MPC), alcuni dei quali sono sicuramente presenti in quantitativi anche interessanti, come il Cobalto, il Litio, il Titanio e, probabilmente anche gli elementi delle Terre rare leggere. Diverso è il discorso sui minerali industriali, in particolare quelli ad uso ceramico, dei quali l'Italia continua ad essere un buon produttore e leader continentale.

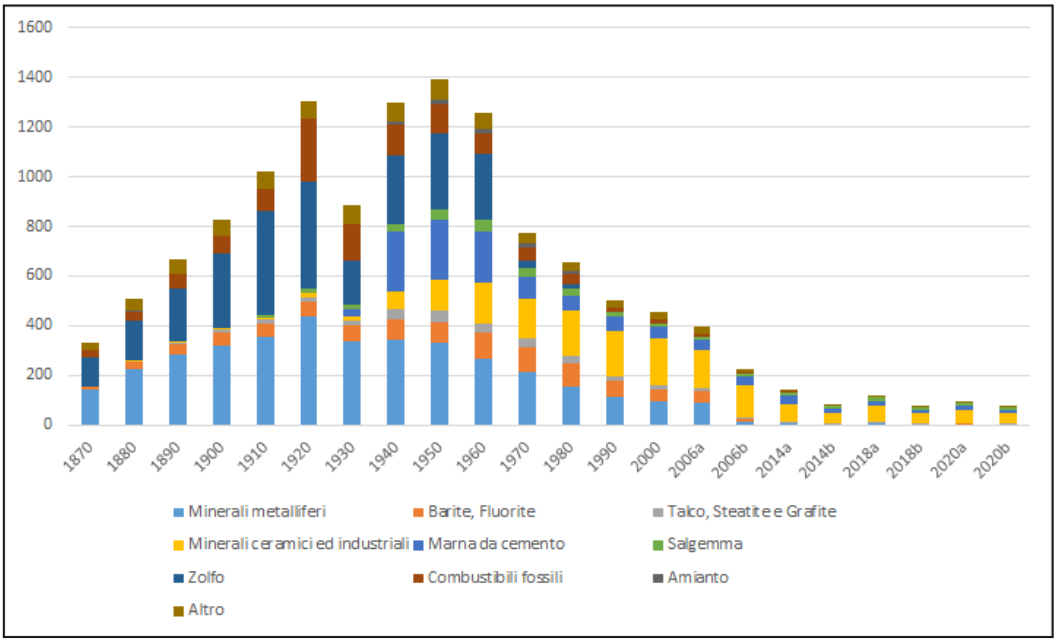

Figura 2- Siti minerari attivi sul territorio nazionale nel periodo 1870-2023 per tipo di minerale estratto

Le informazioni nazionali sulla presenza di corpi minerari potenzialmente economicamente sfruttabili (giacimenti) sono, però, ferme al 1973 (Figura 4) con aggiornamenti effettuati nel corso del programma di ricerca mineraria di base condotto dal Ministero dell'Industria tra il 1982 ed il 2005.

Nel 2023, a fronte di 94 concessioni minerarie ancora in vigore, 76 risultano realmente in produzione soprattutto in Sardegna, Piemonte e Toscana.
L'attuale attività produttiva è legata sostanzialmente alla presenza di miniere di minerali ceramici e industriali (feldspati, caolino, argille refrattarie, bentonite, terre da sbianca), particolarmente diffuse nelle aree granitiche sarde e di marna da cemento, diffuse lungo la dorsale appenninica e nelle Prealpi lombardo-venete. Il salgemma è estratto dalle miniere del volterrano e dell'agrigentino, mentre il sale marino proviene delle saline della Sardegna meridionale. Non si hanno informazioni sulle saline presenti in altre regioni italiane, che non seguono lo stesso iter concessorio sardo. L'estrazione di minerali metallici è tuttora nulla. La preventivata riapertura della miniera di Piombo-Zinco-Argento di Gorno (BG) è ancora bloccata in fase di VIA, mentre la miniera di magnetite di Giacurru (NU) pur avendo superato l'iter amministrativo ancora non ha ripreso la produzione. In fase di riavvio è la miniera di fluorite di Genna Tres Montis (Silius, SU) in cui una parte del materiale estratto sarà rappresentato dalla galena, il principale minerale di piombo.
Le uniche MPC che vengono estratte in Italia sono la fluorite ed i feldspati. Si tratta di MPC non-metallifere ma estesamente utilizzate in campo industriale.
In 20 delle miniere attive, localizzate in Piemonte, Toscana, Calabria, Lazio e Sardegna si estrae feldspato, minerale essenziale per l'industria ceramica e di cui l'Italia è leader europeo. La sua criticità è legata alla forte dipendenza dalla Turchia da cui l'EU importa più del 60% del proprio fabbisogno.
Due miniere hanno una concessione mineraria per l'estrazione di fluorite (nei comuni di Bracciano e Silius), MPC di particolare importanza nell'industria siderurgica, nell'elettronica e nelle batterie.
In particolare, la miniera in sotterraneo di fluorite di Genna Tres Montis (Sud Sardegna), che rientrerà in produzione al termine delle operazioni di ristrutturazione, rappresenterà una delle più importanti d'Europa e porterà un significativo contributo alla riduzione della dipendenza cinese. Altre ex miniere di fluorite da rivalutare con i prezzi attuali sono localizzate nel bergamasco, nel bresciano ed in trentino, oltre a quelle sarde e laziali. Nelle stesse aree troviamo depositi significativi di barite, importante minerale per l'industria cartaria, chimica e meccanica. Depositi di grafite sono noti nel torinese, nel savonese e nella Sila.
Per le MPC/MPS metalliche l'Italia è, invece, totalmente dipendente dai mercati esteri, anche se diverse di loro sono stati sfruttate in passato sul territorio nazionale (Figura 3). Molti di questi siti minerari, chiusi essenzialmente a causa della loro antieconomicità sarebbero ora da rivalutare con i moderni criteri di ricerca, di estrazione e con l'attuale andamento dei mercati.
Depositi di rame, minerale essenziale per tutte le moderne tecnologie, sono già noti nelle colline metallifere, nell'Appennino ligure-emiliano, nelle Alpi occidentali, Trentino, Carnia ed in Sardegna. In diversi siti è stato estratto manganese soprattutto in Liguria e Toscana. Il tungsteno è documentato in Calabria, nella Sardegna orientale e settentrionale e nelle alpi centro-orientali, spesso associato a piombo-zinco. Il cobalto è documentato in Sardegna e Piemonte, dove il deposito di Punta Corna è ritenuto di

importanza europea, la magnesite in Toscana e i Sali magnesiaci nelle Prealpi venete. L'accertato giacimento di titanio nel savonese è questione ben nota, così come le problematiche ambientali che ne precludono l'estrazione a cielo aperto. Le bauxiti, principale minerale per l'estrazione di alluminio, sono invece localizzate in quantitativi modesti in appennino centrale ma più consistenti in Puglia e soprattutto nella Nurra (SS), dove la miniera di Olmedo, ultima miniera metallifera ad essere chiusa in Italia, è ancora mantenuta in buone condizioni, almeno nei livelli superiori. Le bauxiti di Olmedo, come le altre bauxiti, contengono possibili quantitativi sfruttabili di terre rare, che sono sicuramente contenute anche all'interno di buona parte dei depositi di fluorite, come nel caso di Genna Tres Montis. Accertata è la presenza di litio, scoperto in quantitativi importanti soprattutto nei fluidi geotermici tosco-laziali-campani.

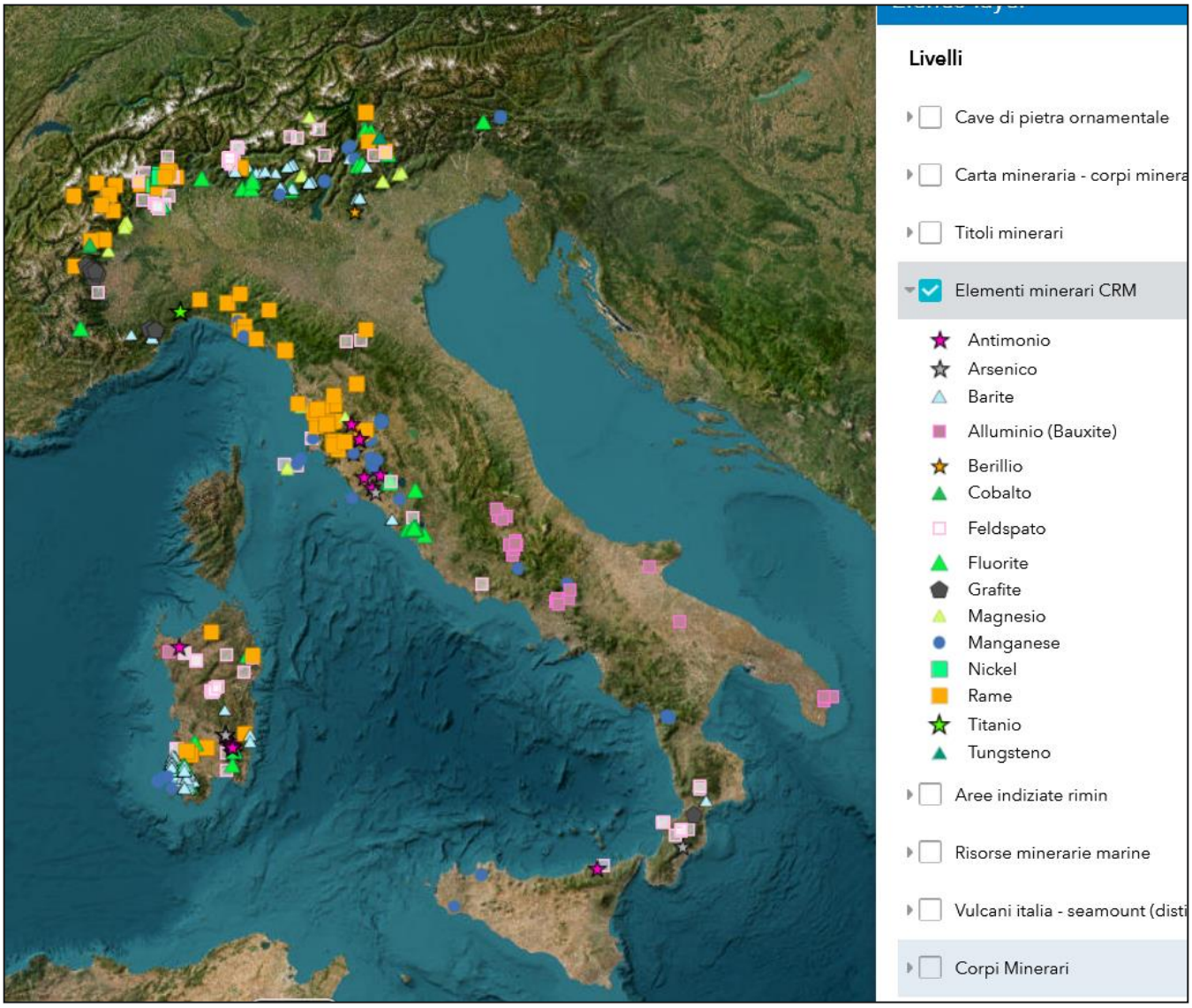

Figura 3 - Siti di estrazione di Materie Prime Critiche nel periodo 1870-2023

A seguito del rinnovato interesse per le risorse minerarie, sono attualmente vigenti diversi permessi di ricerca per la valutazione dell'eventuale ripresa della coltivazione di vecchi siti minerari di minerali metalliferi, soprattutto nell'arco alpino piemontese e

lombardo. Grande interesse si registra anche sulla possibilità di coltivazione delle salamoie geotermiche delle aree vulcaniche laziali, che presentano contenuti molto elevati in litio e altri elementi, con l'attribuzione di sei permessi di ricerca. Totalmente azzerata a partire dagli anni '80 del secolo scorso, la produzione di zolfo, che ha caratterizzato per secoli la Sicilia, e, negli anni '90 l'estrazione di amianto in ottemperanza alla Legge n. 257/1992.

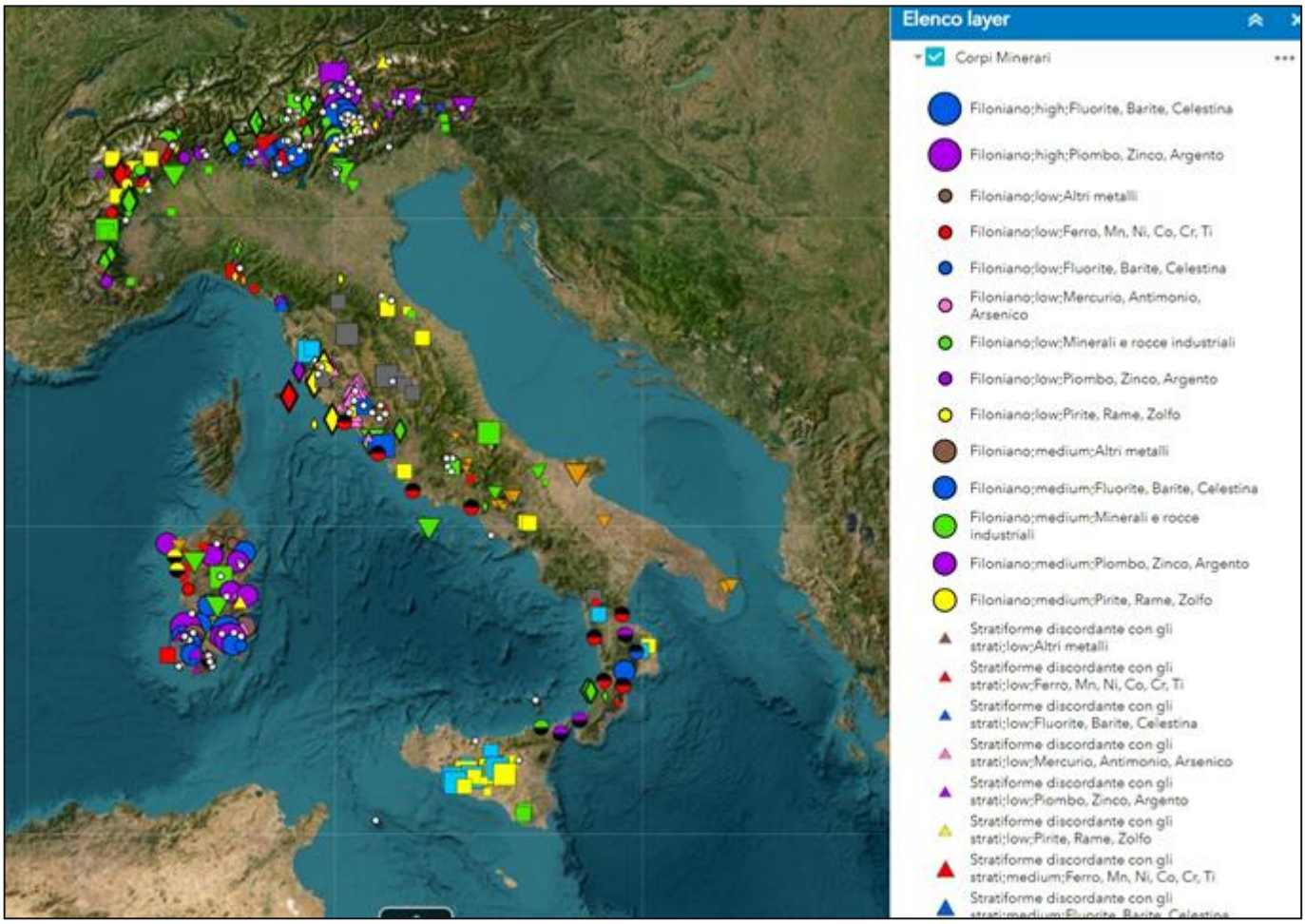

Figura 4 -Corpi Minerari noti sul territorio italiano, i simboli sono proporzionati alle dimensioni dei corpi allora conosciute (Carta Mineraria d'Italia, 1973)

La produzione totale nel 2022, si attesta a circa 15,7 milioni di tonnellate e quasi equamente distribuita tra le ripartizioni geografiche. Al Centro e al Nord predomina l'estrazione di marna da cemento mentre al Sud/Isole quella dei minerali industriali, concentrata in Sardegna. Nel complesso lo sfruttamento di marna e minerali per uso industriale rappresenta più dell'80% della produzione nazionale.

Dal punto di vista del rischio ecologico-sanitario, le miniere oggi in attività sono meno impattanti rispetto a quelle di minerali metallici, i cui scarti presentano elevate concentrazioni di sostanze inquinanti. Con il nuovo PNRR RepowerEU – URBES, integrato nel PNE, ISPRA darà inizio alla mappatura di dettaglio ed alla caratterizzazione dei rifiuti estrattivi abbandonati con lo scopo di definire i quantitativi di CRMs presenti e identificare le migliori pratiche per il loro recupero.

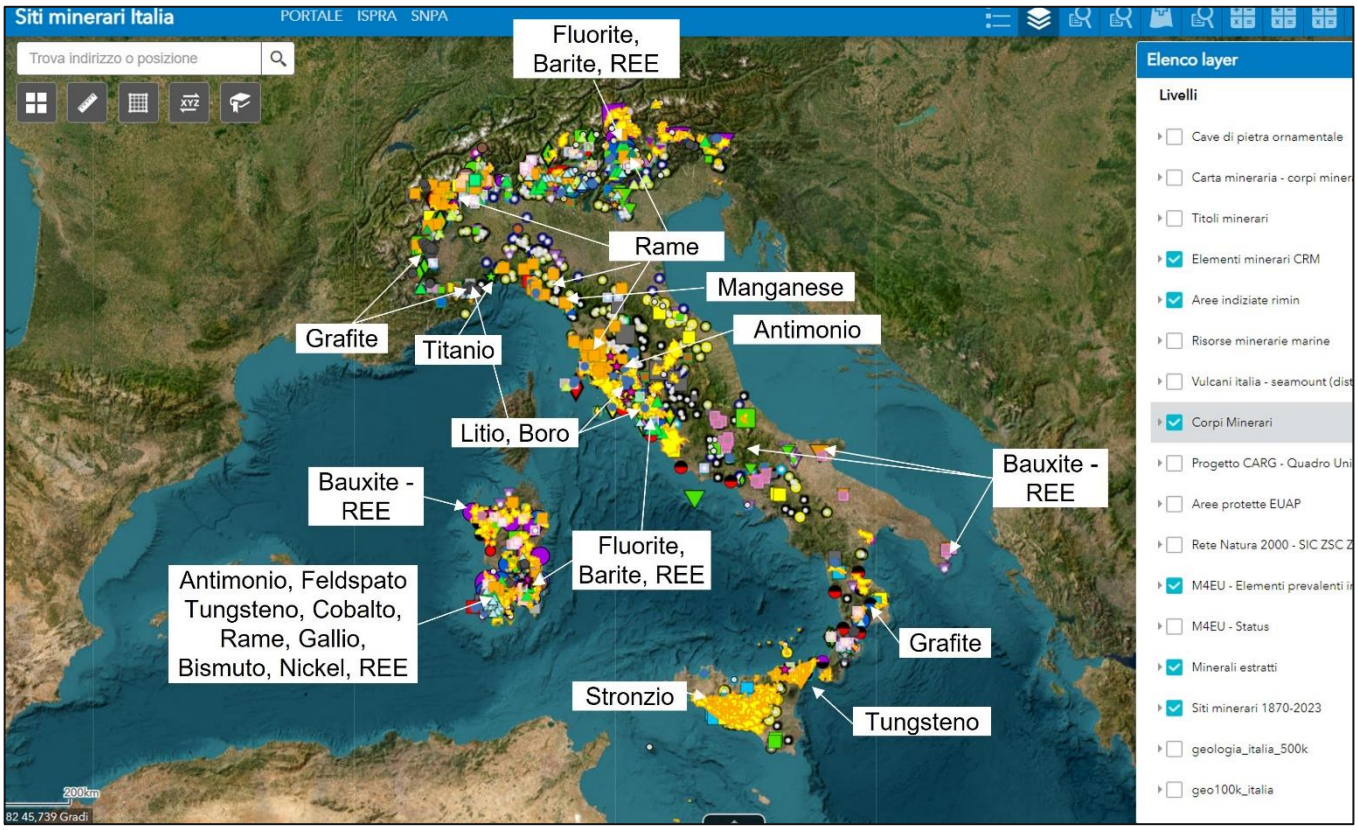

Figura 5 - Mappa delle aree nazionali con le maggiori potenzialità di Materie Prime Critiche, desunte sulla base dell'insieme dei dati pregressi.

3.2 I rifiuti estrattivi

Le attività minerarie chiuse o abbandonate precedentemente al Dlgs 117/08, che regolamenta la gestione dei rifiuti estrattivi, hanno lasciato grandi quantitativi di rifiuti estrattivi stoccati in strutture di deposito (cumuli di discarica e bacini di decantazione) anche di notevoli dimensioni. Nel distretto minerario sardo, il più importante in Italia, ne esistono circa 70 milioni di metri cubi, con un conseguente elevato impatto ambientale.
Le strutture di deposito dei rifiuti minerari chiuse e abbandonate rappresentano una grande preoccupazione in Europa ed in Italia, poiché spesso contengono elevate concentrazioni di elementi tossici e cancerogeni la cui mobilità e dispersione possono rappresentare un pericolo ambientale (per il suolo, l'acqua, gli ecosistemi) e sanitario. Molti degli elementi potenzialmente pericolosi fanno parte dei CRMs. Pertanto, la localizzazione e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi raggiunge il duplice scopo: conoscere il possibile impatto, ambientale e sanitario, che tali rifiuti possono rappresentare e definire i quantitativi di materiali potenzialmente recuperabili, in linea con i modelli di economia circolare e di mitigazione del rischio ambientale-sanitario. Tali depositi potrebbero, infatti, rappresentare un'importante fonte di materie prime seconde. In genere hanno buone potenzialità, con tenori di minerali anche elevati come nel caso dei fanghi rossi di Monteponi (Iglesias), per i quali è già accertato un contenuto medio del 7-8% in zinco. In diversi casi i depositi di stoccaggio contengono anche quantitativi significativi di sostanze incluse nell'attuale elenco di CRM (ad esempio Co, Cu, Ni, Bi, V, Sb, Ta, REE). Inoltre, possono contenere altre sostanze che, pur non essendo considerate critiche, rivestono un forte interesse come materie prime seconde nell'ambito dell'industria della transizione ecologica (es. Zn, Au, Ag), ma molto deve essere ancora fatto in termini di caratterizzazione e previsione di riutilizzo/recupero totale dei depositi.
Attualmente le informazioni disponibili riguardano infatti solo il loro potenziale o reale pericolosità in temini sia ecologico-sanitari sia statico-strutturali.
Proprio per il loro contenuto in metalli e in sostanze utilizzate nelle lavorazioni (es. cianuro) i rifiuti estrattivi possono dare luogo a fenomeni anche gravi di contaminazione delle matrici ambientali (suoli, aria, acque superficiali e sotterranee) per mezzo di fenomeni di erosione eolica, erosione idrica, drenaggio acido ecc.
In diversi casi le strutture di deposito sono ormai fatiscenti e in precarie condizioni di stabilità statico-strutturale.
L'esigenza di controllo delle strutture di deposito dei rifiuti estrattivi, al fine di prevenire i molti eventi incidentali, anche catastrofici, che le hanno coinvolte in varie parti del mondo e anche in Italia (Val di Stava, 1985) ha portato la CE ad emanare la direttiva 2006/21/CE "Gestione dei rifiuti delle industrie estrattive" disponendo, per ciascuno Stato membro, la realizzazione dell'inventario delle sorgenti di pericolo, ricadenti sul proprio territorio, entro il 1° maggio 2012, ed il periodico aggiornamento.

L'Italia ha recepito la norma europea con il D.Lgs. 30 maggio 2008 n.117 che stabilisce, come finalità, le misure, le procedure e le azioni necessarie per prevenire o per ridurre il più possibile eventuali effetti negativi per l'ambiente, nonché eventuali rischi per la salute umana, conseguenti alla gestione dei rifiuti prodotti dalle industrie estrattive (art. 1).

Il D.Lgs. 117/08 prevede che le industrie estrattive si dotino di uno specifico Piano di Gestione dei rifiuti estrattivi ma dal Dlgs sono escluse le attività precedenti alla sua entrata in vigore.

Lo stesso DLgs. prevede la realizzazione dell'Inventario nazionale delle strutture di deposito di rifiuti estrattivi di tipo A, che, allo stato attuale, rappresenta l'unica fonte nazionale di informazioni sulla presenza di rifiuti estrattivi, limitata però ad un unico punto per ogni sito minerario. È quindi necessaria la mappatura accurata di tutte i depositi di rifiuti che possono essere anche diverse centinaia per singolo sito minerario (Figura 4) e di diversa origine.

A differenza di quanto previsto dagli altri Stati Membri, che hanno incluso direttamente nei finanziamenti PNE anche la mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi, **i rifiuti estrattivi nazionali, pur trattati in questo testo in ottemperanza a quanto richiesto del Regolamento EU 1252/2024, hanno una apposita linea di finanziamento per la loro mappatura a caratterizzazione in uno specifico Progetto PNRR denominato URBES (URBan mining and Extractive waste information System).**

Essendo le tematiche dei potenziali giacimenti ed i rifiuti estrattivi prodotti dalle vecchie attività minerarie inevitabilmente interconnesse i due progetti, anche se agenti su aspetti diversi dell'attività mineraria, procederanno in armonia e avranno un naturale interscambio di informazioni pur mantenendo ben separate le relative voci di costo.

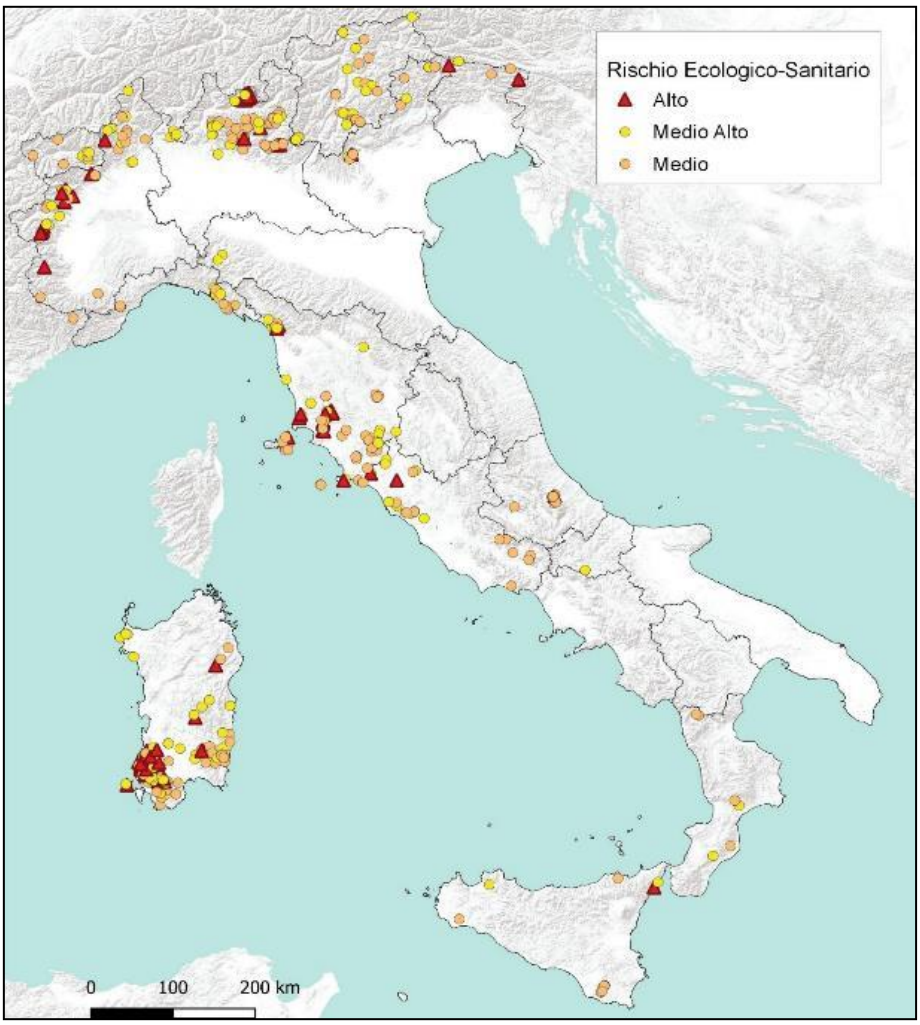

Figura 6 - Siti minerari con presenza di depositi di rifiuti estrattivi pericolosi per l'ambiente (ISPRA 2024)

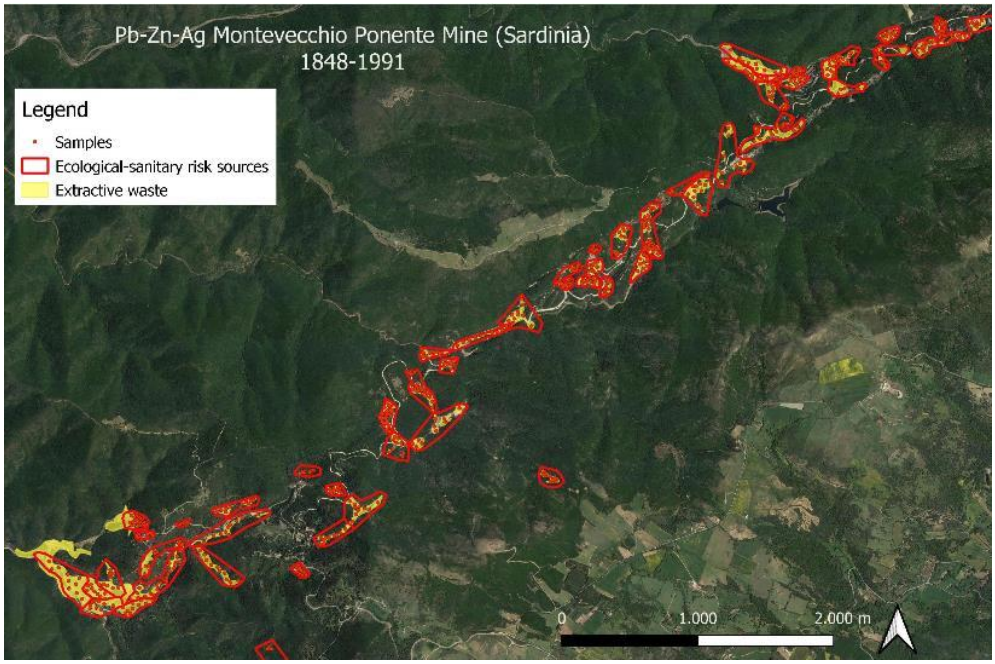

Figura 7 - Miniera di Pb-Zn-Ag di Montevecchio Ponente (Sardegna). presenza di 130 discariche per circa 3 milioni di mc di materiale, dati analitici disponibili solo per i primi 30cm di suolo

3.3 La ricerca mineraria in aree marine (DL 84/2024, art. 3, comma 8)

La questione dell'estrazione mineraria dai fondali marini è al centro di accese discussioni a livello interazionale soprattutto in relazione agli effetti ancora molto poco conosciuti sull'ecosistema marino. D'altra parte, se condotta con estrema attenzione alla mitigazione degli effetti negativi, la coltivazione delle risorse marine può diventare una valida alternativa alla fornitura terrestre dei materiali critici per il nostro sviluppo economico. Prima di parlare di estrazione, ed in accordo con la posizione italiana ed europea espressa negli specifici consessi regolatori internazionali (International Seabed Autority) è però necessaria una prolungata fase di ricerca mirata non solo alla definizione delle risorse disponibili ma anche alle metodiche di coltivazione, mitigazione e ripristino e ad una analisi costi-benefici, come base di una attenta valutazione degli impatti ambientali.

La questione dello sfruttamento dei fondali marini, soprattutto in aree ambientalmente delicate di grande valore come quelle dei fondali mediterranei, dovrebbe essere quindi inserita in una discussione più ampia da condurre anche nell'ambito dei regolamenti europei ed internazionali.

Relativamente al riferimento nel DL 84/2024 alla carta mineraria si significa, come affermato da ISPRA in sede di Audizione, che questo Programma Nazionale di Esplorazione mineraria non prevede, al momento e stante le risorse economiche disponibili, la realizzazione di ulteriori indagini sui fondali marini. I dati contenuti nel database minerario GeMMA sono riferiti alle indagini già compiute nel corso di specifiche compagne di ricerca a mare. Tali dati riguardano essenzialmente i depositi di sabbie marine situate nella piattaforma continentale antistante le aree costiere, alcuni dei fondali prospicenti le isole vulcaniche e alcuni dei vulcani sottomarini tirrenici. Come esplicitato più avanti, ISPRA si impegna a raccogliere tutti i dati disponibili sulle risorse minerarie marine anche stringendo collaborazioni con altre attività progettuali in corso come, ad es., il progetto PNRR MER e con altri enti che potrebbero essere depositari di informazioni di interesse (CNR, OGS ecc.).

Figura 8a - Siti dei campionamenti di sabbie marine costiere e seamount realizzati nel corso del progetto RIMIN

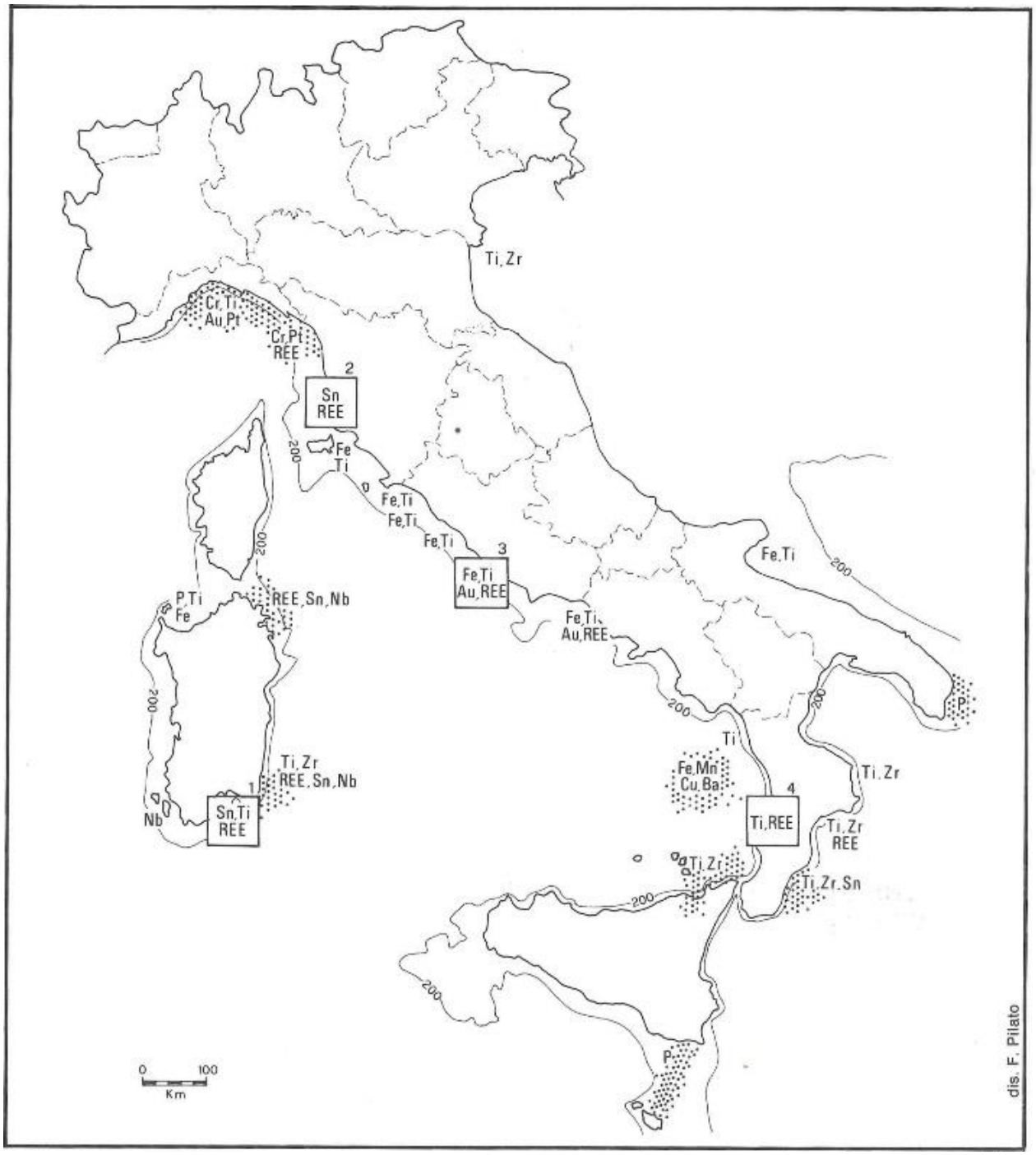

Figura 8b - Sintesi dei risultati degli studi effettuati nel corso del progetto RIMIN

4 – ACQUISIZIONE E GESTIONE DEI DATI

4.1 – Acquisizione ed elaborazione dei dati

Come risulta evidente dalle attività previste ed inserite nella descrizione delle aree di indagine descritte nel capitolo 6, nelle singole aree di esplorazione le modalità di acquisizione e gestione dei dati sono molto simili tra loro e seguono un percorso predefinito in fase di pianificazione per riuscire ad ottenere una omogeneità delle informazioni a livello nazionale. L'eventuale utilizzo di peculiari metodologie di acquisizione è riportato nella descrizione delle aree di indagine.

Di seguito si riportano, pertanto, i criteri generali che comprendono:
1) la rielaborazione di set di dati esistenti,
2) l'elaborazione di nuovi dati acquisiti
3) l'integrazione di entrambi per identificare il potenziale di depositi minerari in greenfield e in brownfield.
4) la valutazione, di massima, del potenziale economico

La maggior parte delle ricerche interessano aree già oggetto di coltivazione mineraria e nelle quali le attività previste per greenfield e brownfield si intersecano tra loro. Quando non esplicitamente specificato i criteri seguenti sono, quindi, da intendersi validi sia per greenfields sia per brownfields.

1) Recupero e rielaborazione dei Dati esistenti:

Questa attività si concentra sulla massimizzazione delle informazioni estratte dai dati già disponibili per ciascuna area di indagine.
In una situazione come quella italiana nella quale è stato condotto, alla fine del secolo scorso, un dispendioso programma di ricerca mineraria di base (RIMIN) il recupero dei dati prodotti è una attività imprescindibile ed indispensabile così come la loro rivalutazione sulla base delle moderne concezioni giacimentologiche.

a) Acquisizione, revisione ed informatizzazione dei dati pregressi:

Greenfield: Raccolta di tutti i set di dati disponibili dagli archivi nazionali, regionali e locali, inclusi mappe geologiche, rapporti, pubblicazioni accademiche, immagini telerilevate (satellitari, aeree), indagini geofisiche (magnetiche, gravimetriche, elettromagnetiche, radiometriche, muoniche), indagini geochimiche (stream sediments, suolo, roccia) e qualsiasi dato storico di esplorazione (registri di perforazione, saggi).
Brownfield: Acquisizione, quando e se disponibili, dei registri operativi dettagliati delle passate attività minerarie, inclusi piani di miniera, dati di produzione, metodi di lavorazione, studi di caratterizzazione dei rifiuti (geochimici, mineralogici), dati di monitoraggio ambientale, dati storici di esplorazione intorno al sito minerario e qualsiasi indagine geofisica e geochimica disponibile.

In diversi siti minerari sono attive o previste o concluse procedure di bonifica per la rimozione delle problematiche ambientali relative ai rifiuti estrattivi. L'integrazione tra le attività di bonifica e di caratterizzazione mineralogica finalizzata al recupero di CRM è da **discutere e valutare con gli organismi nazionali e regionali competenti in materia di bonifica.**

b) dei Dati e Controllo di Qualità:

Saranno implementate procedure di controllo di qualità per identificare e affrontare errori, incongruenze e distorsioni all'interno di ciascun set di dati. Ciò include la verifica dell'accuratezza geografica, della completezza dei dati, della precisione analitica e della coerenza nelle unità e nei formati. I formati dei dati saranno standardizzati a cura del CTS. Quando possibile si prevede la ricampionatura negli stessi punti al fine di verificare l'attendibilità dei dati pregressi.

c) Rielaborazione dei dati geologici, geofisici, geochimici, telerilevati ed economici:

Le carte **geologiche** e le sezioni geologiche disponibili dovranno essere digitalizzate, anche tramite l'utilizzo di specifici software di Intelligenza artificiale, e georiferite.

La creazione di affidabili modelli geologici 3D necessita di molti dati di sottosuolo, il recupero delle stratigrafie dei sondaggi e delle loro analisi e, se possibile, delle originarie carote è prioritario.

Ai set di dati **geofisici**, quando esistenti, dovranno essere applicate tecniche di elaborazione avanzate per migliorare i rapporti segnale-rumore, aumentare la risoluzione e derivare mappe di proprietà fisiche rilevanti (ad esempio, suscettività magnetica, densità, resistività elettrica, caricabilità). Ciò può comportare filtraggio, livellamento, grigliatura e trasformazioni avanzate (ad esempio, segnale analitico, derivata di tilt per la magnetica; inversione per modelli di densità o resistività).

L'insieme dei dati geologici e geofisici, può aiutare a reinterpretare le strutture geologiche e le unità litologiche sulla base delle attuali conoscenze e identificare le possibili ulteriori azioni di telerilevamento e geofisica.

Ai set di dati **geochimici** saranno applicate tecniche statistiche e spaziali per identificare concentrazioni anomale di elementi target ed elementi traccianti. Ciò include statistiche di base, analisi dei dati (istogrammi, box plot, grafici a dispersione), mappatura spaziale delle distribuzioni elementari, metodi statistici multivariati (ad esempio, analisi delle componenti principali, analisi fattoriale) per identificare associazioni geochimiche e potenziali segnature di mineralizzazione.

Per i rifiuti estrattivi è necessario rivalutare i dati geochimici e mineralogici, quando esistenti, per quantificare le concentrazioni e la distribuzione mineralogica dei materiali critici. Ciò può comportare il ricalcolo dei saggi, la reinterpretazione dei rapporti mineralogici e potenzialmente l'applicazione di tecniche di apprendimento automatico per identificare modelli e prevedere la distribuzione dei CRM all'interno del corpo di rifiuti.

L'analisi dei dati **economici** tramite il recupero dei registri storici di produzione è di estrema utilità nella comprensione della possibile distribuzione spaziale del minerale

estratto, delle potenziali zone di mineralizzazione residua o di zone a basso grado non coltivate. Nel caso dei rifiuti estrattivi, conoscere i metodi ed i periodi di produzione può indirizzare la ricerca di CRM nei depositi.

2) Elaborazione di nuovi Dati acquisiti durante le campagne di esplorazione

Per ciascuna area di indagine devono essere seguiti dei flussi di lavoro comuni con eventuali miglioramenti e procedure aggiuntive in funzione delle metodologie di indagine.

a) Acquisizione dati e controllo qualità

In ciascuna area devono essere implementati i protocolli definiti dal Comitato Tecnico Scientifico per l'acquisizione dei dati, inclusa la precisa localizzazione GPS per tutti i campioni e i punti di rilevamento, per le procedure di campionamento, manipolazione e conservazione dei campioni e per quelle del loro invio ai laboratori di analisi. Sono compresi i controlli di qualità sulla affidabilità degli strumenti utilizzati.

b) Elaborazione dei dati geologici, geofisici, geochimici, e telerilevati

Il rilevamento **geologico**, strutturale e petrografico è l'elemento di base che deve essere condotto utilizzando legende e criteri di rappresentazione comuni o compatibili, definiti dal Servizio Geologico d'Italia. Per la rappresentazione areale, lineare e puntuale in ambiente GIS sarà utilizzato software open source. Devono essere descritte litologia, alterazione, mineralizzazioni, caratteristiche strutturali. Nelle fasi iniziali di rilevamento sono previsti semplici campionature a martello e successivamente minicarote con carotieri portatili nelle aree più interessanti. Tutte le campionature devono essere assistite da strumentazione portatile (es. XRF, raggi gamma, lampada UV) utile a definire la composizione mineralogica.

I dati **geofisici** di nuova acquisizione devono utilizzare software e tecniche appropriate con applicazione di correzioni, filtraggio ed elaborazione avanzata per generare mappe ad alta risoluzione e modelli 3D delle proprietà fisiche rilevanti. Ad esempio, elaborare i dati elettromagnetici aerotrasportati (AEM) per creare sezioni di resistività in profondità e modelli di resistività 3D. Per i rifiuti estrattivi è necessario elaborare i dati provenienti da indagini geofisiche specificamente progettate per la caratterizzazione dei rifiuti (ad esempio, tomografia a resistività elettrica, polarizzazione indotta) per mappare la struttura interna, il contenuto di umidità e la potenziale presenza di materiali conduttivi o caricabili associati all'arricchimento di CRM.

I dati **geochimici** derivanti analisi di laboratorio per campioni di roccia, suolo, stream sediments devono essere elaborati tramite l'applicazione di tecniche statistiche e spaziali per identificare nuove anomalie geochimiche e affinare quelle già conosciute.

È necessario utilizzare i dati QA/QC (bianchi, standard, duplicati) per valutare l'accuratezza e la precisione dei risultati analitici. Per i rifiuti estrattivi sarà necessario prevedere un raffittimento delle maglie di campionamento a seguito della prima fase di caratterizzazione, per delineare meglio le aree con i maggiori contenuti in CRM all'interno del corpo dei rifiuti

Alle nuove acquisizioni di immagini **telerilevate** satellitari, aeree o da drone ad alta risoluzione, per mappare caratteristiche geologiche, alterazioni e potenzialmente identificare firme spettrali correlate alla mineralizzazione o all'arricchimento di CRM nelle aree di rifiuti, devono essere applicate tecniche avanzate di analisi spettrale (ad esempio, separazione spettrale, rilevamento di target).

3) *Integrazione dei dati pregressi con quelli di nuova acquisizione:*

Tutte le informazioni disponibili saranno utilizzate per costruire modelli concettuali possibilmente robusti per l'identificazione del potenziale dei depositi minerari utilizzando i seguenti criteri:

a) Georeferenziazione e integrazione dei dati in GIS:

Integrazione di tutti i dati georeferenziati (mappe geologiche, griglie geofisiche, dati puntuali geochimici, immagini di telerilevamento, ubicazioni dei sondaggi, perimetri dei depositi di riìfiuti) nel database minerario nazionale GeMMA.

b) Analisi Spaziale dei Dati e Sovrapposizione:

Analisi di sovrapposizione spaziale per identificare aree in cui coincidono più indicatori di mineralizzazione. Ad esempio, sovrapporre anomalie geochimiche con strutture geologiche favorevoli, zone di alterazione identificate dal telerilevamento e anomalie geofisiche.

c) Modellazione Geologica e Geofisica 3D:

Tutti i dati utili (carte geologiche superficiali, interpretazioni strutturali, inversioni geofisiche e dati del sottosuolo) saranno utilizzati per creare modelli 3D completi della geologia e delle proprietà fisiche del sottosuolo. Ciò consente la visualizzazione e l'analisi di potenziali corpi minerari e dei loro controlli geologici.

Anche per i depositi di rifiuti estrattivi si prevede la creazione di modelli 3D incorporando sondaggi, dati mineralogici e proprietà geofisiche per identificare la distribuzione spaziale dei CRM. Importante è anche l'analisi dei dati storici di produzione per comprendere come la distribuzione dei CRM possa essere correlata alle passate attività minerarie e ai metodi di lavorazione per comprendere i percorsi di arricchimento di CRM nei rifiuti e potenzialmente identificare zone più concentrate.

d) Targeting di Anomalie Geochimiche:

Tramite l'integrazione di dati geologici, geofisici e di telerilevamento si cercherà di correlare le anomalie geochimiche con il contesto geologico anche per sviluppare

modelli predittivi per la mineralizzazione basati sulle relazioni spaziali tra le segnature geochimiche e altre caratteristiche geologiche.

e) Apprendimento Automatico e Modellazione Basata sui Dati:

Applicare algoritmi di apprendimento automatico (ad esempio, reti neurali artificiali, macchine a vettori di supporto, foreste casuali) per identificare modelli e relazioni complesse all'interno dei set di dati integrati che potrebbero non essere evidenti attraverso metodi tradizionali. Ciò può essere utilizzato per la mappatura della prospettività mineraria nei greenfield e per prevedere i gradi e la distribuzione dei CRM nei brownfield.

f) Mineral Prospecting Mapping (MPM):

I modelli MPM basati sui set di dati integrati, saranno sviluppati assegnando pesi a diversi strati conoscitivi (geologia, geofisica, geochimica, telerilevamento) in base alla loro nota associazione con il tipo di deposito minerario target. I layer saranno combinati utilizzando la logica fuzzy, la logica booleana o approcci basati sui dati per generare mappe che evidenzino le aree con elevato potenziale minerario.

g) Generazione e prioritizzazione dei Target:

Sulla base dei risultati dell'analisi e della modellazione dei dati integrati, sarà generato un elenco prioritario di target per ulteriori indagini (ad esempio, indagini geofisiche e sondaggi). La prioritizzazione terrà conto delle evidenze, del contesto geologico, dell'accessibilità e della potenziale redditività economica.

4) Valutazione del potenziale economico

La stima di massima del potenziale economico dei possibili giacimenti primari e recupero di CRM dai rifiuti estrattivi verrà condotta in una seconda fase, a conclusione delle attività di ricerca e, nel caso dei rifiuti estrattivi, a seguito del processo di mappatura e caratterizzazione delle strutture di deposito chiuse o abbandonate, descritto in precedenza.

La sua accurata definizione che comprende i test metallurgici, le valutazioni sugli impatti ambientali e sociali, i costi operativi, i costi capitale, l'analisi di mercato dei CRM recuperati, l'analisi finanziaria e la valutazione dei rischi tecnici e di mercato **prescinde dall'attività di base condotta da ISPRA ed è da considerarsi a carico delle compagnie minerarie interessate all'investimento**.

4.2 La gestione dei dati: Il database minerario nazionale

L'art. 19 del regolamento EU 1252/2024 tra le azioni da intraprendere per realizzare il programma nazionale di esplorazione prevede al comma 2e anche la "rielaborazione dei dati delle indagini esistenti per individuare eventuali mineralizzazioni non rilevate contenenti materie prime critiche e minerali vettori di materie prime critiche".

Tale punto è stato inserito al comma 8 dell'art. 10 della L. 115/2024 cui ISPRA ha ottemperato il 24 luglio 2024 aprendo al pubblico il proprio database minerario nazionale. Il database **GeMMA** (Geologico, Minerario, Museale, Ambientale) contiene informazioni su tutti siti minerari coltivati nel Paese a partire dell'Unità d'Italia, momento a partire dal quale si riesce ad ottenere una informazione mineraria omogenea. Il geodatabase (Figura 9) è realizzato in totale coerenza con il database europeo Mintell4EU[1] e rappresenta il punto di accesso ad una serie di banche dati specifiche già realizzate o in via di realizzazione.
Tale attività non deve essere, però, considerata conclusa ma in continua evoluzione con il procedere dell'attività di recupero delle informazioni pregresse, anche tramite specifici accordi con altri Enti detentori dei dati.
Questa attività di recupero, analisi e validazione del patrimonio informativo esistente, ha rappresentato la base informativa per l'individuazione delle aree da sottoporre a nuove analisi nell'ambito del programma di esplorazione generale.

Figura 9 - Home page del Database GeMMA[2]

Il geodatabase "M4EU_ISPRA" si basa su un modello di riferimento consolidato, derivato dal progetto europeo MINERALS4EU (Minerals Intelligence Network for Europe), adattato alle esigenze specifiche del contesto italiano. Questo modello costituisce un framework tecnico avanzato, progettato per integrare e gestire dati geospaziali e di attributi complessi relativi alle risorse minerarie. La struttura tecnica del database è stata potenziata per garantire robustezza, scalabilità e conformità agli standard internazionali.

4.2.1 Struttura del database

Il modello adottato eredita le caratteristiche principali dello schema MINERALS4EU, arricchito con funzionalità specifiche per l'Italia. È costituito da una serie di livelli spaziali

[1] Mineral Intelligence for Europe (Mintell4EU) – GeoERA
[2] https://sinacloud.isprambiente.it/portal/apps/sites/#/miniere

interconnessi e tabelle relazionali, implementati su PostgreSQL con l'estensione PostGIS per il supporto geospaziale. Le principali caratteristiche tecniche includono:

1. Relazioni tra tabelle: collegano le informazioni sui siti minerari (ad esempio, ubicazione, tipo di risorsa) con i dati operativi (ad esempio, stato di attività, periodo di estrazione).
2. Indici spaziali: ottimizzano le query geospaziali, riducendo i tempi di risposta per analisi territoriali su larga scala.
3. Domini di validità: impongono vincoli sui campi degli attributi, garantendo coerenza e accuratezza dei dati.
4. Vocabolari controllati: garantiscono l'interoperabilità semantica attraverso standard definiti, tra cui:

   ✓ https://inspire.ec.europa.eu/applicationschema/mr-core: schema applicativo INSPIRE per le risorse minerarie.

   ✓ http://inspire.ec.europa.eu/codelist/: elenchi di codici INSPIRE per la standardizzazione dei termini.

   ✓ https://data.geoscience.earth/ncl/: vocabolari geoscientifici per classificazioni tecniche.

   ✓ http://resource.geosciml.org/classifier/cgi/: classificazioni geologiche CGI.

   ✓ http://www.minerals4eu.eu/codeList/unfc/: sistema UNFC per la classificazione di risorse e riserve.

La scelta di PostgreSQL/PostGIS è motivata dalla sua capacità di gestire grandi dataset spaziali, offrendo funzionalità come query geometriche, indicizzazione spaziale e compatibilità con gli standard OGC (Open Geospatial Consortium). Il database supporta operazioni complesse, come l'analisi spaziale della distribuzione delle risorse e la correlazione tra dati geochimici e geologici. Inoltre, il modello è scalabile: è possibile aggiungere nuovi layer o tabelle senza alterare la struttura esistente, rendendolo adatto a future espansioni.

4.2.2 Contenuto del Geodatabase

Il contenuto del Geodatabase deriva da un'attività pluriennale di censimento e aggiornamento, avviata con il Censimento dei Siti Minerari condotto dall'ISPRA tra ottobre 2002 e marzo 2006. Questo censimento ha mappato tutti i siti minerari attivi durante il periodo, compresi quelli ancora operativi o con concessioni in corso di validità. Le fonti, sia dirette che indirette, includono:

- ✓ Registri censuari del DICMA (1989).
- ✓ Relazioni annuali del Servizio Minerario (1877-1983).
- ✓ Bollettini della Rivista Mineraria Siciliana (1960-1990).
- ✓ Gazzetta Ufficiale e Bollettini Ufficiali Regionali (BUR) per i decreti minerari.
- ✓ Registri delle Concessioni degli Ex Distretti Minerari, ove disponibili.

L'ambito di applicazione comprende i minerali solidi di prima categoria (art. 2, RD n. 1443 del 29/07/1927), con particolare attenzione alle materie prime critiche (CRM) e alle materie prime strategiche (SRM).

Il contenuto integrato include:

- Distribuzione nazionale dei siti: il livello *miningfeatureoccurence* definisce le tipologie di risorse (ad esempio, minerali metallici o industriali) e le ubicazioni geografiche, con diversi gradi di precisione delle coordinate.
- Proprietà del sito: la tabella della miniera registra i dettagli operativi, come i periodi di attività (date di inizio e fine), lo stato attuale (attivo, abbandonato, in concessione) e altre caratteristiche tecniche.

Un pilastro del database è stato il continuo impegno nel definire e implementare processi di integrazione per i dati provenienti da diversi database, con l'obiettivo di consolidare un Geodatabase nazionale unificato e interoperabile. Sono stati presi in considerazione tutti i database accessibili a ISPRA, che comprendono un'ampia gamma di dati storici, operativi e geoscientifici sulle risorse minerarie solide italiane. Questo impegno prevede la standardizzazione dei formati, la risoluzione dei conflitti semantici e l'allineamento con i vocabolari controllati da INSPIRE. Questo sforzo di integrazione è ancora in corso, con la ricostruzione dei depositi di rifiuti minerari e la loro valutazione quantitativa identificate come la sfida principale. I database presi in considerazione includono:

1. Database dei siti minerari abbandonati (1870-2023) (ISPRA): questo database, punto di partenza del Geodatabase "M4EU_ISPRA" come descritto in seguito ("Contenuto Integrato"), raccoglie dati storici sui siti minerari abbandonati in un arco di oltre 150 anni. L'integrazione ha richiesto un complesso processo di georeferenziazione, spesso basato su descrizioni testuali d'archivio prive di coordinate precise, e l'armonizzazione con il livello *miningfeatureoccurrence* per definire posizioni geografiche e tipi di risorse.

2. Database delle miniere attive (ISPRA-Istat-Regioni): raccoglie i dati sulle miniere operative, in collaborazione con Istat e Regioni. Il processo di integrazione è in corso, con l'obiettivo di standardizzare i dati.

3. Database dei permessi di esplorazione attivi (ISPRA-Istat-Regioni): registra i permessi di esplorazione in corso, comprese le aree geografiche e gli enti autorizzati.

L'integrazione prevede l'allineamento delle coordinate con il sistema EPSG:25832 e l'incorporazione in layer spaziali.

4. Database dei giacimenti italiani noti: digitalizzazione della Carta Mineraria d'Italia, edizioni del 1927 e del 1973 (ISPRA): derivato dalla digitalizzazione delle Carte Minerarie storiche. Il processo include la vettorializzazione delle mappe cartacee, la correzione degli errori di proiezione e l'importazione di dati georeferenziati.

5. Inventario delle strutture di deposito dei rifiuti estrattivi chiuse/abbandonate (ISPRA). L'inventario, realizzato in ottemperanza del D.Lgs 117/2008, contiene dati su discariche e depositi di rifiuti minerari, finalizzati alla valutazione del rischio ecologico-sanitario e statico-strutturale. La classificazione in base alla categoria di rischio è stata realizzata congiuntamente da ISPRA e Regioni, ed è sostanzialmente finalizzata ai procedimenti di bonifica di siti contaminati. La valutazione quantitativa dei materiali presenti, in termini di CRM/SRM, è compito del progetto URBES, successivamente descritto.

6. Database della Rete ReMi dei Parchi e Musei Minerari (ISPRA): raccoglie dati sui siti minerari di rilevanza culturale e turistica, vale a dire aree minerarie dismesse sottoposte negli anni a processi di tutela e valorizzazione sul territorio italiano, tra cui i quattro Parchi Minerari Nazionali istituiti con Decreti dell'attuale MASE negli anni 2000. Il processo ha comportato l'aggiunta di attributi specifici.

7. Database RIMIN – Ricerca Mineraria di Base (MASE-UNMIG, 1982-2005): include dati geochimici, geofisici e mineralogici. L'integrazione parziale è iniziata, ma sono necessari ulteriori sforzi per l'incorporazione completa a causa della complessità del formato.

8. Database delle Risorse minerarie marine (MASE-UNMIG, 1982-2005; ISPRA): comprende le informazioni dei campionamenti effettuati nel corso dell'attività RIMIN, riferiti essenzialmente ai *placers* costieri di sabbie metallifere. Sono stati inseriti anche le info riguardanti i vulcani sottomarini dell'area tirrenica.

9. Database delle cave per pietre ornamentali (ISPRA): sono identificate le principali cave di produzione dei litotipi ad uso ornamentale inseriti nella UNI ISO 14440. In diversi di questi sono presenti anche materiali critici

10. Database della cartografia geologica ufficiale: include dati geologici e minerari provenienti da:

- CARG, Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000 e rilievi originali alla scala 1:10.000: mappe dettagliate integrate come layer di supporto per la contestualizzazione geologica.
- Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 e rilievi originali d'autore alla scala 1: 25.000: digitalizzati e armonizzati per correlare i depositi con le caratteristiche litologiche, tramite conversione da raster a vettoriale e allineamento INSPIRE.
- Carta geologica d'Italia alla scala 1:500.000

11. Database Geochimico Nazionale (ISPRA, in fase di revisione): fornisce analisi chimiche delle risorse minerarie, in gran parte desunte dai dati RIMIN, con integrazione preliminare e mappatura nei vocabolari di geosciml.org ancora in corso.

12. Database Geofisico Nazionale (ISPRA, in fase di realizzazione): contiene la localizzazione e, ove disponibile, i risultati dei rilievi geofisici di possibile interesse minerario.

13. Digitalizzazione di dati storici e statistici dagli archivi del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA, in fase di revisione): include statistiche e rapporti storici, con integrazione in corso.
14. Database delle aree protette (MASE, ISPRA): contiene le informazioni georiferite delle 871 aree naturali protette iscritte nell'elenco ufficiale del MASE (parchi nazionali e regionali, riserve naturali statali e regionali, aree marine protette) e delle aree protette da Natura 2000

4.2.3 GeMMa ed i progetti di ricerca mineraria del PNE

All'interno del portale delle risorse minerarie GeMMA si sta realizzando una apposita sezione dedicata ai progetti di ricerca nelle aree a più elevato potenziale minerario identificate come prioritarie nel PNE e descritte nel capitolo 6 di questo documento.
La sezione PNE del portale rimanda a 14 pagine corrispondenti alle aree di indagine. Ogni pagina è collegata con il database giacimentologico e minerario nazionale, e contiene la descrizione del contesto geologico, giacimentologico e minerario ovviamente accompagnato da adeguata rappresentazione cartografica, che evidenzi anche le aree già soggette ad attività mineraria (brownfields). Sarà anche evidenziata la presenza di aree a qualsiasi titolo protette, per le evidenti ripercussioni sia sull'attività di ricerca sia, e soprattutto, sulle potenziali e futuribili attività di ricerca operativa e di successiva coltivazione. Le aree saranno collegate, inoltre, ai database geologici, geomorfologici, idrogeologici e territoriali del Servizio Geologico d'Italia e del Sistema Informativo Nazionale Ambientale, in modo tale di avere una visione completa dell'assetto territoriale, anche in vista di possibili valutazioni di impatto ambientale.
Nella fase iniziale le pagine riportano i dati disponibili da letteratura ma sono predisposte per accettare gli stati di avanzamento delle attività di Fase 1, inclusa la valutazione finale dei risultati ottenuti e gli eventuali proseguimenti di ricerca in Fase 2 e Fase 3.
La fornitura dei dati all'esterno dovrà essere concordata con il MASE, tenendo anche presente la possibile presenza di documentazione soggetta a copyright (pubblicazioni scientifiche) e di eventuali dati sensibili e non divulgabili.
In tutte le aree di indagine saranno riportati anche le informazioni sui rifiuti estrattivi presenti con rimando alla specifica piattaforma sulle materie prime seconde che si sta realizzando nell'ambito del PNRR URBES (vedi 3.2).
Analogamente saranno trattate anche le altre aree relative ai rifiuti estrattivi descritte nel capitolo 6.

4. 3 - Integrazione e armonizzazione del PNE con altri progetti in corso

Per evitare diseconomie e finanziamenti multipli e/o ridondanti si ritiene necessaria la ricognizione dei progetti nazionali, locali, ed EU che possano presentare affinità con il PNE e fornire informazioni utili alla comprensione del potenziale minerario nazionale.
In prima analisi si ritiene pertanto indispensabile il confronto con i seguenti progetti in carico ad ISPRA o altri soggetti:

CARG: Carta geologica d'Italia 1:50.000
La cartografia geologica a scala di semi dettaglio è di fondamentale importanza per la ricostruzione dell'assetto strutturale che può condizionare e determinare la presenza di aree mineralizzate. È prevista una specifica task dedicata alla revisione dei criteri di rilevamento e di rappresentazione grafica delle mineralizzazioni e siti minerari dei nuovi Fogli CARG classici. Ciò permetterà di evidenziare nelle cartografie geologiche ufficiali dello Stato anche alcuni elementi informativi di base relativi alle mineralizzazioni presenti, utili in prospettiva di rilevamenti a carattere minerario.
A tal proposito è in lavorazione uno specifico foglio sperimentale Geominerario a scala 1:50.000 in una delle aree sarde più significative dal punto di vista minerario (Guspini, Iglesiente) ed è già attivo uno specifico GdL tra ISPRA e UNICagliari, incaricato dell'esecuzione del progetto. Il Foglio "Guspini" è anche propedeutico alla definizione della legenda da applicare ai futuri e auspicabili Fogli geominerari.

Progetto PNRR URBES
Il progetto ha l'obiettivo di mappare e caratterizzare le fonti di approvvigionamento di materie prime seconde a partire dai rifiuti estrattivi delle pregresse attività minerarie da miniere/cave, collocati in strutture di deposito chiuse e/o abbandonate e risponde a pieno ai dettami dell'art. 27 del regolamento EU 1252/2024. URBES è significativamente legato al PNE, operando sui vecchi siti minerari che erano l'espressione territoriale della presenza dei giacimenti.
Le finalità dei progetti sono ovviamente molto diverse trattandosi da una parte di recupero di materie prime seconde e dall'altra della definizione delle potenzialità dei giacimenti naturali, ma in buona parte le aree d'indagine andranno a sovrapporsi. In questo caso sarà fatta una grande attenzione ad evitare qualsiasi conflitto di spesa e/o doppio finanziamento per le medesime attività puntando altresì a sinergie virtuose e alla massimizzazione della ricerca per i siti di interesse comuni.

Progetto PNRR MER
Nell'ambito del progetto MER sono previste attività di caratterizzazione delle aree marine anche dal punto di vista mineralogico e attività di rilievi ad alta risoluzione di tipo geofisico (gravimetrico), *Lidar* e *multibeam* (per le aree sommerse) delle aree costiere. E' prevista anche la mappatura di circa 79 monti sottomarini (*seamounts*), localizzati oltre le 12 miglia nautiche nel Mar Ligure, alto e basso Tirreno, canale di Sicilia, Mar di Sardegna, Mar Ionio e Mare Adriatico meridionale, tra i 200 e i 2000 m di profondità. Per tale

obiettivo, si utilizzeranno robot sottomarini (ROV) in grado di registrare video in alta definizione e strumenti acustici ad alta risoluzione. Oltre a fornire dati geologici e minerari l'attività di MER è fondamentale per la comprensione degli ecosistemi sottomarini e per la valutazione di impatto ambientale di eventuali istanze di permessi di ricerca mineraria sui fondali marini, soprattutto quando interessano aree ad elevata sensibilità ambientale come quelle dei *seamounts* mediterranei.
Sarà cura del coordinamento del PNE stabilire accordi con il coordinamento MER al fine di acquisire/condividere ed inserire nei reciproci databases le informazioni utili.

Database Minerali Industriali del CNR - ISSMC

Il CNR ISSMC ha elaborato un cospicuo database sui minerali ad uso ceramico ed industriale presenti sul territorio nazionale. Alcuni di questi sono critici (Feldspati, Fluorite) altri rappresentano una voce importante nell'economia nazionale al punto che potrebbero essere considerati strategicamente importanti in base all'articolo 14bis del DL 84/2024 (es. bentoniti, caolino, zeoliti). ISPRA e CNR hanno già avviato un protocollo di intesa per la condivisione di queste informazioni.

Database Regionali, GeoSciences IR e database ISTAT cave-miniere

Quasi tutte le regioni hanno organizzato le informazioni relative alle attività estrattive in specifici databases che risultano però fortemente disomogenei tra di loro. Tramite un'azione svolta da ISTAT e ISPRA negli anni scorsi è stata definita una metodologia di indagine statistica che ha portato ad avere dati più omogenei sulle attività estrattive in produzione. Il censimento è attualmente condotto da ISTAT e saranno intrapresi i passi necessari per la condivisione dei dati. I databases regionali raccolgono, però, anche informazioni sul pregresso e sulle caratteristiche geologiche delle aree di indagine, nonché le informazioni sui permessi di ricerca in essere o pregressi. Alcune Regioni/PA (Es. Friuli-Venezia Giulia, Trento) stanno provvedendo ad un nuovo censimento delle attività minerarie storiche in coerenza con il database nazionale GeMMA. Con le strutture regionali responsabili delle attività estrattive ISPRA ha da anni un rapporto consolidato e si ritiene necessario il loro coinvolgimento durante le operazioni del PNE. I dati regionali disponibili sono già stati implementati nel database GeMMA realizzato nell'ambito dell'Infrastruttura di Ricerca GeoSciencesIR coordinata da ISPRA, che sarà aggiornato e migliorato nell'ambito del PNE anche nelle sue funzionalità e potenzialità. Nella piattaforma e-learning di GeoSciencesIR sono già presenti diversi prodotti, descritti nel capitolo relativo al Piano di Formazione.

Progetti di remote sensing da satellite/aereo

ISPRA ha consolidato un accordo quadro con ASI e Università di Pavia, per l'utilizzo delle immagini satellitari ottiche finalizzate alle analisi multi e iper-spettrali. È quindi possibile l'acquisizione dei dati PRISMA da applicare in prima analisi sulle aree di indagine già identificate con lo scopo di calibrare le librerie spettrali (ove già disponibili) così come implementarne di nuove, anche al fine di una estensione dell'indagine sull'intero territorio nazionale.

Altre iniziative progettuali attualmente in corso di valutazione, come quella del Politecnico di Torino (*Hyper-Twin*), se approvate, saranno sicuramente tenute in considerazione e accordi in tal senso sono già stati stabiliti. Si stanno anche vagliando le opportunità di intraprendere progetti europei nell'ambito di *EIT Raw Materials*.

Geological Service of Europe (GSEU)

I Programmi Nazionale di Esplorazione previsti dal Regolamento 1252 sono stati attribuiti in genere ai Servizi Geologici degli Stati Membri. Tali Servizi sono raccolti nella Rete GSEU ed è in corso una discussione sulla redazione dei programmi e sulle modalità di realizzazione cui ISPRA partecipa attivamente. Sono stati intrapresi dialoghi costruttivi con alcuni paesi confinanti (Svizzera, Slovenia) finalizzati ad uniformare le aree transfrontaliere e partecipare a progetti comuni

Sistema Integrato di Monitoraggio (SIM) PNRR MASE

Particolare attenzione verrà rivolta a quei dati di base comune già previsti in altre azioni nazionali come, ad esempio, le acquisizioni geomatiche Lidar e quelle geofisiche (Gravimetria) a scala nazionale previste nel SIM.

Altri progetti

Nel corso delle attività tutti i progetti di cui si venga a conoscenza di possibile interesse e interazione con il PNE, saranno sicuramente valutati e saranno intraprese azioni di collaborazione

5 - ORGANIZZAZIONE DEL PROGRAMMA

Il Programma Nazionale di Esplorazione proposto si articola in tre fasi delle quali, al momento, risulta finanziata solo la prima.

Le Fasi 2 e 3 sono, pertanto, da tenere in considerazione solo a seguito di nuove disponibilità. Si sottolinea, comunque, che la tendenza generale degli altri Stati Membri è quella di una programmazione pluriennale delle attività.

- **Fase 1** (luglio 2024/maggio 2026), iniziata a seguito del DL 84 con una prima versione del DB minerario e con partenza del nuovo PNE a valle della sua consegna alla Commissione EU. È dedicata al completamento del database minerario nazionale e all'esecuzioni delle indagini programmate nelle aree a maggior potenziale minerario. **Finanziata con un importo di 3.5 M€;**

  La ricerca di base di fase 1 si esplica, quindi, su due livelli:

  Nazionale: acquisizione di tutte le informazioni disponibili con copertura di livello nazionale

  Locale:

  - *Analisi di immagini satellitari e aeree:* Interpretazione di dati telerilevati per identificare strutture geologiche, anomalie del terreno e alterazioni superficiali che potrebbero indicare la presenza di mineralizzazioni.
  - *Mappatura geologica di dettaglio:* Rilevamento geologico sul terreno per definire la litologia, la stratigrafia, la struttura geologica e le eventuali manifestazioni di mineralizzazione affioranti.
  - *Campionamento di roccia:* Raccolta di campioni di roccia da affioramenti (in superfice e in galleria) e discariche minerarie per analisi petrografiche e geochimiche, revisione di vecchi campionamenti e carote, se disponibili
  - *Prospezione geochimica di dettaglio:* Campionamento sistematico di rocce, suoli e sedimenti dai corsi d'acqua
  - *Indagini geofisiche localizzate:* Utilizzo di metodi geofisici (es. polarizzazione indotta, resistività elettrica, sismica a riflessione) per investigare il sottosuolo
  - *Radiografia muonica:* In specifiche aree saranno testate le potenzialità di questo tipo di indagine al fine di definire l'estensione della mineralizzazione

Trattandosi di ricerca sul terreno le specifiche indagini possono variare tra loro in dipendenza del contesto geologico e minerario, dalle condizioni logistiche e territoriali e dalle risorse disponibili. **Nelle aree di indagine di Fase 1 sono comprese anche tutte le strutture di deposito dei rifiuti estrattivi** presenti.

Si sottolinea che poiché una base fondante del programma di esplorazione è la sua sostenibilità, **le azioni di ricerca saranno condotte in modo responsabile fina dal loro inizio**. Si veda a tal punto quanto programmato nei Piani della Comunicazione, della Formazione e del Coinvolgimento dei portatori di interesse. **Eventuali opposizioni sociali non mitigabili tramite il Piano della Comunicazione potrebbero comportare modifiche nel programma.**

Le successive fasi di sviluppo pluriennale, compresa l'individuazione di nuove aree e temi di ricerca, sono da ridiscutere con i Ministeri competenti sulla base delle

finanze disponibili e di eventuali nuove necessità nazionali derivanti dalla complessità e rapida variabilità delle attuali relazioni internazionali

- Fase 2 (eventuale, giugno 2026/maggio 2028) di durata biennale, dedicata al raffinamento di quanto ottenuto in Fase 1 e all'espansione della ricerca su aree potenzialmente interessanti dal punto di vista minerario ma non investigate in Fase 1, anche sulla base di specifici interventi di remote sensing tramite analisi satellitari e programmi di acquisizione dati da sensori avio/eli trasportati. Proseguimento della caratterizzazione dei rifiuti estrattivi
  Sulla base del potenziale atteso, della vincolistica presente nell'area e dei finanziamenti disponibili può essere programmata una specifica campagna di sondaggi mirata ad ottenere una migliore qualificazione/quantificazione del corpo mineralizzato, la cui tipologia, profondità ed inclinazione saranno definiti caso per caso.
  Le attività previste da questa fase, ove ne ricorrano i termini, saranno sottoposte alle valutazioni ambientali di cui al Titolo III della parte seconda del D.lgs. n. 152/2006 e alla valutazione di incidenza di cui all'art. 5 del DPR n. 357/1997.
  Si ribadisce che anche nel caso di esecuzione di sondaggi non si tratterebbe comunque di una ricerca operativa propriamente detta che comporta, tradizionalmente, l'esecuzione di decine di sondaggi per sito.

- Fase 3 (eventuale, giugno 2028/maggio 2030) di durata biennale, dedicata alla finalizzazione, ed eventuale approfondimento di quanto eseguito in Fase 1 e 2 ed espansione della ricerca nelle aree limitrofe o in altre aree di interesse, anche tenendo conto della possibile variazione della lista dei materiali critici per l'UE.

I finanziamenti di Fase 2 e 3 potranno essere stabiliti anche sulla base dei risultati, auspicabilmente favorevoli, di Fase 1.

Le tre fasi si articolano in 4 specifiche Linee di Attività (LA):

- LA 1 – Coordinamento e gestione: che sarà operativa sia in Fase 1 che in Fase 2 e 3;
- LA 2 – Carta nazionale delle materie prime critiche – Azione desk: dedicata all'implementazione del data base minerario ed articolata in ulteriori tre Sotto Azioni (SA).
- LA 3 – Carta nazionale delle materie prime critiche – campagne di indagini: dedicata all'implementazione del data base minerario attraverso indagini di campagna;
- LA 4 – Formazione, comunicazione e riqualificazione delle risorse umane - Green skills: dedicata alla formazione del personale ed alla disseminazione dei risultati

LA 1 – Coordinamento e gestione

Rappresenta il Comitato tecnico-scientifico che ha il compito del Coordinamento generale del progetto. È costituito da rappresentati di ISPRA, del CNR, delle Università e di componenti già incaricati nel GdL Mining del Tavolo interministeriale MPC. Svolge analisi e valutazione delle informazioni pregresse, al fine dell'identificazione delle aree più significative in relazione ai CRMs e SRMs da

sottoporre ad indagini in Fase 1. Elabora la prima lista dei Critical Raw Materials (CRMs) e Strategical Raw Materials (SRMs) presenti in Italia.
Redige procedure operative che descrivano le modalità di esecuzione della attività di campo (rilevamento, campionamento ecc..). Le procedure possono essere flessibili per adattarsi alle realtà di terreno ma sarà vincolante **l'utilizzo di unità di misura e legende comuni.** Ove previsto saranno utilizzati gli standards definiti da norme di legge. Nell'ottica di evitare diseconomie il CTS prenderà in esame le possibili interazioni con progetti che presentino aspetti di interesse comune. Tramite specifici accordi di collaborazione/condivisione con i responsabili progettuali saranno condivisi/armonizzati i dati minerari acquisiti. Il CTS si occuperà anche delle collaborazioni con i Servizi Geologici EU.
Sarà compito del CTS anche la creazione di un'anagrafe mineraria italiana con nomi di istituzioni, università, società e professionisti che operano nel settore minerario sia in Italia sia all'estero.
Su indicazione del CTS possono essere incaricati soggetti per l'elaborazione di linee guida per la gestione sostenibile delle attività estrattive comprendenti anche la descrizione delle migliori tecniche disponibili (BAT- *Best Available Techniques*) per l'esplorazione mineraria, l'estrazione, il trattamento dei minerali, il riprocessamento dei rifiuti storici, la riabilitazione delle miniere ed il ripristino dei luoghi e di linee guida per la realizzazione del Piano di Monitoraggio dell'attività sull'ambiente, pre, durante e post opera, quest'ultimo da estendersi in un arco temporale ritenuto congruo.
Fornisce inoltre, se richiesto, supporto all'elaborazione della strategia mineraria nazionale impostata su circolarità, sostenibilità, efficienza e giustizia sociale.
In Fase 2 e in Fase 3, il CTS dovrà definire le aree potenzialmente interessanti ma attualmente non idonee al rilascio di permessi di ricerca/concessioni, sulla base della vincolistica e delle condizioni logistiche e sociali. Il coordinatore del CTS relaziona al Comitato Tecnico per le Materie Prime Critiche e Strategiche lo stato di avanzamento lavori.

LA 2 – Carta nazionale delle materie prime critiche – Azione desktop

Sotto Azione (SA) 2/1 – *Raccolta dati*

Raccolta, revisione, armonizzazione ed informatizzazione di tutte le informazioni geologiche, edite ed inedite, riguardanti il territorio nazionale per l'implementazione del database nazionale dei materiali critici e strategici a completamento del Database GeMMA di ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, sviluppato con PNRR GeoSciencesIR e PNRR RePower EU. Individuazione delle aree maggiormente promettenti dal punto di vista minerario, in relazione a CRM, SRM, altri minerali potenziali candidati per rientrare nelle liste EU (es. Zn, Mo) e a minerali di possibile importanza strategica per l'economia nazionale (es. bentoniti, zeoliti).

SA 2/2 – Aggiornamento Carta

Definizione legenda e linee guida per la realizzazione della Carta Nazionale delle Materie prime critiche. Predisposizione della Legenda della Carta anche sulla base di un prototipo della Sardegna elaborato nel PNRR GeoSciencesIR. Revisione dei criteri dei nuovi fogli CARG (Carta geologica d'Italia), predisposizione linee guida per i rilevatori. Analisi della corrispondenza con altri progetti di possibile interesse minerario. Elaborazione della nuova versione della Carta Nazionale delle Materie Prime Critiche e strategiche, corredata dal database e dalle Note Illustrative.

SA 2/3 – *Modelli concettuali*

Elaborazione di nuovi modelli concettuali dei giacimenti nazionali in accordo con la letteratura scientifica nazionale ed internazionale, anche sulla base dei modelli elaborati in Regione Sardegna nell'ambito del PNRR GeoSciencesIR

LA 3 – Carta nazionale delle materie prime critiche – campagne di indagini

Prima campagne di indagini non invasive geologiche, geochimiche, geofisiche, aeree e satellitari su 14 aree significativamente indiziate per la presenza di depositi di CRMs/SRMs, prioritizzate sulla base di quanto acquisto in LA2. Acquisizione dei dati di campo, campionature dei materiali e successive analisi di laboratorio e prove tecnologiche. Acquisto delle attrezzature da campagna e degli strumenti di laboratorio utili per ridurre la dipendenza da laboratori esteri. In Fase 2 e 3 le campagne di analisi saranno estese su circa 30 aree/temi, significativamente indiziate per la presenza di depositi di CRMs/SRMs, prioritizzate sulla base dei risultati di Fase 1 e di eventuali nuove necessità nazionali.

Caratterizzazione chimica, fisica e mineralogica di depositi naturali e antropici - Analisi

Data la mole di campioni necessaria per la caratterizzazione dei depositi naturali ed antropici, sarà utilizzata una rete di laboratori certificati. Dove possibile si farà riferimento ai laboratori della rete SNPA, già sottoposti normalmente a Ring Test che ne garantiscono l'affidabilità. L'utilizzo di eventuali altri laboratori sarà sottoposto al giudizio del CTS che comunque provvederà ad elaborare linee guida in merito. Tra le metodologie per la caratterizzazione mineralogica, chimica e fisica delle aree target, potranno essere utilizzate ad esempio l'analisi granulometrica, la microscopia a luce riflessa e trasmessa, il contenuto degli elementi maggiori della roccia in toto (XRF), l'identificazione delle fasi minerali (XRD), il contenuto di oligoelementi della roccia in toto e l'analisi chimica qualitativa e quantitativa dei minerali costituenti.

LA 4 – Formazione, comunicazione e riqualificazione delle risorse umane - Green skills

Sviluppo di percorsi formativi, dedicati ai funzionari della PA ed agli ordini professionali, sulla gestione sostenibile delle georisorse nell'intero ciclo di vita anche utilizzando ed implementando quanto prodotto e presente nella piattaforma dell'infrastruttura di ricerca GeoSciencesIR. Studi per la divulgazione delle

informazioni al grande pubblico. Elaborazione di azioni per incrementare l'interesse a livello governativo e facilitare la ripartenza degli insegnamenti universitari, degli istituti tecnici e della formazione di manodopera specializzata. Supporto ad eventi formativi specialistici (master). Organizzazione eventi divulgativi, tecnici e formativi (*summer school*). Promozione di una rete di enti di formazione italiani ed esteri che possano sia ridare avvio a percorsi formativi accademici, sia promuovere la formazione permanente tramite Master e corsi di formazione rivolti ai professionisti e ai tecnici degli enti territoriali. Disseminazione di informazioni semplici e trasparenti sull'importanza delle risorse minerarie per lo sviluppo economico e sociale, sul loro impatto ambientale e sui sistemi di mitigazione degli impatti con confronti sulle condizioni ambientali e lavorative nelle miniere extraeuropee.

Fase	LA		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
			#####											mag-26
1	**LA1 - Coordinamento e gestione**													
1	**SA1.1**	Coordinamento generale del progetto.												
1	**SA1.2**	Realizzazione del Comitato tecnico-scientifico												
1	**SA1.3**	Analisi e valutazione delle informazioni pregresse, al fine dell'identificazione delle aree più significative in relazione ai CRMs e SRMs da sottoporre ad indagini in fase 1												
1	**SA1.4**	Elaborazione della prima lista dei Critical Raw Materials (CRMs) e Strategical Raw Materials (SRMs) presenti in Italia.												
1	**SA1.5**	Redazione di procedure operative												
1	**LA 2.1 Carta nazionale delle materie prime critiche e strategiche - Raccolta dati**													
1	**SA2.1.1**	Ulteriore raccolta, aggiornamento revisione, armonizzazione ed informatizzazione di tutte le informazioni geologiche, edite ed inedite, riguardanti il territorio nazionale per l'implementazione del database nazionale dei materiali critici e strategici a completamento del Database GeMMA di ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, sviluppato con PNRR GeoSciences IR e PNRR RePower EU												
1	**SA2.1.2**	Individuazione delle aree maggiormente promettenti dal punto di vista minerario, in relazione a CRM, SRM, altri minerali potenziali candidati per rientrare nelle liste EU (es. Zn, Mo) e a minerali di possibile importanza strategica per l'economia nazionale (es. bentoniti, zeoliti).												
1	**LA 2.2 - Carta nazionale delle materie prime critiche e strategiche - Aggiornamento Carta**													
	SA2.2.1	Definizione legenda e linee guida per la realizzazione della Carta Nazionale delle Materie prime critiche. Predisposizione della Legenda della Carta anche sulla base di un prototipo della Sardegna elaborato nel PNRR GeoSciences-IR. Revisione dei criteri dei nuovi fogli CARG (Carta geologica d'Italia), predisposizione linee guida per i rilevatori. Analisi della corrispondenza con altri progetti di possibile interesse minerario.												
	SA2.2.2	Elaborazione della nuova versione della Carta Nazionale delle Materie Prime Critiche e strategiche, corredata dal database e dalle Note Illustrative.												
1	**LA 2.3 - Carta nazionale delle materie prime critiche - Modelli concettuali**	Elaborazione di modelli concettuali dei giacimenti in accordo con la letteratura scientifica nazionale ed internazionale, anche sulla base dei modelli elaborati in Regione Sardegna nell'ambito del PNRR GeoSciences-IR												
1	**LA 3 - Carta nazionale delle Materie Prime Critiche e Strategiche e associato database. Campagne di indagini sul territorio**	Prima campagne di indagini **non invasive** geologiche, geochimiche, geofisiche, aeree e satellitari su circa 15 aree/temi significativamente indiziate per la presenza di depositi di CRMs/SRMs, prioritizzate sulla base di quanto elaborato dal LA2. Acquisizione dei dati di campo, campionature dei materiali e successive analisi di laboratorio e prove tecnologiche. Acquisto delle attrezzature da campagna e degli strumenti di laboratorio utili per ridurre la dipendenza da laboratori esteri.												
1	**LA 4 - Formazione, comunicazione e riqualificazione delle risorse umane - Green skills**													
1	**SA4.1**	Sviluppo di percorsi formativi, dedicati ai funzionari della PA ed agli ordini professionali, sulla gestione sostenibile delle georisorse nell'intero ciclo di vita.												
1	**SA4.2**	Studi per la divulgazione delle informazioni al grande pubblico.												
1	**SA4.3**	Elaborazione di azioni per incrementare l'interesse a livello governativo e facilitare la ripartenza degli insegnamenti universitari, degli istituti tecnici e della formazione di manodopera specializzata.												

Figura 10 - Cronoprogramma delle attività di Fase 1

6 - PROGRAMMA NAZIONALE DI ESPLORAZIONE - AREE/TEMI DI INDAGINE

Sulla base di quanto previsto dal regolamento EU 1252/2024, il PNE si articola sull'analisi di due potenziali fonti di materie prime critiche e strategiche da una parte i giacimenti primari e dell'altra i depositi di origine antropica (rifiuti estrattivi) derivanti dalla coltivazione dei giacimenti primari. In molti casi, poiché la ricerca interesserà anche la rivalutazione, tramite moderne metodiche di indagine, di vecchi giacimenti, i due aspetti sono intimamente connessi ma saranno studiati utilizzando finanziamenti diversi, con una estrema cura, da parte di ISPRA nella corretta attribuzione dei fondi.

6.1 Potenziali Giacimenti Primari

Sulla base dei criteri di scelta delle priorità d'indagine elencati a capitolo 2 sono state individuate 14 aree /temi oggetto di indagine di seguito elencate con criterio geografico e localizzate in Fig. 11.

ITALIA NORDORIENTALE (LOMBARDIA-TRENTINO ALTO ADIGE)

1) Mineralizzazioni a fluorite (± barite ± terre rare) delle Alpi meridionali centro-orientali

Distretto a fluorite-barite delle Alpi Meridionali (Lombardia-Trentino Alto Adige). Studio mineralogico, tessiturale e geochimico. Stima delle quantità disponibili e verifica dei contenuti di REE, mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

ITALIA NORDOCCIDENTALE (PIEMONTE-LIGURIA-LOMBARDIA) + CALABRIA

2) Metalli del gruppo del platino (s, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) nel Piemonte orientale

Progetto sui PGM (Metalli del Gruppo del Platino) nell'Ivrea Verbano, in Fase1 ridotto concentrandosi principalmente sui PGM nel complesso di Finero dove è presente una significativa mineralizzazione a cromite con PGM, quest'area non è coperta da permessi di ricerca per metalli, possibile ulteriore sottoprodotto olivina.

3) Distretti minerari a rame e manganese della Liguria orientale

Progetto che copre i due distretti della Liguria orientale di manganese e rame, in parte sovrapposti entrambi in ofioliti. Questo progetto prevede anche la raccolta elaborazione e restituzione di dati geofisici da acquisizione elettromagnetica aero o elitrasportata (Airborne EM). Censimento e mappatura dei corpi di discarica delle principali miniere con analisi di dettaglio e relativa mappatura della distribuzione spaziale del Cu e degli altri potenziali elementi di interesse

4) Progetto Grafite: Calabria, Piemonte, Liguria

Progetto di valutazione dei depositi di grafite più significativi in Calabria, Piemonte e Liguria. Mappatura di dettaglio dell'area per definire l'estensione dei livelli grafitici e delle successioni grafitico-quarzitiche. Studio geochimico su rocce. Campionatura, analisi stratigrafiche petrografiche, minerochimiche, geochimiche. Definizione della cristallinità grafite e purezza. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

ITALIA CENTRALE E REGIONI LIMITROFE

5) Risorse non convenzionali di litio in Italia (Toscana, Lazio, Campania, Emilia Romagna, Marche, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige)

Potenziale per litio nel sistema orogenetico Alpi-Appennino (Provincia comagmatica Romana, Provincia Toscana, Tanaro, Salsomaggiore-Castrocaro). Modello concettuale dei vari giacimenti potenziali in fluidi (geotermali, termali) e in roccia (sedimenti, metasedimenti, vulcaniti e graniti) e comprensione del ciclo geochimico del litio (e boro) dalla fase post-collisionale Varisica fino agli attuali sistemi termali e geotermici di avan-arco e retro-arco. Indicazione di aree di ± favoribilità per potenziale minerario in fluidi e in roccia.

6) Distretto antimonifero maremmano (Toscana)

Definizione dei volumi residui dei giacimenti epitermali antimoniferi dell'ex-Distretto Maremmano. Modello geologico 3D dei corpi minerari (Tafone, Montauto, Macchia Casella). Valutazione di corpi distali a basso tenore di Sb, Definizione di un modello concettuale per legare la genesi di questi giacimenti a quella del distretto mercurifero e del campo geotermico dell'Amiata. Considerazioni sul potenziale aurifero. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

7) Giacimenti di magnesite della Toscana centrale

Definizione dei volumi residui dei giacimenti a magnesite in serpentinite della Toscana Centrale. Modello geologico 3D dei corpi minerari (Castiglioncello, Malentrata-Monterufoli, Querceto), Valutazione delle porzioni distali a basso tenore di Mg. Definizione del potenziale di prosecuzione laterale e in profondità dei corpi noti. Potenziale di scoperta di nuovi corpi sepolti non affioranti. Definizione di un modello concettuale per legare la genesi di questi giacimenti al contesto metallogenico toscano. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

8) Mineralizzazioni a fluorite (terre rare ± barite) della provincia comagmatica romana (PCR) (Lazio)

La PCR rientra nei sistemi alcalini potassici potenzialmente ricchi in REE ed altre Materie Prime Critiche. Il progetto intende approfondire le conoscenze note dal secolo scorso, sui potenziali giacimenti di REE di basso tenore nei depositi fluoritici dei distretti vulcanici alcalino potassici di Latera, Bracciano e Sacrofano. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

9) Minerali industriali ed elementi critici nelle rocce vulcaniche quaternarie della Regione Campania

Progetto per valutare ed ampliare le conoscenze sulle grandi potenzialità estrattive per minerali industriali appartenenti ai CRM (feldspati) o potenzialmente strategici per la filiera nazionale (zeoliti) e loro contenuti in termini di elementi critici (es: terre rare e litio) della Regione Campania. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

SARDEGNA

10) Feldspato, terre rare e minerali industriali nelle rocce del magmatismo acido della Sardegna

Aree di ricerca per CRM in litotipi che possono rappresentare anche fonte di fondenti ceramici (Greisen ercinici Sulcis, Gallura, Monte Linas; vulcaniti oligo/mioceniche; porfiroidi ordoviciani) e altri minerali industriali (zeoliti, bentoniti). Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

11) Mineralizzazioni a solfuri misti (Cu-Pb-Zn ± Ag), a W e a Terre Rare e Ti del distretto di Funtana Raminosa (Sardegna centrale)
Solfuri misti, in masse di dimensioni relativamente ridotte, ma numerose e disperse, individuate (1975) almeno 55 masse mineralizzate a solfuri, spesso molto ricche d'argento e con presenza di oro. Almeno 500.000t di minerale utile, solo in parte sfruttato negli anni '80. Sicura presenza di Tungsteno, Titanio e REE. Utilizzo sensore VNIR su drone, specifico per Terre Rare. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

12) Mineralizzazioni idrotermali a Fluorite-Barite e Terre Rare, Centro-Sud Sardegna.
Con l'eccezione di Silius le mineralizzazioni sarde a fluorite e barite, abbandonate con il deprezzamento degli anni 80-90, secondo standard moderni, sottoesplorate e la loro coltivazione ha riguardato prevalentemente solo le parti superficiali dei depositi. Da rivalutare alla luce dei prezzi attuali e con le attuali metodiche esplorative, anche per i contenuti in REE, già accertati a Silius. Tre aree di studio: Bruncu Molentinu, Castel Medusa, Santa Lucia. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

13) Mineralizzazioni a tungsteno (stagno, arsenico, bismuto, molibdeno) legate ai graniti, Sardegna sud-occidentale.
Progetto sui graniti sardi (massicci del Monte Linas e Monte Tamara), geochimicamente ricchi in fluoro e "specializzati" in Tungsteno (fino al 12%), Arsenico, Molibdeno, Bismuto, Stagno ed altri. Diverse tipologie di mineralizzazioni: *skarn*, *greisen*, vene e filoni idrotermali. Studio anche su materie potenzialmente critiche a seguito di nuove politiche USA (Molibdeno). Galleria per radiografia muonica. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

14) Mineralizzazioni a rame, molibdeno e oro della "Soglia di Siliqua" e della valle del Cixerri, Sardegna sud-occidentale.
Oltre alle mineralizzazioni già note, altri studi pregressi evidenziano la possibilità della presenza di ulteriori corpi non identificati, a bassa profondità e a più alto tenore e la presenza probabile di simili stock magmatici sub-intrusivi al di sotto delle coperture piroclastiche e dei sedimenti recenti della valle del Cixerri. Geofisica AEM per modelli 3D. Mappatura e caratterizzazione dei rifiuti estrattivi

6.2 Depositi di rifiuti estrattivi

Nell'ambito del Progetto PNRR URBES saranno identificate e mappate le potenziali fonti di materie prime critiche di origine secondaria, a partire dai rifiuti estrattivi. In Italia esistono diverse migliaia di depositi di tali rifiuti con una stima volumetrica, molto prudenziale, superiore ai 150 milioni di mc. La caratterizzazione della loro totalità non è compatibile con i tempi molto ristretti del Progetto URBES che deve necessariamente concludersi a dicembre 2025 per quanto riguarda la struttura informatica e a giugno 2026 per l'inserimento dei dati. La realizzazione della struttura informatica anticipa la scadenza prevista dall'art. 27 comma 6 del Regolamento CE1252/2024, in cui la realizzazione della banca dati è fissata al 24 novembre 2026 e la sua completa implementazione al 24 maggio 2027. Appare invece in linea con il regolamento la fornitura dei primi dati di campionamento geochimico rappresentativo fissata per il 24 maggio 2026.
Si procederà quindi con la realizzazione della specifica piattaforma e all'inserimento delle informazioni acquisite dalla letteratura e delle prime caratterizzazioni di campagna. Si prevede di riuscire a mappare tutte le strutture di deposito, sia cumoli sia bacini di decantazione. La caratterizzazione sarà invece inizialmente condotta sui siti maggiormente rappresentativi. La prioritizzazione dei siti da caratterizzare è basata sulle conoscenze acquisite nella letteratura tradizionale e in quella grigia, compresi i report regionali di aggiornamento dell'Inventario dei Rifiuti estrattivi gestito da ISPRA. E' prevista anche una **stretta collaborazione con le aziende in attività** che sono obbligate dal Regolamento 1252 a caratterizzare i propri rifiuti estrattivi in termini di contenuto in Materie Prime Critiche.
I principali depositi abbandonati che saranno investigati sono stati, inoltre, scelti non solo sulla base del loro potenziale contenuto in materiali critici ma anche sulla possibile mitigazione/rimozione delle problematiche ambientali relative al rilascio dei metalli nelle matrici ambientali.
Come disposto dal DL84/2024 per i siti ex-minerari già soggetti a procedimenti di bonifica le attività di mappatura e caratterizzazione, pur realizzate con finalità diverse, saranno valutate sulla base delle azioni già in essere nel progetto di bonifica con auspicabile condivisione tra gli Enti preposti delle informazioni utili già acquisite e di quelle derivanti dalle nuove indagini.
Su tutte le aree investigate dalla ricerca mineraria di base saranno valutate e cartografate anche tutte le strutture di deposito abbandonate presenti.
Oltre a ciò, in prima analisi, **altri siti** da caratterizzare in via prioritaria sono:

ITALIA NORDORIENTALE

1) ***Raibl (UD)***
   Una delle più importanti miniere europee di Piombo-Zinco, sfruttata già in epoca romana. Presenta grandi quantitativi di rifiuti estrattivi, almeno 4 milioni di mc con buoni tenori di zinco (1,6%) in cumuli disordinati (Raibl I,II,III) e in un bacino di

decantazione (Monte Re). Sicura presenza di gallio e germanio. Buon interesse ad una azione di recupero di materiale da parte della Regione FVG

2) ***Monte Avanza (UD)***
Diversi cumuli posizionati sulle pendici. A Monte Avanza scarti compatibili con quelli di Raibl. Depositi di scarti a manganese sono presenti nel sito di Monte Cocco ma in quantitativi esigui

3) ***Salafossa (BL)***
Diversi cumoli e bacini di decantazione. Il minerale principale è la sfalerite con subordinate galena, pirite e marcasite. Elementi accessori nella sfalerite sono Ge, As, Ni, Tl e Cl; la galena ha alti tenori di arsenico ed antimonio.

ITALIA NORDOCCIDENTALE

4) ***Gorno (BG)***
Il distretto minerario di Gorno, situato tra Val Seriana, Val di Riso e Val Brembana, appartiene a depositi mineralizzati a Zn, Pb e Ag (con associate Fluorite e Barite) di tipo stratabound, associati alla serie carbonatica del Triassico Medio-Superiore. La mineralizzazione primaria, presente all'interno del "Metallifero", è composta principalmente da sfalerite (ZnS) e galena (PbS), pirite (FeS2), marcasite (FeS2), calcopirite (CuFeS2) e argentite (Ag2S). Mappatura di dettaglio delle discariche (sia waste rock che tailings) presenti nel Distretto di Gorno. Campionamento, caratterizzazione, valutazione dei tenori presenti nei diversi campioni (da discariche - waste rock e tailings), valutazione dei volumi. Stima di circa 25.000t Zn e 4,5t di Ga.

5) ***Pestarena (VCO)***
Diversi cumuli e bacini di decantazione contenente rifiuti di estrazione e trattamento di minerale aurifero prima del 1950; sicura presenza di As, Cn, Hg, Pb, Tl.

6) ***Libiola e Gambatesa (GE)***
Giacimenti a ossidi di Mn (prevalentemente braunite) dismessi in gran parte entro il 1960 con l'eccezione delle miniere di Molinello, Cassagna e Gambaesa, dismesse tra il 1990 e il 2011. Da valutare le risorse rimanenti e alcuni corpi di discarica (in particolare Cassagna, Stratale, M. Zenone). Altri elementi critici potenzialmente presenti: V, As, Co, REE.
Giacimenti a solfuri di Cu (prevalentemente calcopirite) dismessi entro il 1962. Circa trenta siti minerari distribuiti tra le Valli Petronio, Gromolo, Graveglia. Ingenti corpi di discarica presso la Miniera di Libiola. Da valutare le risorse rimanenti. Drenaggio Acido di Miniera attivo in molti siti che testimonia l'estrazione di significative concentrazioni di Cu, Cr, Ni, Ag, Fe, REE dalle mineralizzazioni rimaste in situ, dalle rocce incassanti e dai corpi di discarica
Censimento e mappatura dei corpi di discarica del distretto minerario della Val Graveglia (GE) e della Miniera di Cerchiara (SP) con analisi di dettaglio e relativa mappatura della distribuzione spaziale del Mn e degli altri potenziali elementi di interesse.

7) ***Valmalenco e Val d'Ossola (SO, VCO)***
Recupero di Ni da Awaruite (lega Fe-Ni) a partire da scarti di estrazione e lavorazione del serpentino della Valmalenco (SO). L'Awaruite possiede un'elevata suscettività magnetica ed è facilmente separabile per via magnetica. La lega naturale Fe-Ni è ottimale per i successivi utilizzi e processi di estrazione del Ni.

Valutazione dei quantitativi e delle tipologie di scarti prodotti (cocciame, limi di segagione, etc), distribuzione dell'Awaruite nei vari siti estrattivi, caratteristiche granulometriche e tessiturali per ottimizzare i processi mineralurgici. Recupero di REE dagli scarti di lavorazione degli gneiss della Val d'Ossola (monazite ed allanite). Possibile presenza di Nb, Ta.

ITALIA CENTRALE E REGIONI LIMITROFE

8) ***Colline metallifere (LI, PI, SI, GR)***

Depositi variamente disseminati in corrispondenza delle vecchie miniere delle colline metallifere, da verificare anche in funzione delle bonifiche effettuate. In parte mappate e caratterizzate insieme alle attività esplorative. Da concertare con il MASE e Regioni interessate i possibili interventi in aree dichiarate contaminate o potenzialmente contaminate e soggette a procedimenti di bonifica conclusi o in atto.

ITALIA MERIDIONALE E ISOLE

9) Sicilia

È in corso una interlocuzione con la Regione Siciliana, Università e Scuola Mineraria di Caltanisetta per definire eventuali interventi di caratterizzazione prioritaria delle molteplici strutture di deposito dei rifiuti estrattivi, in gran parte legati all'estrazione dello zolfo. Nei rifiuti possibile presenza, tra i CRM, di stronzio (celestina) e magnesio, e di materiali non critici ma di sicuro interesse per l'industria chimica, farmaceutica e agroalimentare (sali alcalini misti).

10) Montevecchio Ponente e Levante, Ingurtosu-Gennamari (SU)

Situati nell'Arburese sono caratterizzati dalla presenza di centinaia di strutture di rifiuti estrattivi con cumoli e mix di residui idrogravimetrici, fanghi di flottazione e sterili di tracciamento. I siti minerari sono caratterizzati da mineralizzazioni a vene idrotermali di bassa temperatura a Pb-Zn-Ag e rappresentano un possibile prospetto per Pb, Zn e REE +/- Ba.

In prima fase saranno caratterizzati i depositi dimensionalmente e/o mineralogicamente più significativi in termini di CRM.

11) Assemini (CA)

In questo sito son presenti i fanghi di flottazione prodotti dalla laveria che trattava il minerale coltivato nella miniera di Silius; mineralizzazione a vene idrotermali di bassa temperatura a Pb-Zn-Ag e F-Ba. Possibile prospetto per: Pb, Zn, F, Ba e REE.

12) Fluminimaggiore (SU)

Molteplici strutture di deposito nei siti ex minerari di Su Zurfuru e Santa Lucia. Situati nel territorio comunale di Fluminimaggiore nei siti sono presenti mix di residui idrogravimetrici, fanghi di flottazione e cumuli di discarica. È caratterizzato da una mineralizzazione a vene idrotermali di bassa temperatura a F-Ba + skarn a Pb-Zn-Fe. Possibili prospetti per: Pb, Zn, F, Ba, As e REE.

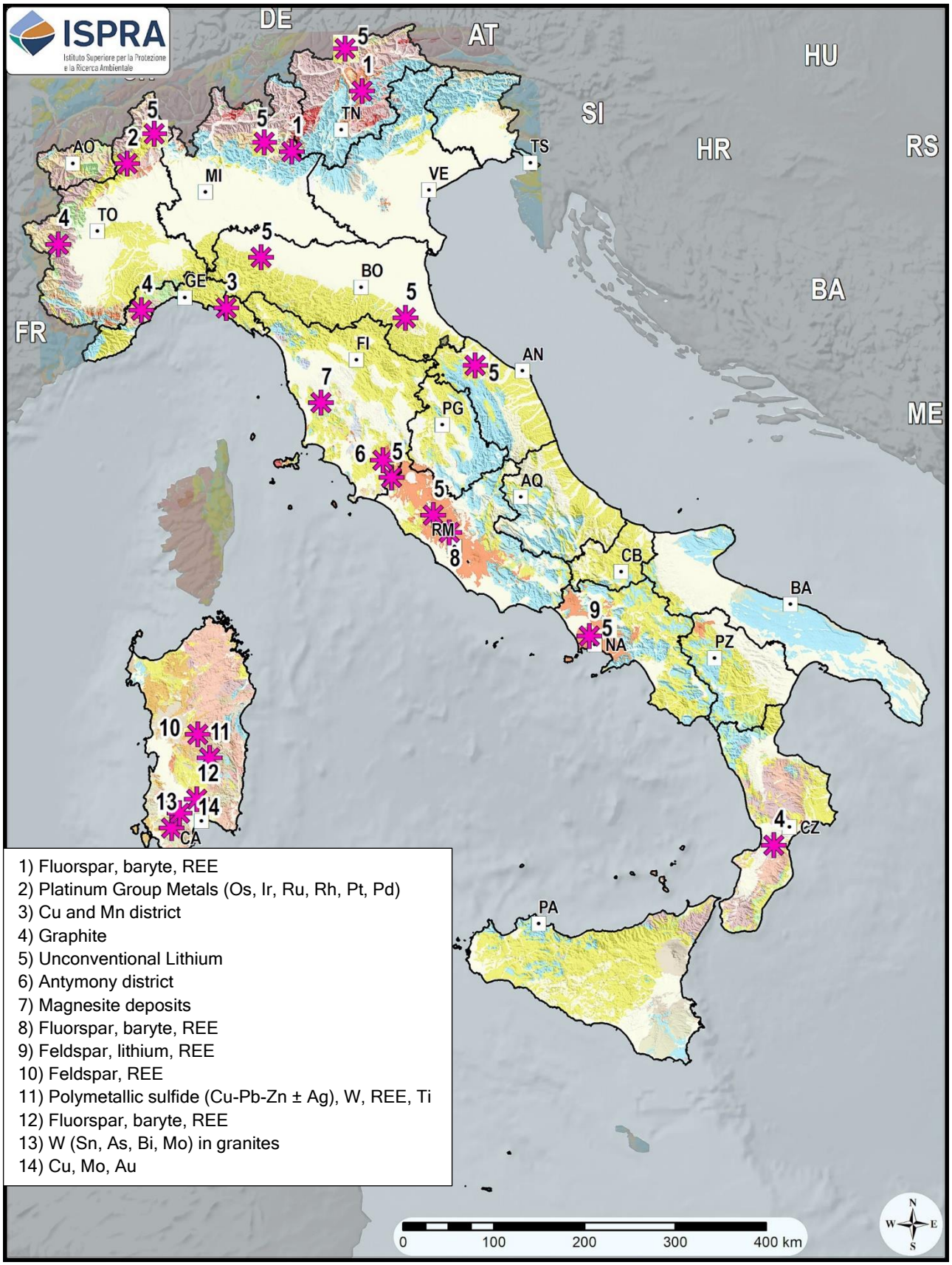

Figura 11 - Localizzazione delle aree/temi di studio

AREE DI INDAGINE DI FASE 1

1) MINERALIZZAZIONI A FLUORITE (± BARITE ± TERRE RARE) DELLE ALPI MERIDIONALI CENTRO-ORIENTALI

Stato dell'arte:

Materie prime principali: fluorite;
Materie Prime Critiche: fluorite, barite, Terre Rare;
Materie Prime Strategiche: Terre Rare
Altre possibili Materie Prime: Pb, Zn (Cu)

Contesto geologico-giacimentologico: L'area delle Alpi Meridionali è nota per la presenza diffusa di mineralizzazioni a fluorite, che sono state spesso oggetto di coltivazione mineraria anche recente. Gli esempi più importanti sono distribuiti soprattutto nell'area compresa tra Trentino–Alto Adige e Lombardia orientale. Fatta eccezione per alcune manifestazioni minori a carattere *stratabound*, che si ritrovano in un'area molto più estesa fino alle Alpi Carniche, si tratta essenzialmente di corpi idrotermali filoniani, in cui la fluorite può essere accompagnata da quantità più o meno rilevanti di solfuri polimetallici (Pb, Zn, Cu, Ag) e barite. Studi a carattere regionale compiuti negli anni '60-'70 del secolo scorso suggeriscono un legame genetico tra questi giacimenti e i due cicli magmatici che hanno interessato la regione rispettivamente nel Permiano (evento post-Varisico) e nel Triassico (es. Bakos et al. 1972).

Contesto minerario: Le manifestazioni filoniane a fluorite delle Alpi Meridionali sono state oggetto di coltivazione mineraria fino agli anni '80-'90 del secolo scorso. Gli esempi più importanti (Figura 12) sono distribuiti nell'area compresa tra le province di Trento e Bolzano (miniere di Vallarsa di Laives e Corvara) e quelle di Brescia e Bergamo (miniere di Torgola, Presolana, Paglio Pignolino), a cui si aggiunge, subordinatamente, il Varesotto (Brusimpiano, Valvassera-Valganna, Porto Ceresio). La produzione fino ai primi anni '70 ammontava a 4,25 Mt di fluorite (Rimin, 1987).

Potenzialità dell'area

Gli approfondimenti delle ricerche che erano stati suggeriti nella relazione conclusiva del programma Rimin (1987) non hanno avuto seguito, per cui l'entità delle possibili riserve di fluorite ancora esistenti nell'area non è nota con precisione. Le stime disponibili suggeriscono quantitativi non superiori a poche centinaia di migliaia di tonnellate di minerale per alcuni dei giacimenti principali. Sebbene questi quantitativi appaiano attualmente subeconomici, la possibile prosecuzione dei giacimenti in aree limitrofe o la presenza di ulteriori manifestazioni profonde in aree non ancora completamente esplorate, assieme alla possibile presenza in essi di elementi critici strategici, non sono da sottovalutare in questa fase.

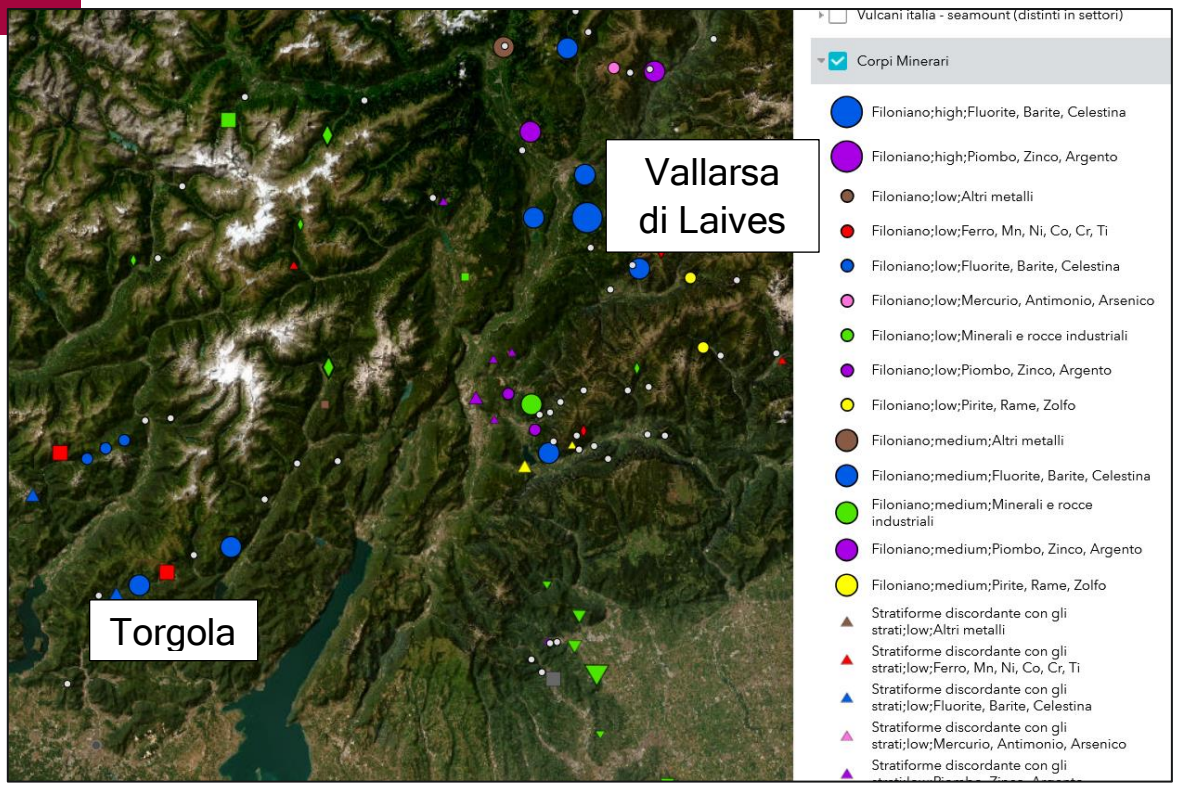

Figura 12 - Localizzazione dei siti di indagine delle Alpi meridionali sulla carta giacimentologica

A questo proposito, è da considerare che nonostante sporadiche segnalazioni della presenza di minerali delle Terre Rare in alcuni di questi filoni, gli studi pregressi sono stati tutti finalizzati alla valutazione del potenziale economico della fluorite e dei principali minerali e metalli associati (barite, Pb, Zn, Cu) (Rimin, 1987). La potenzialità di questi giacimenti come possibili sorgenti di Terre Rare risulta quindi ancora del tutto inesplorata. Il recente riconoscimento di significativi tenori di Terre Rare in un analogo giacimento post-varisico filoniano di fluorite in Sardegna (Silius; Mondillo et al. 2016), ora in fase di riapertura dell'attività estrattiva, rende le fluoriti alpine sicuramente meritevoli di nuove indagini, anche tenendo conto che i vari giacimenti sono inquadrabili in un lungo periodo caratterizzato da intenso idrotermalismo polifasico a scala regionale. Eventuali riscontri positivi potrebbero fornire motivi per la messa in atto di una campagna esplorativa strategica e tattica più ampia e dettagliata.

Attività previste

1) VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Si procederà inizialmente alla raccolta e alla vagliatura critica degli studi pregressi, i quali sono rappresentati in buona parte da vecchi rapporti tecnici minerari e solo in piccola parte da studi scientifici di dettaglio, in genere datati. Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato alla luce delle più recenti conoscenze scientifiche riguardanti le tipologie di giacimenti minerari in esame. Si procederà, quindi, ad effettuare una sintesi focalizzata agli obiettivi del Programma Nazionale di Esplorazione.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Si prevede di effettuare campionature mirate sul terreno finalizzate alla raccolta di campioni rappresentativi delle mineralizzazioni in esame. Al fine di sviluppare un

modello concettuale moderno per i giacimenti di fluorite delle Alpi Meridionali, verranno presi in considerazione sia alcuni dei giacimenti principali (Torgola, Presolana, Vallarsa di Laives, Corvara in primis) sia alcuni giacimenti minori (es. giacimenti dell'Alta Valsugana e del Varesotto), cercando di coprire entrambi i gruppi di giacimenti (permiani e triassici). Lo studio delle pubblicazioni pregresse fornirà una guida per un'appropriata selezione dei campioni. Considerato che le miniere sono tutte inattive, si prevede che la maggior parte dei campioni verrà prelevato dalle discariche minerarie e solo in piccola misura in sotterraneo da gallerie ancora percorribili in sicurezza. Le campionature sul terreno verranno integrate con il recupero di campioni storici provenienti dalle collezioni del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova e del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano Statale, raccolti durante il periodo di attività delle miniere. Compatibilmente con la situazione attuale sul terreno, in questa prima fase si prevede di poter recuperare almeno 10 campioni rappresentativi per ciascuno dei giacimenti da studiare.

3) ANALISI DI LABORATORIO ED ELABORAZIONE DEI DATI

Si prevede di effettuare una campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza, concentrazione e distribuzione di materie prime critiche e strategiche nei giacimenti esaminati, con particolare riguardo alla distribuzione delle Terre Rare nei minerali principali e accessori. La campagna prevederà l'utilizzo di diverse metodologie di indagine:

- studio minero-petrografico dei campioni in microscopia ottica ed elettronica;
- analisi chimico-mineralogica su roccia totale (XRF, XRD e ICP-MS);
- analisi chimiche puntuali degli elementi maggiori e minori e relative mappe chimiche (EDS-WDS) e analisi chimiche puntuali e mappe elementari degli elementi in traccia (LA-ICP-MS);
- elaborazione dei dati raccolti e verifica delle relazioni tra contenuti in Terre Rare e distribuzione areale, collocazione geologica ed età dei giacimenti.

Il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova e quello di Scienze della Terra dell'Università di Milano sono dotati di diversi laboratori adatti a svolgere buona parte delle attività previste. A questo proposito, si prevede di integrare il microscopio elettronico di ultima generazione già esistente a Padova con un nuovo detector innovativo (BEX imaging) che garantisca una rapida identificazione ed accurata valutazione delle abbondanze dei diversi minerali e dei loro contenuti chimici su aree estese. Tale strumento sarà essenziale in particolar modo per l'individuazione di eventuali fasi mineralogiche minori portatrici di Terre Rare e potrà essere messo a disposizione anche di altri progetti all'interno del Programma Nazionale di Esplorazione. Per altre metodologie di indagine (in particolare LA-ICP-MS) ci si affiderà a enti o aziende esterni.

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4. Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
Al termine del programma di indagine, si provvederà alla redazione di un report dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie da prevedere per le successive fasi di esplorazione. I dati saranno raccolti e forniti ad ISPRA secondo gli standard decisi dal CTS

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati del primo programma di indagine alla base di questo progetto, sarà possibile prevedere la continuazione dell'esplorazione e l'applicazione di metodologie di prospezione e analisi strumentale consolidate e di nuova concezione. Queste operazioni potranno prevedere:
1) Continuazione e approfondimento delle indagini nelle aree investigate attraverso l'esecuzione di un piano mirato di sondaggi;
2) Implementazione e approfondimento del programma di indagini di terreno e analitiche aventi come obiettivo la definizione dei caratteri giacimentologici (tessiture, paragenesi, età, strutture, genesi) indispensabili per la creazione di un modello concettuale e per la successiva fase di valutazione.
3) Valutazione di risorse e riserve attraverso l'applicazione delle procedure standard previste dal codice di valutazione internazionale selezionato.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei depositi alpini di fluorite/barite e dei minerali associati, in particolare delle Terre rare.
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Rivitalizzazione della scuola mineraria professionale Follador di Agordo, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive in un contesto duramente provato dalle vecchie attività minerarie di estrazione della fluorite (es. Val di Stava)

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi fluoritici, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e transfrontaliere con i ricercatori dei Servizi Geologici e Università austriache ed eventualmente svizzere.

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione

Bibliografia

Bakos, F., Brondi, A., Perna, G. (1972): The age of mineral deposits in the Permian volcanites of Trentino-Alto Adige (northern Italy). in "Proceedings of 2nd International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps", Bled, 4–8 October 1971, Editorial Board of Geologija Ljubljana, 181–194.

Mondillo, N., Boni, M., Balassone, G., Spoleto, S., Stellato, F., Marinoc, A., Santoro, L., Spratt, J. (2016) Rare earth elements (REE)—Minerals in the Silius fluorite vein system (Sardinia, Italy). Ore Geology Reviews 74, 211–224.

Rimin (1987) Convenzione "Italia Settentrionale", Relazione conclusiva sui lavori svolti. Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato, Direzione Generale delle Miniere.

2) METALLI DEL GRUPPO DEL PLATINO (OS, IR, RU, RH, PT, PD) NEL PIEMONTE ORIENTALE

I metalli del gruppo del platino (PGM o PGE, appartenenti al gruppo dei metalli nobili) sono considerati critici in tutte le liste di CRM pubblicate dalla Commissione Europea, e, nell'ultima edizione della lista, risultano sia critici che strategici, occupando la terza posizione assoluta per Importanza Economica. Il seguente progetto riguarda un'importante area con arricchimenti di PGM, principalmente in un contesto metallogenico favorevole, che li vede associati a cromo, metallo indice di Importanza Economica pari a quella dei PGM nella classificazione della Commissione Europea.
Stato dell'arte

Commodity: PGM (osmio, rutenio, iridio, rodio, platino, palladio) + Cr + (Ni-Cu-Co);
Critical Raw Materials: PGM, Ni, Cu, Co, Bi.
Strategic Raw Materials: PGM, Ni, Cu, Co, Bi.
Altre commodity: olivina.
Localizzazione: Piemonte orientale: Val Vigezzo, Val Cannobina, Val d'Ossola, Val Strona di Omegna, Val Sesia e valli laterali.

Contesto geologico: l'area di principale interesse riguarda il complesso mafico-ultramafico di Finero, una porzione di mantello costituita da peridotiti idratate a seguito di processi metasomatici e poco alterate. Il complesso si inserisce nel contesto della Zona Ivrea-Verbano, una sezione completa di crosta continentale comprendente numerosi corpi magmatici e filoni, spesso mineralizzati (Figura 13).

Contesto giacimentologico: a Finero, il nucleo, costituito da una peridotite a flogopite (Figura 14), presenta numerosi corpi di cromitite massiva all'interno di sacche dunitiche. La zona più ricca di cromitite è quella dell'Alpe Polunia, nella parte centrale dell'area di affioramento. Le cromititi presentano importanti anomalie di PGM, diverse centinaia di ppb da letteratura, con prevalenza di Os, Ir, Ru e Rh.
Le mineralizzazioni a solfuri di Ni-Fe-Cu con PGE ricorrono nel plutone basico e nella porzione di crosta profonda: quelle più arricchite sono legate ad intrusioni ultramafiche idrate tipo pipe, sill e dicchi/filoni. Questi corpi intrusivi sono variamente distribuiti tra la Valle Strona di Omegna e l'alta e media Val Sesia (e valli laterali) (Figura 1). Sono in genere costituiti da pirosseniti e peridotiti a grana grossolana, ricche in anfiboli bruni pecilitici, miche tipo flogopite, spinelli, ilmenite, apatite (Cl-F) e carbonati, e spesso con vistose tessiture di disequilibrio che suggeriscono interazione con/e metasomatosi da parte di fusi ricchi in componenti volatili (acqua, anidride carbonica, ecc.). Gli arricchimenti di solfuri di Ni-Fe-Cu variano da noduli centimetrici ad impregnazioni e disseminazioni, occasionalmente anche aggregati massivi, e sono spesso associati alla presenza di minerali metasomatici. I PGE (con prevalenza di Pt e Pd) sono associati a fasi a Bi-Te finemente disseminate nei solfuri.

Contesto minerario

L'unica attività estrattiva finora svolta nell'area di Finero è relativa alla cava di olivina di Finero. Negli anni '40 del secolo scorso furono effettuate delle esplorazioni per cromo nella peridotite a flogopite, arrivando a delimitare un'area per una eventuale concessione mineraria, mai messa in produzione. Non è mai stata effettuata prospezione per PGM. Questa risulta di particolare interesse anche alla luce dei recenti consistenti aumenti di prezzo di osmio e rodio, attualmente il metallo in assoluto dal costo più alto, pari a circa dieci volte quello dell'oro.

I corpi mineralizzati a solfuri di Ni-Cu con PGE nel corpo basico e nella sezione crostale sono stati oggetto di numerose attività di estrazione, tutte concluse prima della fine del secolo scorso e svolte prevalentemente in sotterraneo. Tuttavia, più recentemente (2015), queste intrusioni mineralizzate sono state oggetto di un progetto di ricerca, con campionamenti e prospezione geofisica aeroportata, da parte di una compagnia mineraria australiana (Nyota Minerals Ltd.), rilevando l'estensione delle anomalie magnetiche nei vari siti. Inoltre, recenti ricerche e pubblicazioni hanno ulteriormente contribuito a caratterizzare la natura dei magmi, la mineralizzazione a metalli critici e i fattori che sembrano controllarla.

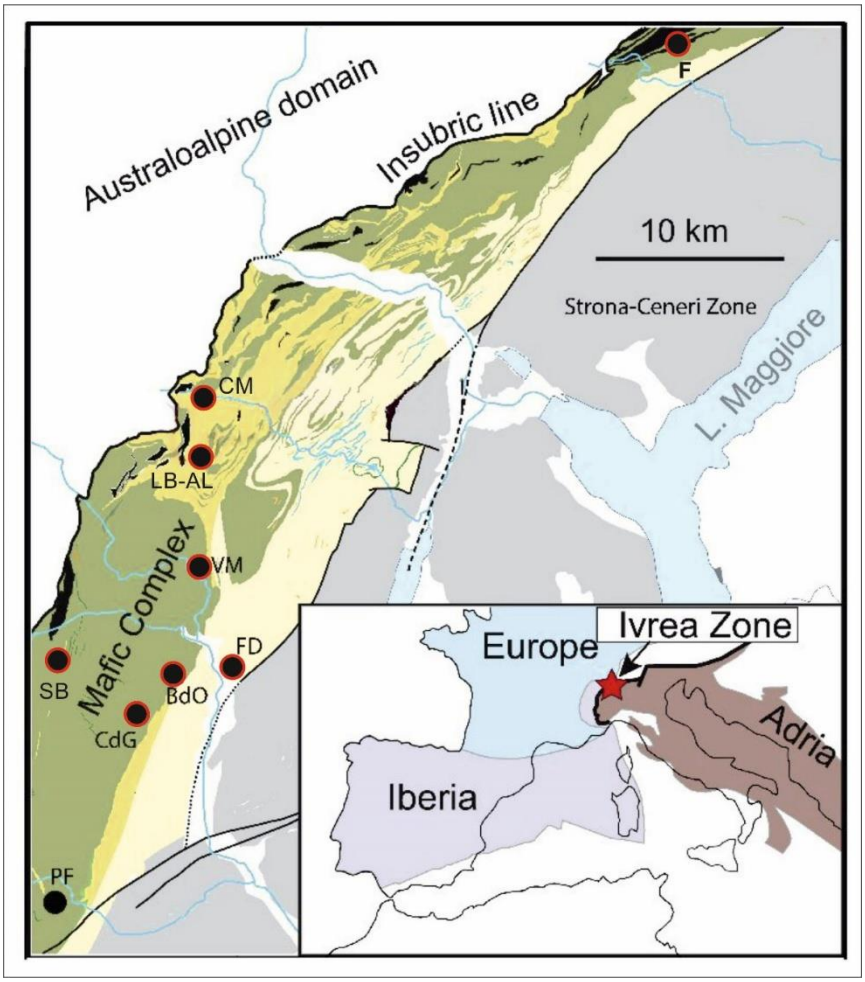

Figura 13 - Mappa geologica semplificata della Zona Ivrea-Verbano, con la localizzazione del complesso di Finero e delle intrusioni ultramafiche arricchite in solfuri di Ni-Fe-Cu-PGE. Sigle: F: complesso di Finero; CM, Campello Monti; LB-AG, La Balma-Monte Capio/Alpe Laghetto, VM, Valmaggia; SB, Sella Bassa, FD, Fej di Doccio; BdO: Bec d'Ovaga; CdG, Castello di Gavala; PF, Piancone la Frera. Colori - verde scuro: rocce mafiche (complesso mafico Ivrea-Verbano ed anfiboliti

basamento); nero: rocce ultramafiche; giallo scuro: basamento sudalpino (crosta profonda) in facies granuliti; giallo pallido: basamento sudalpino (crosta profonda) in facies afiboliti; livelli azzurri: marmi; grigio pallido: basamento sudalpino in facies scisti verdi (Zona Strona Ceneri).

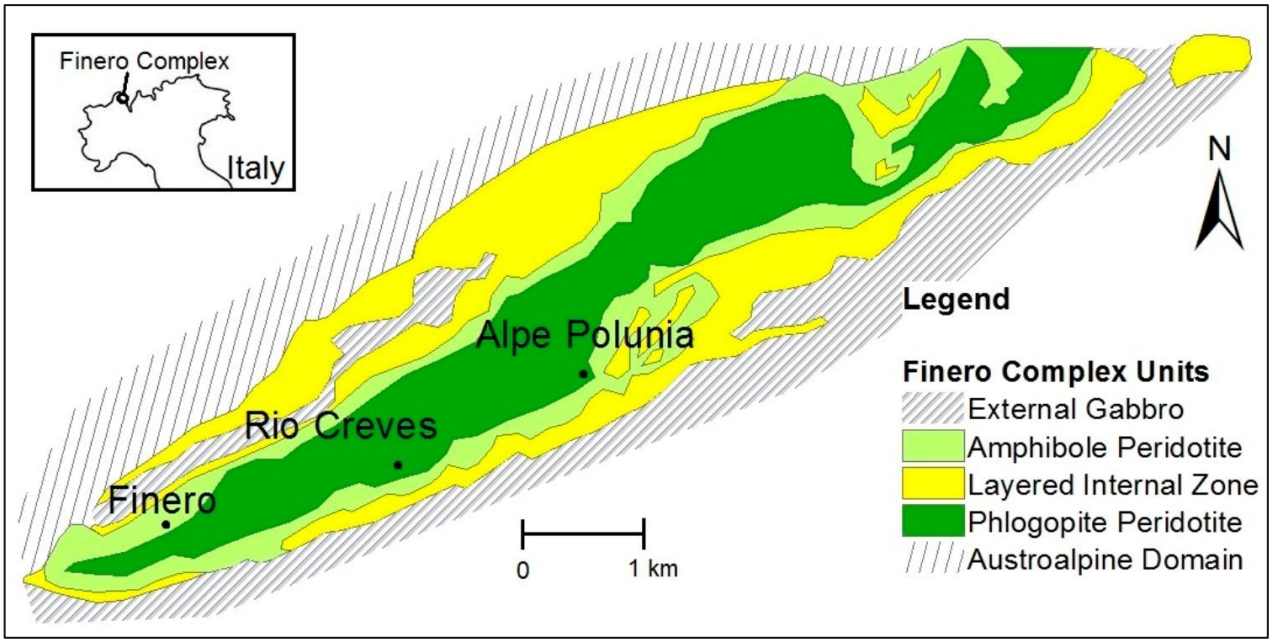

Figura 14 - Mappa geologica semplificata del complesso di Finero, Ivrea Verbano. Il nucleo (in verde scuro), costituito da peridotite a flogopite, presenta numerosi corpi cromititici arricchiti in PGM.

Progettualità

Il progetto si focalizza principalmente sull'area di Finero di particolare interesse per la possibilità di estrarre congiuntamente PGM e cromo, oltre possibilmente a olivina come by-product. Dato che si tratta di un greenfield, non è stata mai eseguita una campagna di esplorazione sistematica: si procederà, quindi, ad acquisire informazioni di base volte a stabilire il potenziale interesse minerario. La fase preliminare di raccolta dati bibliografici servirà a selezionare i siti, presenti nella zona Ivrea-Verbano, sui quali indirizzare le successive indagini laboratoriali. Di seguito vengono descritte le fasi di lavoro in ordine cronologico.

1) VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Si procederà alla raccolta, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi, i quali rappresentano una mole consistente di pubblicazioni e rapporti tecnici più o meno datati. Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato, alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche nel campo delle tipologie di giacimenti minerari in esame. Si procederà, quindi, a effettuare una sintesi focalizzata agli obiettivi del piano di prospezione nazionale.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Campagna di rilevamento in alcune aree selezionate, focalizzata principalmente alla delimitazione dei corpi di potenziale interesse minerario e alla raccolta di campioni per le analisi di laboratorio.

3) ANALISI DI LABORATORIO

Campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza e la concentrazione di PGM e altri metalli utili di possibile interesse economico. La campagna potrà prevedere l'utilizzo di diverse metodologie di indagine e l'impiego sia di laboratori universitari che di enti e aziende esterne. Le metodologie di indagine potranno prevedere, a seconda dei casi:

- studio dei campioni a mano ed eventualmente indagine in microscopia ottica;
- analisi chimico-mineralogica su roccia totale (es. XRF e XRD), eventualmente integrata con metodi analitici che prevedano l'utilizzo di apparecchiature da campo;
- Analisi specifiche (es. fire assay-INAA) per la valutazione delle concentrazioni di PGM.

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4. Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.

Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un report dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione. Si opereranno inoltre adeguate azioni di comunicazione dei risultati ottenuti nel contesto complessivo del Piano Nazionale di Esplorazione.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati del presente piano di indagine sarà possibile prevedere la continuazione dell'esplorazione e l'applicazione di metodologie di prospezione e analisi strumentale consolidate e di nuova concezione. Queste operazioni potranno prevedere:

1) Ampliamento dell'area di studio ad altre aree dello stesso contesto geologico, con indizi significativi relativi ai contenuti di PGM;
2) Continuazione e approfondimento delle indagini nelle aree investigate attraverso l'esecuzione di un piano mirato di sondaggi;
3) Implementazione e approfondimento del piano di indagini analitiche avente come obiettivo l'ottenimento di dati e informazioni rilevanti al fine di definire i caratteri giacimentologici (tessiture, paragenesi strutture, ecc.), indispensabili per la successiva fase di valutazione.
4) Valutazione di risorse e riserve attraverso l'applicazione delle procedure standard previste dal codice di valutazione internazionale selezionato.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei corpi mineralizzati a solfuri di Ni-Cu con PGE
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Rivitalizzazione della scuola mineraria professionale Follador di Agordo, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e transfrontaliere con i ricercatori del Servizio Geologico e delle Università svizzere.

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione

BIBLIOGRAFIA

Bussolesi, M.; Grieco, G.; Tzamos E. (2019). Olivine–spinel diffusivity patterns in chromitites and dunites from the Finero Phlogopite-Peridotite (Ivrea-Verbano Zone,Southern Alps): implications for the thermal history of the massif. Minerals 2019, 9, 75.

Fiorentini M. L., Grieco G, Ferrario A, Tunesi A. (2002) Petrological and metallogenic outlines of the Valmaggia ultramafic pipe (Ivrea zone), NW Alps, Italy. Per. Mineral., 71, 3, 219-239.

Garuti, G., Gazzotti, M. & Torres-Ruiz, J., 1995. iridium, rhodium, and platinum sulfides in chromitites from the ultramafic massifs of Finero, Italy, and Ojen, Spain. The Canadian Mineralogist, 33(3), pp. 509-520.

Grieco, G., Ferrario, A. & Mathez, E. A., 2004. The effect of metasomatism on the Cr-PGE mineralization in the Finero Complex, Ivrea Zone, Southern Alps. Ore Geology Reviews, 24(3), pp. 299-314.

Sessa, G. et al., 2017. Ni-Fe-Cu-PGE ore deposition driven by metasomatic fluids and melt-rock reactions in the deep crust: the ultramafic pipe of Valmaggia, Ivrea-Verbano, Italy. Ore Geology Reviews, Volume 90, pp. 485-509.

Zaccarini, F. et al., 2014. Mineralogical hosts of platinum group elements (PGE) and rhenium in the magmatic Ni-Fe-Cu sulfide deposits of the Ivrea Verbano Zone (Italy): an electron microprobe study. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, Volume 191, pp. 169-187.

Zanetti, A. et al., 2016. Origin and age of zircon-bearing chromitite layers from the Finero phlogopite peridotite (Ivrea–Verbano Zone, Western Alps) and geodynamic consequences. Lithos, Volume 262, pp. 58-74.

3) DISTRETTI MINERARI A RAME E MANGANESE DELLA LIGURIA ORIENTALE

Il progetto si propone di investigare il potenziale minerario di siti selezionati attraverso l'applicazione di diverse metodologie della prospezione mineraria, con un approccio modulare. Le due aree condividono il contesto geologico, costituito dagli estesi corpi ofiolitici della Liguria orientale la cui messa in posto è correlata alle diverse fasi dell'orogenesi Appenninica. I processi di metallogenesi, lo stile delle mineralizzazioni e le materie prime metalliche (CRM e altri metalli) sono diversi e specifici per i due distretti. Entrambi i distretti sono stati oggetto di una intensa attività estrattiva con decine di miniere, attive principalmente nel secolo scorso, ma con una limitata attività estrattiva operativa, per il distretto a manganese, anche nei primi anni del nuovo millennio.
La vicinanza, e finanche la parziale sovrapposizione dei due distretti, permette di ottimizzare le procedure preliminari di prospezione e di applicare in modo efficace le tecniche di esplorazione geofisica aerotrasportata, massimizzando i risultati raggiungibili in funzione sia dei costi che dei tempi.

Stato dell'arte:

DISTRETTO A RAME
Commodity: rame e manganese
Critical Raw Materials: Cu
Strategic Raw Materials: Cu
Altre *commodity*: Zn, Ag, da valutare ulteriori CRM oltre al rame
Localizzazione: Liguria Orientale: Val Gromolo, Val Petronio,

Contesto geologico: I giacimenti a solfuri di Cu della Liguria Orientale sono concentrati nella sequenza ofiolitica del Supergruppo della Val di Vara, Unità Bracco-Val Graveglia. Si tratta di mineralizzazioni a Cu di tipo VMS correlate alle fasi oceaniche dell'Oceano Ligure-Piemontese.

Contesto giacimentologico: Comprendono mineralizzazioni massive e in *stockwork* (calcopirite, pirite ± sfalerite), in varie posizioni stratigrafiche all'interno delle sequenze basaltiche.

Contesto minerario: Circa 30 miniere dismesse sono concentrate in un areale ristretto compreso tra le Valli Graveglia, Gromolo e Petronio, nell'entroterra compreso tra Chiavari e Sestri Levante in Provincia di Genova (Marescotti et al., 2018). Tra queste, le miniere di Libiola e di Monte Loreto sono nettamente le più importanti, sia dal punto di vista storico-archeologico sia dal punto di vista produttivo. La miniera di Libiola, attiva dal 1864 al 1962, ha prodotto oltre un milione di tonnellate di mineralizzazioni a solfuri (pirite, calcopirite ± sfalerite) con un tenore di Cu compreso tra il 7 e il 14 wt%. Le 5 discariche principali di *waste rock* contengono ancora significative concentrazioni di Cu oltre che di altri metalli (Zn, Cr, Ni, Ag).

DISTRETTO A MANGANESE

Commodity: manganese;
Critical Raw Materials: Mn
Strategic Raw Materials: Mn
Altre *commodity*: da valutare la presenza e le concentrazioni di altri CRM
Localizzazione: Liguria Orientale: Val Graveglia, Val di Vara

Contesto geologico: I giacimenti a ossidi di Mn sono concentrati in gran parte all'interno della Formazione dei Diaspri di M. Alpe (Supergruppo della Val di Vara, Unità Bracco-Val Graveglia). Si tratta di mineralizzazioni a Mn di origine primaria, correlata ai processi idrotermali dell'Oceano Ligure-Piemontese, che sono state interessate da ricristallizzazione e ispessimento durante le fasi tettonico-metamorfiche) dell'orogenesi appenninica (Cretaceo Sup.-Cenozoico) (Lucchetti et al., 1990) (Figura 15).

Contesto giacimentologico: Comprendono mineralizzazioni stratiformi in livelli alternati a diaspri ematitici e mineralizzazioni massive in lenti anche pluridecametriche, concentrate al nucleo o lungo i fianchi delle principali strutture plicative (Cabella et al., 1998; Marescotti & Frezzotti, 2000). Tutti i giacimenti sono composti da mineralizzazioni a ossidi di Mn.

Contesto minerario: La maggior parte delle miniere sono comprese tra la Val Graveglia e la Val Petronio, nell'entroterra tra Chiavari e Sestri Levante (Ge). Il distretto minerario della Val Graveglia è stato il principale distretto italiano per l'estrazione del Mn, con una produzione di oltre 1.200.000 tonnellate metriche di mineralizzazioni a braunite con un tenore di Mn compreso tra 30 e 45 wt%. Comprende 13 miniere principali in un areale di circa 50 km^2 (Gambatesa, Molinello, Cassagna, Nossiglia, Pontori, M. Bossea, M. bianco, Vallebona, Statale, Balarucca, M. Porcile, M. Zenone e M. Alpe – le ultime tre conosciute anche come "miniere dei Tre Monti").
La maggior parte di questi giacimenti è stata coltivata tra la seconda metà del 1800 e il 1960, ad eccezione della miniera di Gambatesa che è stata dismessa definitivamente nel 2011.

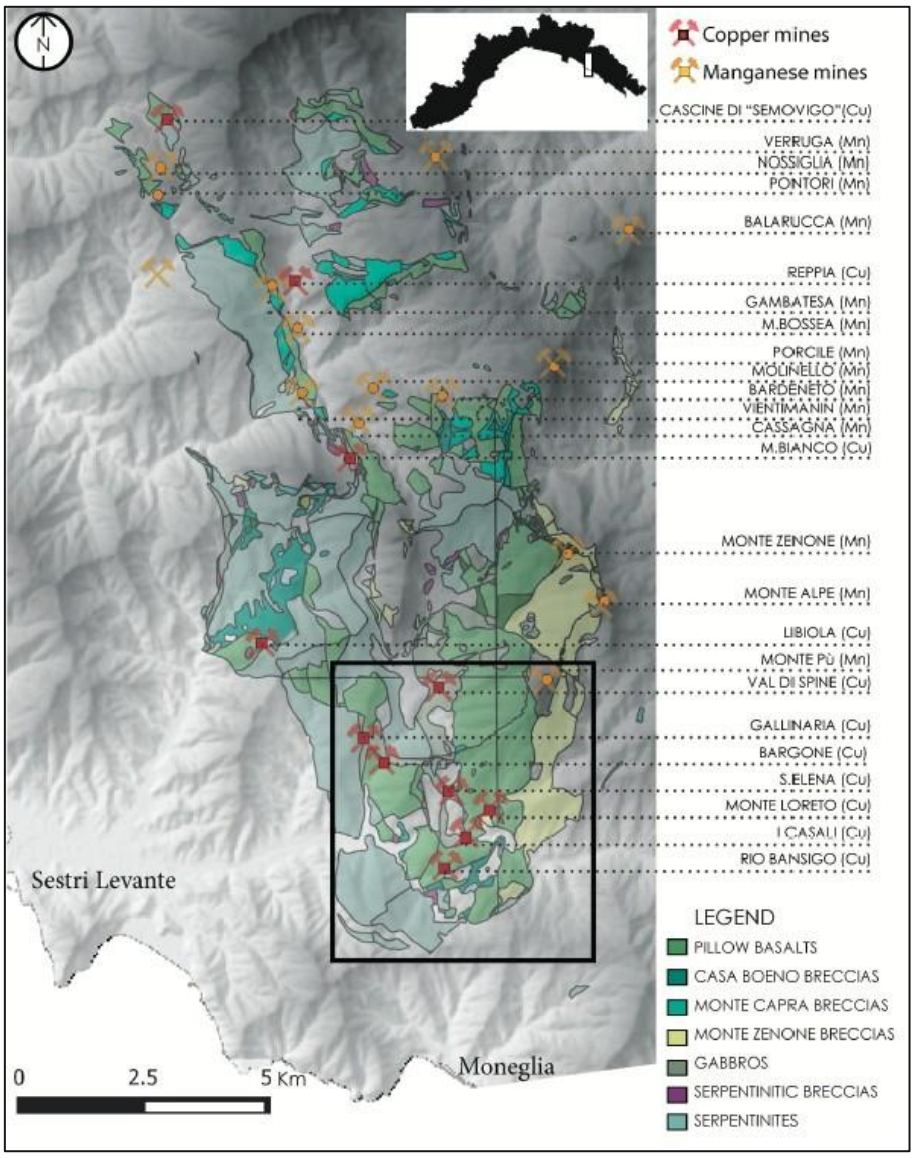

Figura 15 - Carta geologica della Liguria orientale , con la localizzazione delle principali miniere abbandonate di manganese e rame. Il riquadro indica l'area di maggiore interesse per rame.

Progettualità

L'implementazione del piano di prospezione prevede una ottimizzazione del rapporto costi-benefici attraverso l'applicazione congiunta delle metodologie di prospezione, sfruttando le sinergie tra i due distretti, e, in primo luogo, la loro vicinanza e parziale sovrapposizione geografica. Le attività da svolgere vengono di seguito descritte secondo uno schema concettuale di priorità temporale; va tenuto comunque conto, anche in vista dei tempi a disposizione, che le diverse fasi potranno prevedere un eventuale grado variabile di sovrapposizione.

1) VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Si procederà alla raccolta, vagliatura, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi, i quali rappresentano, per i due distretti, una mole consistente di pubblicazioni più o meno datate. Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche nel campo delle tipologie di giacimenti minerari

investigati. Si procederà, quindi, a effettuare una sintesi focalizzata agli obiettivi del piano di investigazione nazionale.

2) AIRBORNE EM

I distretti investigati costituiscono un'area pilota per l'applicazione, a fini prospettivi, della tecnologia Airborne EM, per cui vengono descritte di seguito le principali caratteristiche insieme alla potenziale applicazione ai siti investigati.

Molti paesi avanzati, in Europa, America ed Oceania, hanno già da anni intrapreso un percorso che utilizza, su larga scala, la metodologia elettromagnetica eli- (o avio-) trasportata (Airborne Electromagnetics, AEM), come strumento fondamentale per l'ottimizzare l'esplorazione mineraria.

Le principali caratteristiche dell'AEM sono:

- l'innovatività;
- la capacità di ricostruire la resistività elettrica del sottosuolo;
- l'enorme copertura areale delle aree di indagine, con una densità tipica di 100÷400 modelli di resistività per km2, su grandi aree (>> di 100 km2);
- la velocità di acquisizione, che permette di rilevare centinaia km lineari al giorno, che si traduce, a seconda della distanza interlinea, in copertura areale di diverse decine o centinaia di km2 giornalieri.
- l'elevato range di investigazione, da pochi metri sotto la superficie fino a circa 300÷400 m di profondità;
- la grande accuratezza e precisione dei risultati (risoluzione laterale di decine di metri, verticale di alcuni metri, in superficie);
- la sensibilità elevata in presenza di orizzonti conduttivi, nonché di minerali disseminati "caricabili";
- la completa non invasività, senza rischi per la salute e che non necessita di acquisire permessi per accedere a proprietà private;
- l'impareggiabile rapporto costi/benefici per l'esplorazione di brownfield e greenfield;
- l'integrabilità con dati ancillari standard (idrogeologici, geochimici, geofisica al suolo/pozzo).

l'AEM per l'esplorazione mineraria riesce a mappare la geologia favorevole alla mineralizzazione e, in alcuni casi, la mineralizzazione stessa. In generale, consente anche la ricostruzione dell'assetto strutturale e idrogeologico dell'area, anche rispetto al rischio di dissesto.

La proposta del progetto è l'esplorazione di *brownfield* e *greenfield* nei distretti di interesse, tramite AEM elitrasportato, nonché di misure magnetiche (MAG), per la ricerca di manganese e rame.

Le misure elitrasportate saranno/potranno essere accompagnate da misure elettromagnetiche al suolo con strumentazione portatile a zaino, per la caratterizzazione di dettaglio (risoluzione laterale e verticale di pochi metri e profondità di indagine tra i 50 ed i 100 metri) ad esempio di discariche minerarie.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Campagna di rilevamento e campionatura in alcune aree limitate dei distretti, focalizzata principalmente al censimento e mappatura dei più rilevanti corpi di discarica di entrambi i distretti minerari e alla caratterizzazione chimica e mineralogica delle stesse e dei corpi minerari, ove affioranti.

3) ANALISI DI LABORATORIO

Campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza e la concentrazione di CRM e altri metalli utili di possibile interesse economico. La campagna potrà prevedere l'utilizzo di diverse metodologie di indagine e l'impiego sia di laboratori universitari che di enti e aziende esterne. Le metodologie di indagine potranno prevedere, a seconda dei casi:

- Studio dei campioni a mano ed eventualmente indagine in microscopia ottica:
- Analisi granulometriche;
- Analisi chimico-mineralogiche su roccia totale (XRF e XRD), eventualmente integrata con metodi analitici che prevedano l'utilizzo di apparecchiature da campo.

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un *report* dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione.
Inoltre, dati e modelli geofisici verranno condivisi in un formato visualizzabile in QGIS tramite un *plugin* sviluppato appositamente per la visualizzazione in ambiente GIS di dati e modelli geofisici.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati del piano di indagine sarà possibile prevedere la continuazione dell'esplorazione e l'applicazione delle metodologie consolidate e di nuove metodologie. Queste operazioni potranno prevedere:

1) Ampliamento dell'area di studio ai due distretti minerari nella loro interezza, estendendo arealmente le indagini già svolte;
2) Continuazione e approfondimento delle indagini nelle aree investigate attraverso l'esecuzione di un piano mirato di sondaggi e di misure a terra;
3) Implementazione e approfondimento del piano di indagini analitiche avente come obiettivo l'ottenimento di dati e informazioni rilevanti al fine di definire i caratteri giacimentologici (tessiture, paragenesi strutture etc.) indispensabili per la successiva fase di valutazione.

4) Valutazione di risorse e riserve attraverso l'applicazione delle procedure standard previste dal codice di valutazione internazionale selezionato.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei corpi mineralizzati a solfuri della Liguria e dell'Appennino settentrionale
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.
- Sperimentazione e sviluppo delle tecniche di geofisica aviotrasportata con possibile estensione in altre aree della futura programmazione di Fase 2 e 3

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive in territori ambientalmente delicati come quelli liguri

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Sviluppo di metodiche e criteri per caratterizzazione dei rifiuti estrattivi e per la loro eventuale coltivazione
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria

- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate ai rifiuti estrattivi

Bibliografia

Manganese

Bonatti, E., Zerbi, M., Kay, T., Rydell, H., 1976. Metalliferous deposits from the Apennine ophiolites: Mesozoic equivalents of modem deposits from oceanic spreading centers. Geological Society of American Bulletin, Volume 87, pp. 83-94.

Cabella, R., Lucchetti, G., Marescotti, P., 1998. Mn-ores from Eastern Ligurian ophiolitic sequences ("Diaspri di Monte Alpe" Formation, Northern Apennines, Italy). Trends Mineral, 2(1-17).

Lucchetti, G., Cabella, R., Cortesogno, L., 1990. Pumpellyites and coexisting minerals in different lowgrade metamorphic facies of Liguria, Italy. Journal of Metamorphic Geology, Volume 8, pp. 539-550.

Marescotti P. (1997): The manganese mineralizations associated with cherts of the Diaspri di M. Alpe Formation, mineralogy, chemistry, phase equilibria and genetic significance. PhD Thesis, University of Genova, Italy.

Marescotti, P., Cabella, R., 1996. Significance of chemical variations in a chert sequence of the "Diaspri di Monte Alpe Formation" (Val Graveglia, Northern Apennine, Italy. Ofioliti, Volume 21, pp. 139-144.

Marescotti, P., Frezzotti, M., 2000. Alteration of braunite ores from Eastern Liguria (Italy) during syntectonic veining processes: Mineralogy and fluid inclusions. European Journal of Mineralogy, Volume 12, pp. 341-356.

Rame

Marescotti, P., Brancucci, G., Sasso, G., Solimano, M., Marin, V., Muzio, C., Salmona, P. (2018). Geoheritage values and environmental issues of derelict mines: examples from the sulfide mines of Gromolo and Petronio Valleys (Eastern Liguria, Italy). Minerals, vol. 8, p. 1-22, ISSN: 2075-163X, doi: 10.3390/min8060229

Marescotti, P., Carbone, C., Comodi, P., Frondini, F., Lucchetti, G. (2012). Mineralogical and chemical evolution of ochreous precipitates from the Libiola Fe–Cu-sulfide mine (Eastern Liguria, Italy). Applied Geochemistry, vol. 27, p. 577-589, ISSN: 0883-2927, doi: 10.1016/j.apgeochem.2011.12.024

Marescotti, P., Azzali, E., Servida, D., Carbone, C., Grieco, G., De Capitani, L., Lucchetti, G. (2010). Mineralogical and geochemical spatial analyses of a waste-rock dump at the Libiola Fe-Cu sulphide mine (Eastern Liguria, Italy). ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES, vol. 61, p. 187-199, ISSN: 1866-6280, doi: 10.1007/s12665-009-0335-7

Marescotti, P., Carbone, C., De Capitani, L., Grieco G., Lucchetti, G., Servida D. (2008). Mineralogical and geochemical characterisation of open.air tailing and waste-rock dumps from the Libiola Fe-Cu sulphide mine (Eastern Liguria, Italy). Environmental Geology, vol. 53, p. 1613-1626, ISSN: 0943-0105, doi: 10.1007/s00254-007-0769-8

Marescotti, P., Carbone, C. (2003). La miniera dismessa di Libiola (Sestri Levante, Liguria Orientale): studio mineralogico sui processi di alterazione di solfuri di Fe e Cu e valutazione del loro impatto ambientale. GEAM. Geoingegneria Ambientale e Mineraria, vol. 109 (3), p. 45-53, ISSN: 1121-9041

Ferrario A. & Garuti G. (1980): Copper Deposits in the basal breccias and volcano-sedimentary sequences of the Eastern Ligurian Ophiolites (Italy). Mineralium Deposita, 15:291-303

Zaccarini, F.; Garuti, G. (2008) Mineralogy and chemical composition of VMS deposits of northern Apennine ophiolites, Italy: Evidence for the influence of country rock type on ore composition. Mineral. Petrol., 94, 61–83.

AEM

Hashemi A., Meyers J. (2004) HoistEM data processing for discovery of high-grade manganese ore under regolith cover. Exploration Geophysics 35, 272-76. https://doi.org/10.1071/EG04272

Palacky G.J. (1993) Use of airborne electromagnetic methods for resource mapping, Advances in Space Research, Volume 13, Issue 11, 1993, Pages 5-14, ISSN 0273-1177. doi: 10.1016/0273-1177(93)90196-I.

Worrall L., Munday T. Green A. (1998) Beyond bump finding? airborne electromagnetics for mineral exploration in regolith dominated terrains. Exploration Geophysics 29, 199-203. https://doi.org/10.1071/EG998199.

4) PROGETTO GRAFITE: CALABRIA, PIEMONTE, LIGURIA

A) GRAFITE CALABRA: DISTRETTI DI MONTEROSSO CALABRO E OLIVADI

Il progetto si propone di eseguire indagini preliminari di prospezione mineraria al fine di valutare il potenziale minerario delle mineralizzazioni di grafite nei distretti di Monterosso Calabro (VV) e località prossime (Polia, S.Vito, etc.) e di Olivadi (Cz). Le due aree sono state storicamente oggetto di estrazione mineraria (Miniera di Piano dell'Acqua e miniera di Riga) sino alla definitiva chiusura delle attività nella seconda metà del '900. Geologicamente le due aree sono ospitate nelle rocce di basamento Varisico, nelle successioni del Massiccio delle Serre.
Il progetto si propone inoltre di definire la presenza di ulteriori SRMs e CRMs associate alle mineralizzazioni di grafite.

Stato dell'arte

Commodity principale: Graphite;
Critical Raw Materials: Graphite, Vanadio?;
Altre commodity: Pb,Zn,Mo
Localizzazione: Calabria, Monterosso Calabro (VV); Olivadi (CZ)

Contesto geologico: Monterosso Calabro/Olivadi (Figura 16): Le mineralizzazioni a grafite sono localizzate in scisti grafitici della crosta continentale Varisica costituita da granuliti mafiche e felsiche, intrusioni gabbriche stratificate (metagabbri), metaperidotiti e metasedimenti. In sovrapposizione seguono paragneiss migmatitici e intercalazioni di metabasiti, marmi e orthogneiss (Paglionico & Piccarreta, 1978; Schenk, 1984; Acquafredda et al., 2006, 2008; Fornelli et al., 2011; Festa et al., 2024). Nel dettaglio, gli scisti grafitici sono ospitati in gneiss e paragneiss migmatitici (Schenk, 1984; Melograni, 1823).
Da analisi preliminari e contesto geologico, il tipo di grafite qui presente può essere classificato come grafite di tipo "Crystalline flake graphite deposits" (Simandl et al., 1992), generalmente associato a paragneiss, marmi che hanno subito metamorfismo in facies anfibolitica- granulitica.

Contesto giacimentologico: La mineralizzazione è contenuta in scisti grafitici. I cristalli di grafite hanno una granulometria da fine a grossolana. Localmente sono state descritte "vene" di graphite che tagliano le rocce incassanti (Melograni, 1823): la grafite è associata a quarzo, mica, granati, feldspati. Localmente, nella zona di Monterosso Calabro si rinvengono campioni di quarziti con mineralizzazione massiva di grafite associata a solfuri (pyrite) con estese patine di alterazione (Figura 17).

Contesto minerario: Nelle aree di interesse, la coltivazione della grafite era concentrata nelle miniere di Piano dell'Acqua (Monterosso Calabro) e di Riga (Olivadi). I dati sui tenori della mineralizzazione sono scarsi e dispersi. Da alcuni report esplorativi più recenti, risalenti alle attività di esplorazione della Compagnia Monte Amiata (1965), nella zona di "Fosso Divisa", è riportata la presenza di un banco mineralizzato con 7-8% di grafite lamellare con un tenore di circa 13% di C grafitico. Da una prima ricognizione dell'area

di Monterosso Calabro, le aree di accesso all'antica miniera risultano completamente crollate. Il materiale in Fig. 11 è stato quindi prelevato dal materiale disponibile in un antico silos. Nessuna indagine preliminare è stata fatta nella zona di Olivadi.

Figure. 1:

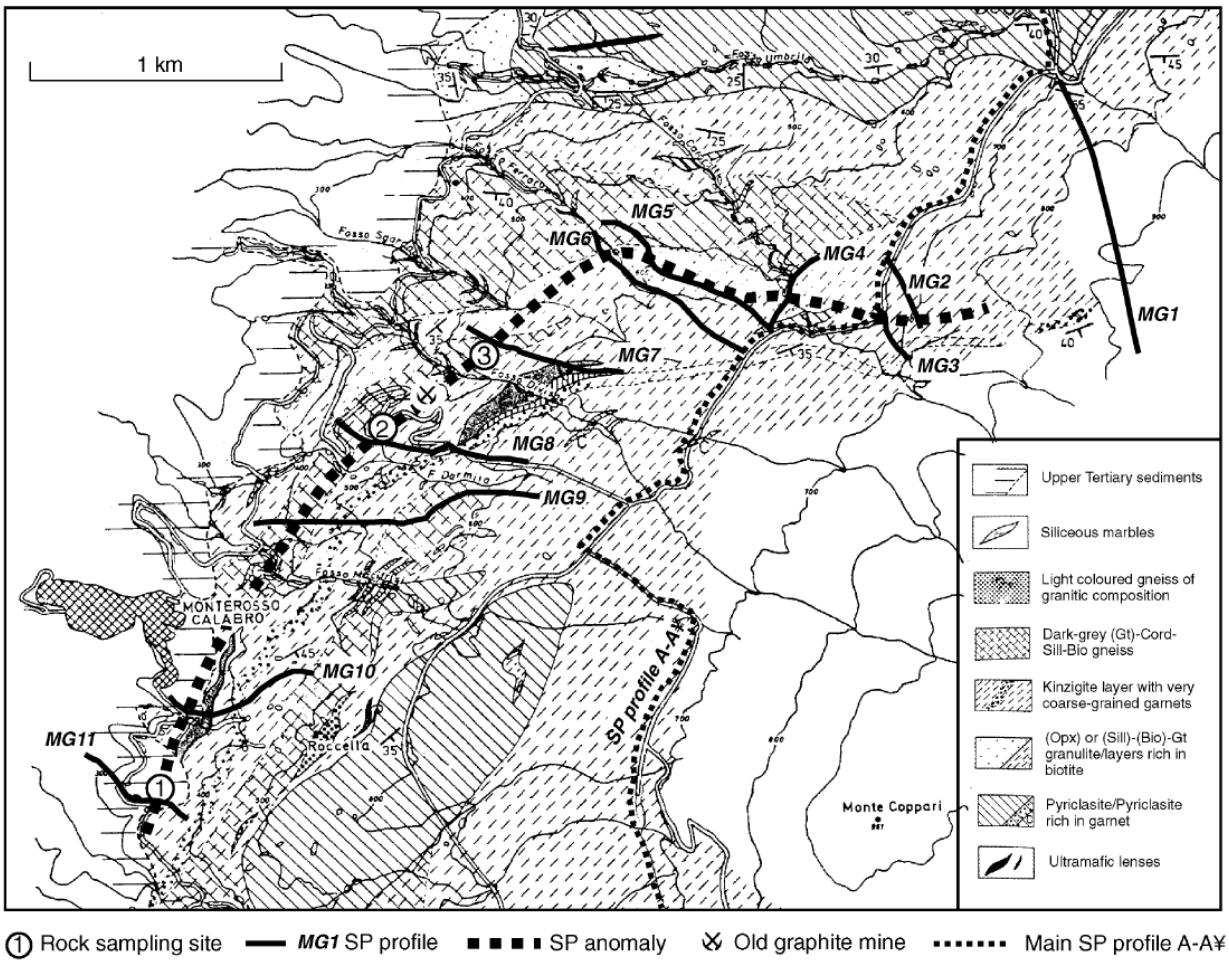

Figura 16 - Geologia dell'area di Monterosso Calabro

Figura 17 - Campioni mineralizzati a grafite (Monterosso Calabro)

B) GRAFITE PIEMONTESE: VAL CHISONE, VAL GERMANASCA, VALLONE DI PRAMOLLO, VALLONE DI GRANDUBBIONE

Il progetto si propone di eseguire indagini preliminari di prospezione mineraria al fine di valutare il potenziale minerario delle mineralizzazioni di grafite localizzate in numerosi antichi siti minerari delle valli pinerolesi in Piemonte (To). Le aree sono state storicamente oggetto di importanti estrazioni di grafite sia in regime industriale che artigianale sino alla definitiva chiusura dell'ultima miniera di Brutta Comba nel 1983. Geologicamente l'area di interesse si trova nel complesso Grafitico Pinerolese del Massiccio del Dora-Maira. Il progetto si propone inoltre di definire la presenza di ulteriori SRMs e CRMs associate alle mineralizzazioni di grafite.

Stato dell'arte

Commodity principale: Graphite;
Critical Raw Materials: Graphite, Vanadio?;
Altre commodity: da definire
Localizzazione: Piemonte, Val Chisone, Germanasca, Vallone Pramollo, Vallone di Grandubbione e aree circostanti

Contesto geologico: Val Chisone e Val Germanasca (Figura 18): L'area ricade all'interno delle unità del Massiccio del Dora-Maira nel Dominio Pennidico delle Alpi Occidentali. Più in dettaglio, l'area di interesse è localizzata nel complesso inferiore del Dora-Maira costituito da una successione mono-metamorfica di origine sedimentaria costituita da meta-conglomerati, gneiss minuti e metapeliti contraddistinti dalla presenza di originaria materia organica trasformata in grafite, diffusa o concentrata in banchi o lenti. Tale successione è nota come Complesso Grafitico Pinerolese, anche noto come Unità Sanfront-Pinerolo, di età Carbonifera (Manzotti et al., 2016). Tali rocce hanno subito un picco metamorfico in facies scisti blu e una riequilibrazione in facies scisti verdi.
Contesto Giacimentologico: Le mineralizzazioni a grafite sono disposte secondo la scistosità regionale in livelli più o meno concentrati (Figura 19 a) e discreti all'interno di successioni di meta-coglomerati e/o met-arenitei (paragneiss) alternate a meta-siltiti o meta-peliti spesso altamente arricchite in grafite (micascisti grafitici) (Figura 19 b). La giacitura dei banchi mineralizzati ed il tipo di litologie incassanti, derivanti dalla trasformazione metamorfica di successioni sedimentarie crostali, suggerisce che le mineralizzazioni a grafite derivino dalla trasformazione di livelli ricchi di sostanza organica intercalati a sedimenti di granulometria differente al momento della loro deposizione, e successivamente coinvolti negli stessi eventi deformativi durante l'orogenesi Alpina.
Da analisi preliminari e contesto geologico (Santoro et al., 2025, in press), il tipo di grafite qui presente può essere classificato come grafite di tipo "Microcrystalline graphite deposits" (Simandl et al., 1992; Taylor 2006), generalmente tipico di rocce ad alto contenuto grafitico sottoposte a metamorfismo in facies scisti verdi.

Contesto minerario: Nelle aree in prossimità della valle Germanasca, Val Chisone, Vallone di Pramollo si riscontrano tracce di antiche attività minerarie (discariche, accessi di gallerie artigianali abbandonate, accessi di gallerie franate o murate). L'inizio di estrazione in queste aree è attestato attorno ai primi del'800. La produzione di grafite nell'area raggiunse il suo apice attorno i primi del '900 sotto il controllo della Società Talco & Grafite Val Chisone fino alla definitiva cessazione di tutte le attività estrattive con

la chiusura della Miniera di Icla-Brutta Comba nel 1983. L'utilizzo in Italia era ripartito per il 75% nelle fonderie e per il 20% nei colorifici, cartiere e fabbriche di pneumatici come materia colorante; il resto era impiegato come prodotto lubrificante.

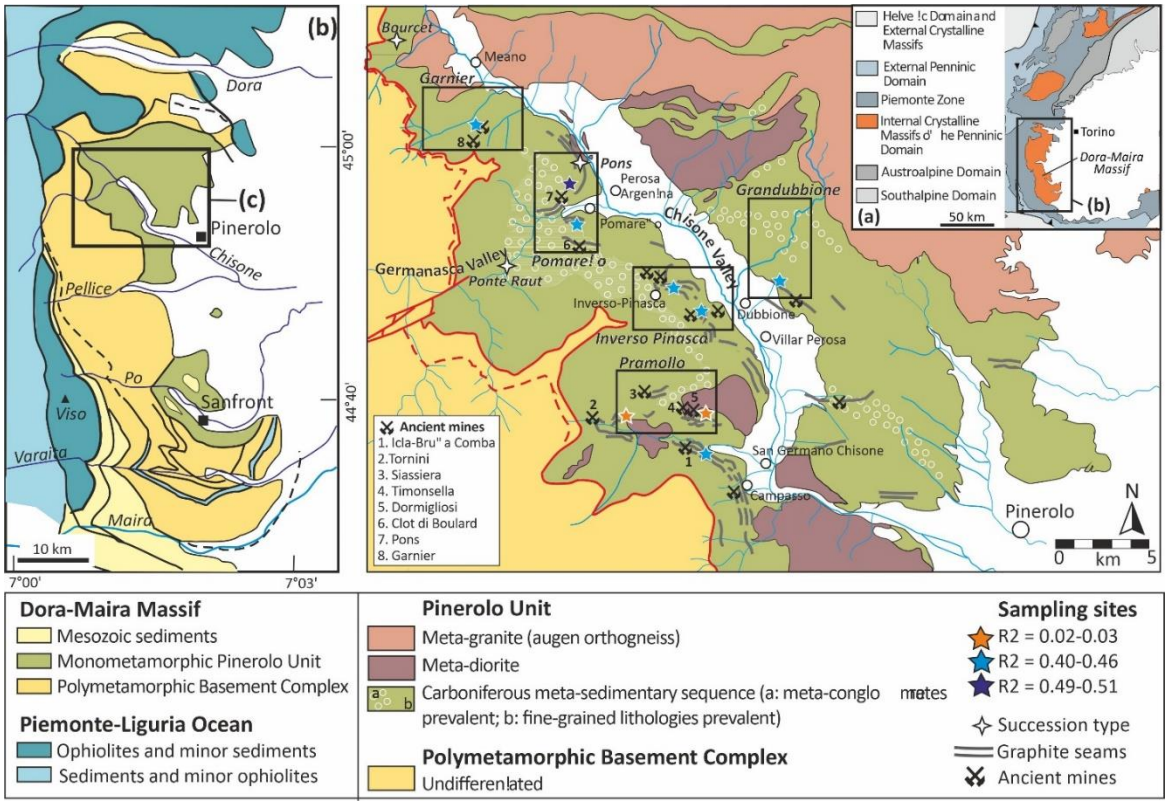

Figura 18 - Geologia dell'area della Val Chisone e Val Germanasca

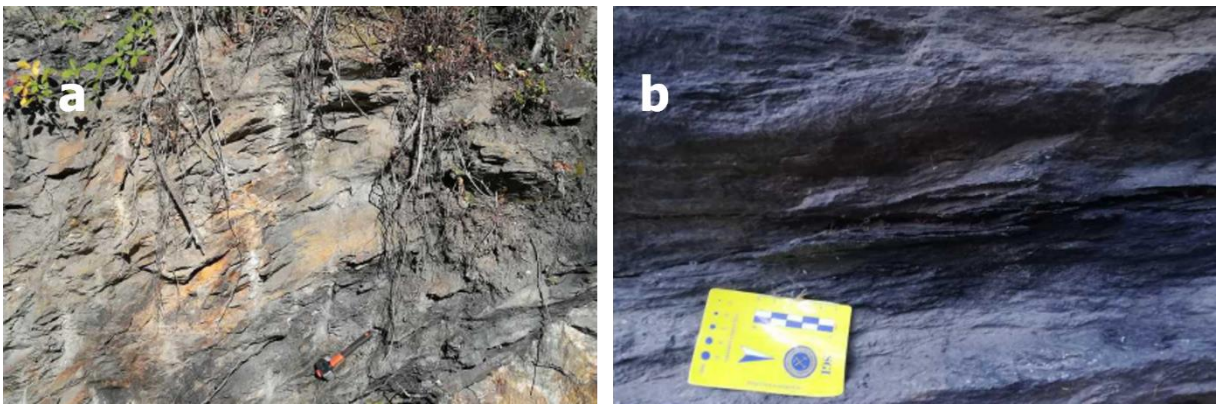

Figura 19 - Mineralizzazioni a grafite

C) GRAFITE SAVONESE: VAL BORMIDA

Il progetto si propone di eseguire indagini preliminari di prospezione mineraria al fine di valutare il potenziale minerario delle mineralizzazioni di grafite localizzate nell'alta Val Bormida in Provincia di Savona. L'area è stata oggetto di coltivazione mineraria di Antracite e grafite sino alla seconda metà del '900. Geologicamente l'area di interesse si trova nel dominio Brianzonese delle Alpi Liguridi.
Il progetto si propone inoltre di definire la presenza di ulteriori SRMs e CRMs associate alle mineralizzazioni di grafite.

Stato dell'arte

Commodity principale: Graphite;
Critical Raw Materials: Graphite, V?;
Altre commodity: Pb, Zn, Ag, Au
Localizzazione: Liguria, Val Bormida, Murialdo, Calizzano, Osiglia, Mallare, provincia di Savona

Pianificazione delle attività (per i 3 siti)

1) *VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI*

Si procederà alla raccolta, vagliatura, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi, là dove disponibili. Il materiale raccolto andrà rielaborato alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche sulla base delle nuove conoscenze dei modelli genetici e giacimentologici.

2) *ATTIVITA' SUL TERRENO*

Campagna di rilevamento e campionatura in alcune aree limitate dei distretti, focalizzata principalmente al censimento e mappatura dei più rilevanti corpi di affioramento e discarica di entrambi i distretti minerari e alla caratterizzazione chimica e mineralogica delle stesse e dei corpi minerari dove affioranti.

3) *INDAGINI GEOFISICHE*

La presenza di corpi mineralizzati a grafite andrà effettuata con tecniche di indagine geofisica in sito, tramite metodi elettrici (Tomografie di resistività elettrica, ERT), polarizzazione indotta (CP), potenziali spontanei (SP) e metodi elettromagnetici (EM).

4) *ANALISI DI LABORATORIO*

Indagini di laboratorio petrografiche, mineralogiche e geochimiche volta a verificare il grado di cristallinità, la presenza e la concentrazione di CRM e altri metalli utili di possibile interesse economico. La campagna potrà prevedere l'utilizzo di diverse metodologie di indagine e l'impiego sia di laboratori universitari che di enti e aziende esterne. Le metodologie di indagine potranno prevedere a seconda dei casi:

- studio dei campioni a mano ed eventualmente indagine in microscopia ottica;
- analisi chimico-mineralogica su roccia totale per definire il contenuto di CRMs e di C grafitico.
- Analisi di cristallinità e analisi granulometriche.

5) *GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI*

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un *report* dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

Sulla base dei risultati delle indagini preliminari si valuterà la possibilità di proseguire l'attività di prospezione con un maggior grado di dettaglio sia sui prospetti Calabri che Piemontesi e Liguri, tramite studi geofisici più approfonditi comprendenti:

1) Indagini geofisiche elettromagnetiche ad alta frequenza da elicottero (HEM) e airborne magnetic per definire l'estensione dell'area di interesse oltre che definire e localizzare ulteriori zone di interesse.
2) Campionamento tramite carotaggio.
3) Analisi di laboratorio (petrografiche, mineralogiche, chimiche) su carote.
4) Beneficiation tests con simulazione del recovery comprensive di crushing-milling e flottazione della grafite tramite varie tecniche di flottazione.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei corpi mineralizzati a grafite sul territorio nazionale
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.
- Sperimentazione e sviluppo delle tecniche di geofisica aviotrasportata con possibile estensione in altre aree della futura programmazione di Fase 2 e 3

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive in territori ambientalmente delicati come quelli liguri
- Integrazione con proposte di turismo minerario, soprattutto in Calabria

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale

- Sviluppo di metodiche e criteri per caratterizzazione dei rifiuti estrattivi e per la loro eventuale coltivazione
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali.

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate ai rifiuti estrattivi

Bibliografia

Acquafredda, P., Fornelli, A., Paglionico, A., Piccaretta, G., 2006. Petrological evidence for crustal thickening and extension in the Serre granulite terrane (Calabria, southern Italy). *Geological Magazine* 2006; 143 (2): 145–163. doi: https://doi.org/10.1017/S0016756805001482

Acquafredda, P., Fornelli, A., Piccaretta, G., Pascazio, A., 2008. Multi-stage dehydration–decompression in the metagabbros from the lower crustal rocks of the Serre (southern Calabria, Italy). *Geological Magazine* 2008; 145 (3): 397–411. doi: https://doi.org/10.1017/S001675680700430X

Festa, V., Spiess, R., Tursi, F., 2024. Garnet coalescence clogs melt extraction channels in migmatite. Lithos, 472–473. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2024.107581.

Fornelli, A., Pascazio, A., Piccarreta, G., 2011. Diachronic and different metamorphic evolution in the fossil Variscan lower crust of Calabria. Int. J. Earth Sci. 101, 1191–1207. https://doi.org/10.1007/s00531-011-0721-8.

Jödicke, H., Kruhl, J.H, Ballhaus, C., Giese, P., Untiedt, J., 2004. Syngenetic, thin graphite-rich horizons in lower crustal rocks from the Serre San Bruno, Calabria (Italy), and implications for the nature of high-conducting deep crustal layers. Physics of the Earth and Planetary Interiors 141, 37–58.

Manzotti, P., Ballèvre, M., Poujol, M. 2016. Detrital zircon geochronology in the Dora-Maira and zone houillère: A record of sediment travel paths in the Carboniferous. Terra Nova, 28, 279–288. https://doi.org/10.1111/ter.12219

Melograni, G. 1983. Sulla miniera di grafite di Olivadi nella provincia di Calabria Ulteriore. Memoria. Published by Tipografia Angelo Trani, Napoli.

Pagliolino, A., Piccaretta, G., 1978. History and Petrology of a fragment of the deep crust in the Serre (Calabria, Southern Italy). N. Jb. Miner. Mh., 9, 385-396.

Ridoni E., 1917. La grafite, L'industria chimica, mineraria e metallurgica. 22-23-24, Tipografia Olivero & c.

Santoro, L., Bertone, V., Ferrando, S., Groppo, C., 2025. New insights on graphite deposits in Chisone and Germanasca valleys (Dora-Maira Massif, western Italian Alps): scientific advances and applied perspectives. Minerals. In press.

Schenk, V. 1984. Petrology of Felsic Granulites, Metapelites, Metabasics, Ultramafics, and Metacarbonates from Southern Calabria (Italy): Prograde Metamorphism, Uplift and Cooling of a Former Lower Crust, *Journal of Petrology*, 25, 1, 255–296, https://doi.org/10.1093/petrology/25.1.255

Simandl, G.J. 1992. Gîtes de graphite de la région de la Gatineau, Québec, Unpublished PhD Thesis, Université de Montréal, Montréal, Canada, 383 pp
Taylor, H.A. 2006. Graphite. In: Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., and Krukowski, W.T., (Eds.), Industrial Minerals and Rocks. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado. 507-518.

5) RISORSE NON CONVENZIONALI DI LITIO IN ITALIA (TOSCANA, LAZIO, CAMPANIA, EMILIA ROMAGNA, MARCHE, PIEMONTE, LOMBARDIA, TRENTINO ALTO ADIGE)

L'Italia, nella sua lunga storia mineraria, non ha mai prodotto litio ma ha un notevole potenziale per la scoperta di giacimenti non convenzionali a basso tenore in fluidi profondi e in rocce granitiche e vulcano-sedimentarie (Figura 20). Un recente studio scientifico sul potenziale italiano per litio ha evidenziato quattro target minerari principali (Figura 21):

1) fluidi geotermici ad alta entalpia della fascia vulcanica peri-tirrenica;
2) fluidi termali a bassa entalpia della fascia frontale della Catena Appenninica;
3) graniti cenozoico-quaternari della Toscana;
4) sequenze vulcano-sedimentarie permiane della Catena Alpina.

Questi quattro target minerari non sono mai stati coltivati per l'estrazione del litio né in Italia né all'estero e costituiscono una sfida scientifica e industriale per i prossimi anni. La necessità di incrementare rapidamente la produzione globale di litio e allo stesso tempo di diversificarne le zone di produzione ha innescato una vera e propria corsa al litio non convenzionale. Molte compagnie minerarie stanno conducendo attività esplorative/pre-produttive su rocce granitiche a basso tenore di litio in Cornovaglia, in Francia, in Germania, in Repubblica Ceca e in Portogallo. I progetti per l'estrazione del litio dai fluidi geotermici nell'Alta Valle del Reno (Francia e Germania) stanno andando avanti da molti anni coinvolgendo Aziende nazionali e straniere oltre a enti di ricerca scientifica e industriale. Infine, il potenziale per litio delle sequenze vulcano-sedimentarie è ben evidenziato dalla scoperta (inizio anni 2000) del grande giacimento di Jadar in Serbia che, una volta superata l'attuale crisi geopolitica, è auspicabile entri in produzione cambiando il ruolo dell'Europa sul tavolo internazionale delle materie prime critiche.
Malgrado l'argomento litio abbia suscitato interesse anche in Italia, agli studi scientifici non sono seguite rilevanti azioni industriali. Non si tratta di target minerari convenzionali e ovviamente la loro esplorazione implica un significativo rischio industriale, ma la criticità e strategicità di questo metallo è tale da richiedere un cambio di passo. È quindi necessario sviluppare un piano esplorativo di ricerca di base finalizzato ad una migliore caratterizzazione di questi target minerari per incentivare una rapida messa a terra di azioni esplorative da parte delle compagnie minerarie.
L'intento del progetto è quello di caratterizzare in modo diretto (per rocce e fluidi termali campionabili) o indiretto (nel caso dei fluidi geotermici attualmente non disponibili) i quattro tipi di risorsa non convenzionale. Verrà applicato un approccio interdisciplinare che integra studi geo-mineralogici e geochimici di terreno, analisi petrografica-mineralogica-geochimica-isotopica, esperimenti di estrazione idrotermale e studio delle interazioni acqua-roccia.

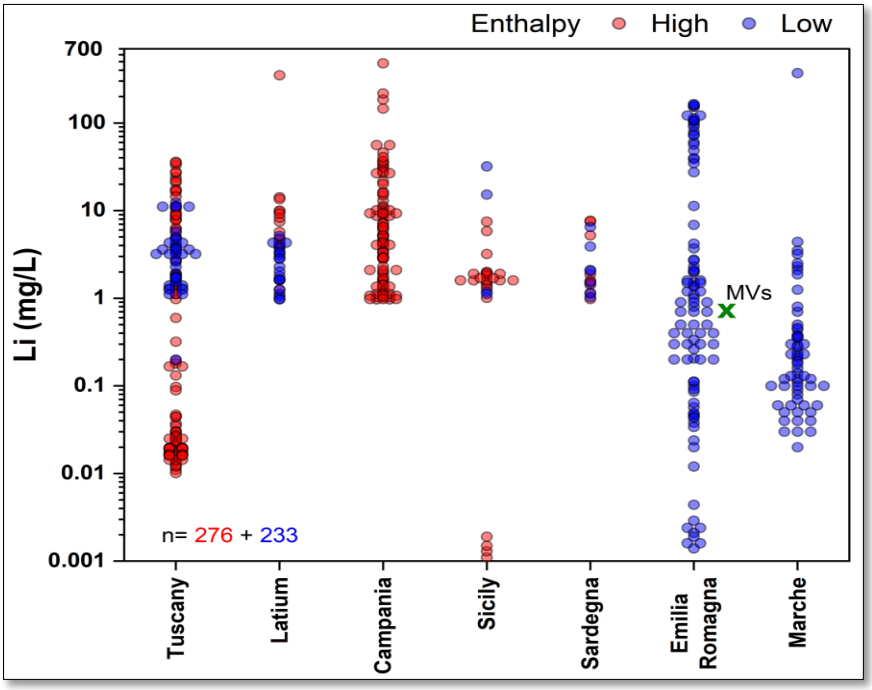

Figura 20 - Concentrazione di litio nei fluidi geotermici (Target 1) e termali (Target 2) italiani.

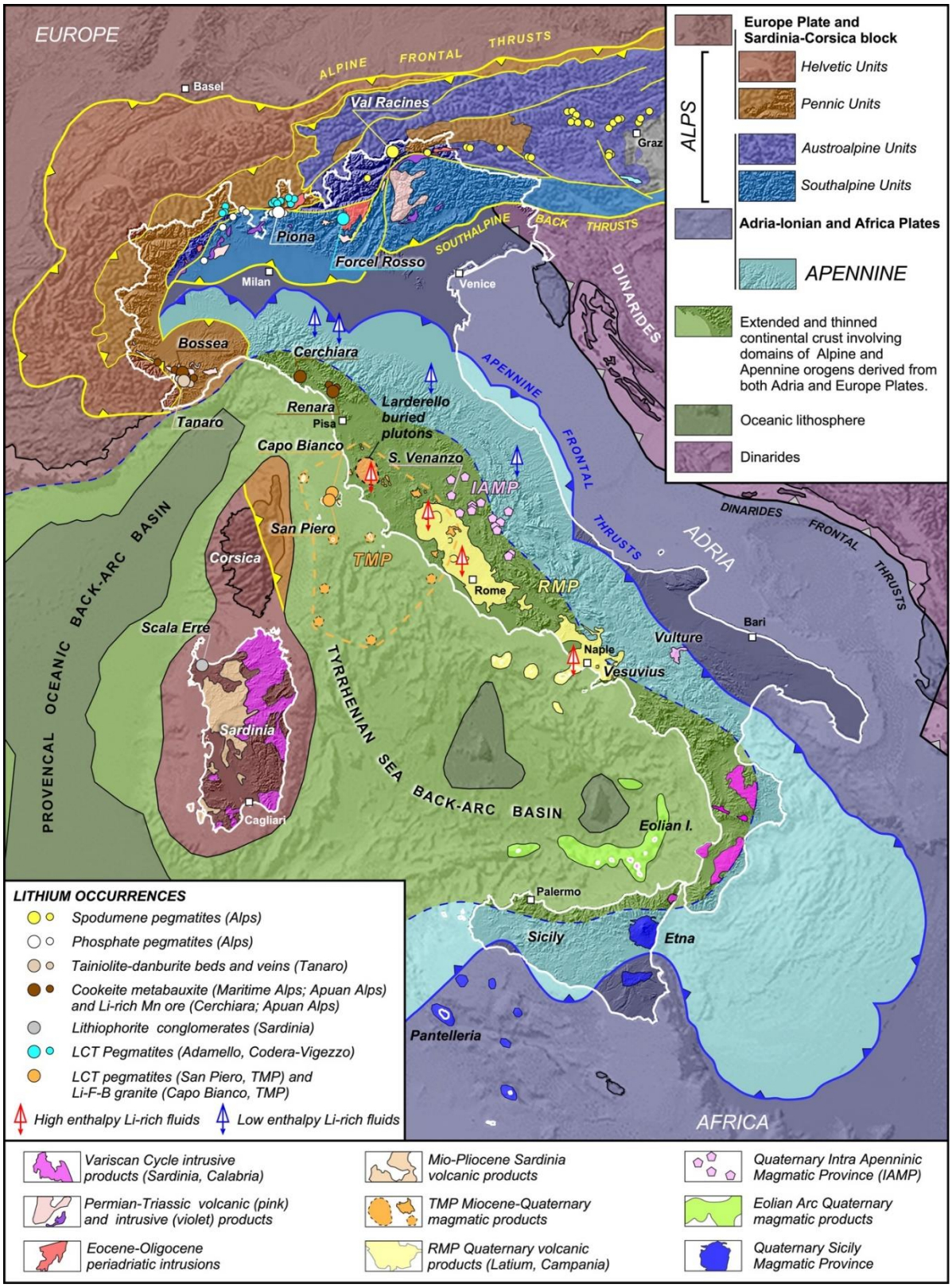

Figura 21 - Schema tettonico d'Italia con indicati i target per litio.

Verranno utilizzati tutti i dati disponibili nella letteratura scientifica e anche alcuni studi inediti condotti nell'ambito di Tesi di Dottorato e Master. Per la risorsa litio non esiste un database minerario pregresso e nemmeno documenti depositati negli archivi minerari. Tutti i dati prodotti saranno integrati in un database, necessario all'ottenimento dei

modelli genetici concettuali dei quattro diversi target minerari. I modelli concettuali forniranno informazioni fondamentali per affrontare successivamente l'identificazione delle aree più favorevoli allo svolgimento di attività di esplorazione mineraria da parte delle compagnie minerarie.

Stato dell'arte:

Commodity: litio, boro;
Critical Raw Materials: litio, boro;
Strategic Raw Materials: litio, boro
Altre commodity: - potassio, rubidio, cesio,
Localizzazione: Toscana, Lazio, Campania, Emilia-Romagna, Marche, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige

Contesto geologico e giacimentologico:

Target 1 – Fluidi geotermici: l'area maggiormente indiziata è quella che va dal complesso vulcanico dei Vulsini (Lazio) fino ai Campi Flegrei (Campania). Durante le esplorazioni condotte da ENEL-AGIP negli anni 1970-80, furono intercettati reservoir geotermici con temperature fino a 300°C e fluidi salini ad elevato contenuto di litio (fino a 480 mg/l). I reservoir sono ospitati nelle formazioni sedimentarie carbonatiche che stanno sotto le sequenze piroclastiche vulcaniche.

Target 2 – Fluidi Termali: in questo caso si tratta di fluidi salini di bassa termalità, associati ad acque con minore salinità, che emergono spontaneamente, o sono stati intercettati in pozzo, nella zona frontale della Catena Appenninica, tra Piacenza e Pescara (es. Salsomaggiore, Castrocaro, Tolentino). Questi fluidi sono spazialmente associati a vulcani di fango che attraversano sequenze sedimentarie Mio-Plioceniche e Quaternarie.

Target 3 – graniti peralluminosi Toscana: lo sviluppo del back-arc continentale del Tirreno Settentrionale ha creato le condizioni ideali, a partire dal Miocene superiore, per la fusione parziale della crosta continentale inferiore e il trasferimento fino alla superficie di fusi granitici peralluminosi. Gran parte di questi magmi si sono messi in posto nelle Unità Toscane e Liguri (tra 6 e 2 km di profondità) formando plutoni granitici e intrusioni subvulcaniche. In pochi casi hanno alimentato piccoli apparati vulcanici. La fusione parziale della crosta continentale meta-sedimentaria ha generato fusi specializzati ricchi di litio (Figura 22), boro, rubidio, cesio, tantalio, niobio.

Target 4 – Sequenze vulcano-sedimentarie permiane: la deposizione di sequenze vulcano-sedimentarie in bacini continentali circondati da edifici vulcanici a chimismo evoluto, crea il contesto ideale in cui le acque meteoriche e geotermiche possono estrarre il litio dalla matrice vetrosa della componente vulcanica concentrandolo poi in contesti evaporitici continentali. Buona parte della produzione di litio globale viene infatti dai Salar, e il giacimento di Jadar (Serbia) ne rappresenta probabilmente un esempio fossile. Le sequenze vulcano-sedimentarie permiane implicate nell'arco alpino presentano livelli con concentrazioni anomale di litio e boro. Questo target manca totalmente di una caratterizzazione petrografica-mineralogica-geochimica di dettaglio.

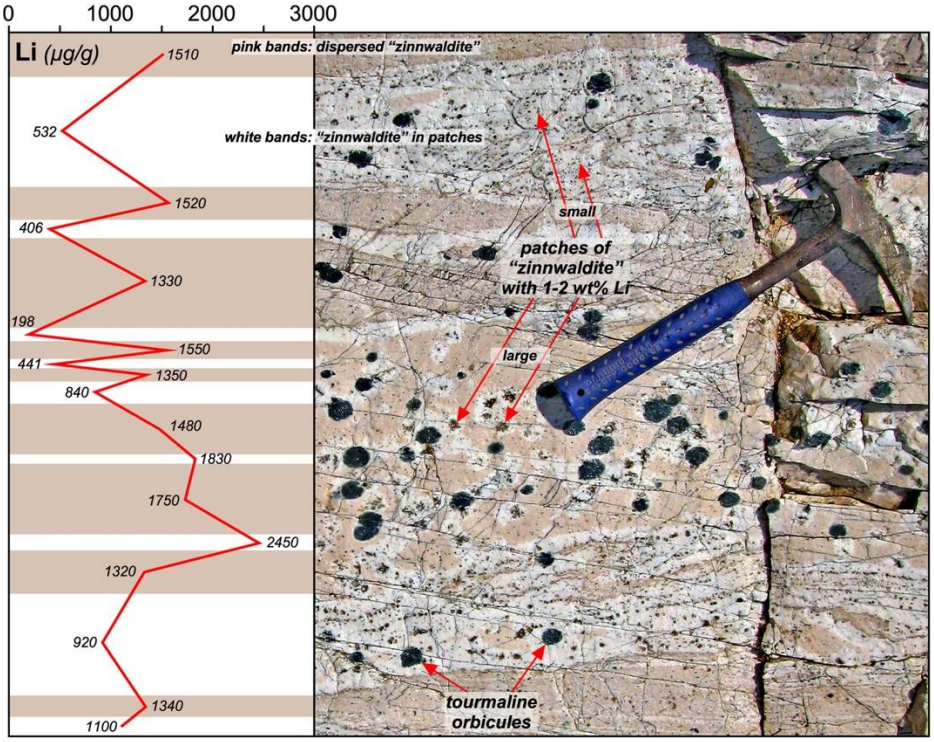

Figura 22 - Roccia granitica contenente minerali di litio (Toscana)

Contesto minerario: Non esiste alcun contesto minerario in quanto questa risorsa non è mai stata coltivata in Italia.

Progettualità:

Il progetto si attuerà inizialmente mediante due azioni parallele: 1) fase di archivio e informatizzazione (raccolta dati pregressi); 2) fase di esplorazione sul terreno (mappatura e raccolta nuovi dati e campioni). Queste due attività si integreranno progressivamente e in modo iterativo con la fase di laboratorio (analisi mineralogico-petrografiche e geochimiche). Tutte le informazioni raccolte saranno poi integrate nel database su cui verranno sviluppati i nuovi modelli genetici concettuali dei quattro target per litio.

1) RACCOLTA E INFORMATIZZAZIONE DATI PREGRESSI

Si procederà alla raccolta, vagliatura, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi. Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche nel campo delle tipologie di giacimenti minerari in esame. Si procederà, quindi, all'informatizzazione dei dati.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Campagna di rilevamento e campionatura in alcune aree limitate: Target 1 – Sequenze vulcaniche Vulsini e Sabatini; Target 2 – sequenze sedimentarie Appennino settentrionale tra Berceto e Salsomaggiore; Target 3 – rocce granitoidi affioranti e campionate in sottosuolo in Toscana; Target 4 – sequenze vulcano-sedimentarie permiane in Piemonte, Lombardia (BG-BS) e Trentino-Alto Adige. Il lavoro di terreno sarà coadiuvato dall'uso di Portable LIBS per l'identificazione in situ delle fasi minerali e anche per la misura in tempo

reale della concentrazione di litio. La campionatura servirà per la fase di laboratorio dove sarà condotta una dettagliata analisi petrografica, mineralogica e geochimica.

3) ANALISI DI LABORATORIO

Analisi petrografica e mineralogica mediante microscopia ottica, microscopia elettronica a scansione (FESEM accessoriato con EDS, WDS e doppia sorgente eBeam + MicroXRF), catodoluminescenza e diffrattometria di polveri. Campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza e la concentrazione di litio e eventuali altri metalli associati (B, Rb, Cs, Ta, Nb, etc.). Le analisi geochimiche dei campioni di roccia e fluidi saranno condotte nelle infrastrutture analitiche più avanzate disponibili in Italia (ICPMS, LA-ICPMS; previa polverizzazione e attacco chimico e/o fusione). Su una selezione dei campioni analizzati per la geochimica saranno condotte analisi isotopiche (Li, B, Sr, Nd, Pb, O, H, C) utili a sviluppare i modelli concettuali e a definire l'impronta isotopica dei quattro target, utile per la gestione futura di eventuali attività esplorative/estrattive e per definire i valori di fondo per la gestione del territorio nel caso di criticità ambientali.

4) MODELLO CONCETTUALE

Tutti i dati geologici, mineralogici e geochimici raccolti nelle aree chiave dei quattro target verranno integrati nel database e quindi utilizzati per la produzione dei modelli genetici concettuali. Questi modelli concettuali permetteranno di valutare più facilmente le zone più promettenti dove concentrare le future attività esplorative.

5) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un *report* dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione.

I risultati attesi sono:

a) Database dei dati minerari/geologici/geochimici pregressi esistenti nell'intera area di studio con integrazione dei nuovi dati prodotti dal progetto. Compatibile con i database ISPRA e regionali.
b) Nuova caratterizzazione geologica, petrografica, mineralogica, geochimica e isotopica delle risorse presenti nei quattro target proposti.
c) Modello genetico concettuale dei quattro target minerari per affrontare successivamente l'identificazione delle aree più favorevoli allo svolgimento di attività di esplorazione mineraria da parte delle compagnie minerarie.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati del primo piano di indagine alla base di questo progetto, sarà possibile prevedere l'ampliamento dello studio inserendo la valutazione del potenziale per litio nei graniti varisici di Sardegna e Calabria, come pure l'applicazione di metodologie di prospezione e analisi strumentale consolidate e di nuova concezione. Queste operazioni potranno prevedere:

1) Esplorazione Geofisica (geoelettrica, magnetotellurica) in aree limitate dei target con fluidi geotermici e termali.
2) Studio approfondito dei processi di scambio acqua-roccia mediante un elevato numero di esperimenti idrotermali, metodi di estrazione diretta del litio dai fluidi e modellistica numerica.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei corpi mineralizzati a litio e fluidi geotermici ad elevato tenore di litio sul territorio nazionale
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive da fluidi geotermici

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Sviluppo di metodiche di estrazione da fluidi geotermici
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali.

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate ai rifiuti estrattivi

Bibliografia

Dini A., Lattanzi P., Ruggieri G., Trumpy E. (2022) Lithium Occurrence in Italy—An Overview. Minerals, 12, 945.
Dini A. (2022) I giacimenti minerari della Toscana. In: Guide Geologiche Regionali—Toscana, 1st ed.; Conti P., Conticelli S., Cornamusini G., Marroni M., Eds.; Società Geologica Italiana: Roma, Italy; pp. 71–77.
Dini A., Gianelli G., Puxeddu M., Ruggieri G. (2005) Origin and evolution of Pliocene-Pleistocene granites from the Larderello geothermal field (Tuscan Magmatic Province, Italy). Lithos, 81, 1–31.
Magnani L., Farina F., Pezzotta F., Dini A., Mayne M.J., Bartoli O. (2022) Role of aqueous fluids during low pressure partial melting of pelites in the Adamello pluton contact aureole (Italy). Lithos, 430-431, 106853.
Salvadori M., Pennisi M., D'Orazio M., Dini A. (2025) Lithium distribution in argillite-clay sequences of the Northern Apennines, Italy: investigating a potential source of Li-rich fluids. X1.149; EGU25-4207, Session GMPV 6.3. EGU General Assembly, Vienna.

6) DISTRETTO ANTIMONIFERO MAREMMANO (TOSCANA)

Il progetto si propone di investigare il potenziale minerario di alcuni siti ubicati all'interno del Distretto Antimonifero Maremmano (Toscana). Questo distretto minerario ha cessato la produzione nel 1995, dopo aver prodotto un totale di circa 15000-20000 tonnellate di antimonio (al prezzo attuale, un valore nominale di 0,4-0.8 miliardi di euro). Circa il 90 % della produzione è stata fornita da uno solo (Tafone) degli innumerevoli siti antimoniferi presenti nel distretto. Vista l'ampiezza del distretto, resta ancora un elevato potenziale di scoperta per nuovi corpi antimoniferi. Il minerale estratto aveva un tenore in antimonio variabile tra l'1 e il 6 %, con una media del 2,4 % Sb. La cessazione delle attività fu determinata da scelte politico-economiche piuttosto che dall'effettivo esaurimento delle riserve minerarie. Le relazioni minerarie degli ultimi vent'anni che precedono la chiusura, attestano infatti che porzioni significative delle riserve minerarie già caratterizzate furono lasciate in posto. Le mineralizzazioni antimonifere toscane sono spesso caratterizzate da un anomalo contenuto in oro (da 0,5 ad alcuni grammi per tonnellata) che può rappresentare un valore aggiunto da considerare nella valutazione del potenziale minerario dell'area.

L'intento del progetto è quello di rivalutare i volumi residui ad alto tenore dei giacimenti antimoniferi dell'ex-Distretto Maremmano utilizzando i dati disponibili negli archivi minerari toscani e nel database RIMIN. I log dei numerosi sondaggi, corredati di analisi geochimiche, saranno integrati con le mappe minerarie di superficie e dei fronti di avanzamento, e con nuovi rilevamenti ed analisi geochimiche da condurre nell'ambito del progetto. Tutti i dati saranno integrati in un nuovo modello geologico 3D dei corpi minerari dei tre principali siti minerari (Tafone, Montauto, Macchia Casella). La definizione delle geometrie/volumi dei principali corpi minerari ad alto tenore sarà accompagnata anche dalla valutazione delle porzioni distali a più basso tenore di Sb. Tutti i dati, nuovi e pregressi, serviranno a definire un modello concettuale genetico di ausilio all'identificazione delle aree con maggiore potenziale di scoperta di nuovi corpi minerari.

Stato dell'arte:
Commodity: antimonio;
Critical Raw Materials: Sb;
Strategic Raw Materials: -
Altre commodity: Au
Localizzazione: Maremma, Toscana meridionale

Contesto geologico: I giacimenti antimoniferi del Distretto maremmano (Figura 17) sono localizzati lungo il contatto tettonico sub-orizzontale tra la Falda Toscana e le soprastanti Unità Liguri e sono controllati da strutture ad alto angolo sia anti-appenniniche (NE-SW) sia appenniniche (faglie ad alto angolo NW-SE). I corpi minerari si sviluppano

preferenzialmente come corpi di sostituzione nelle formazioni carbonatiche della Falda Toscana e sono confinati al di sotto delle sequenze argillitiche liguri.

Contesto giacimentologico: mineralizzazioni massive-disseminate e stockworks di stibnite (Sb2S3) con quantità variabili di marcasite, pirite, sfalerite, cinabro ospitate in volumi brecciati e silicizzati di rocce carbonatiche (Falda Toscana) (Figura 24). Localmente sono presenti zone di intensa argillificazione idrotermale sviluppate prevalentemente alle spese delle sequenze argillitiche e marnose di tetto (cap rocks). Come minerali di ganga oltre a quarzo e caolinite sono presenti calcite, barite, celestina, etc. Nell'area di studio sono anche presenti minori mineralizzazioni a solfuri misti di Cu-Pb-Zn-Sb-Au (Ponte San Pietro, Scerpena).

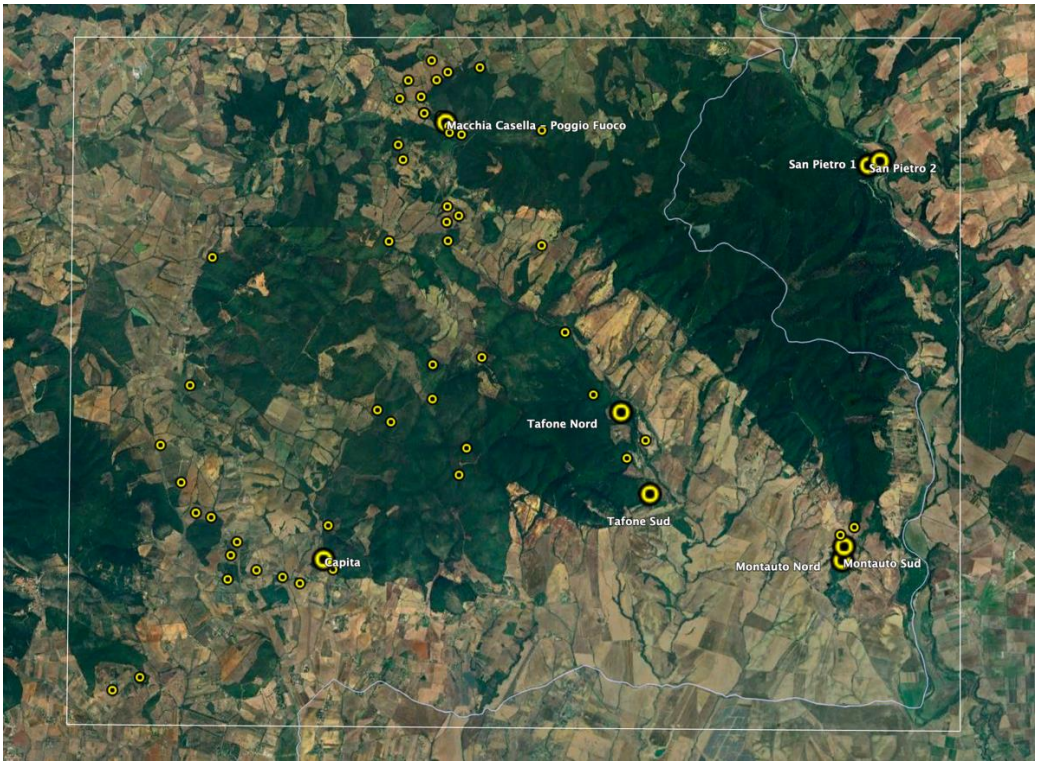

Figura 23 - Localizzazione delle mineralizzazioni antimonifere del Distretto maremmano, Toscana. Sono stati indicati i nomi delle località dove, in passato, sono state condotte attività estrattive.

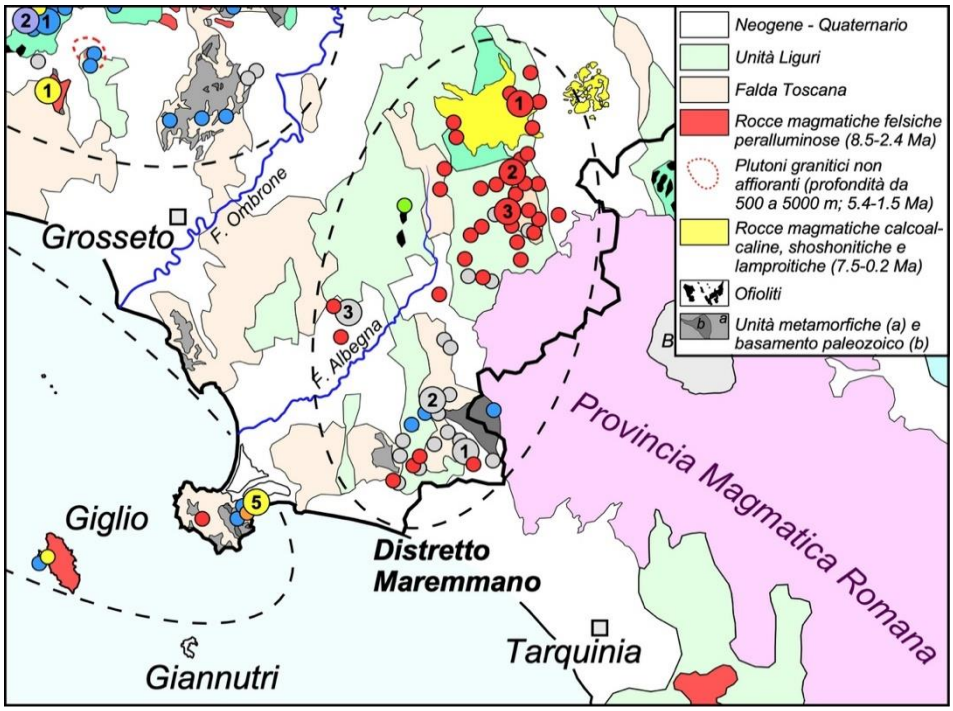

Figura 24 - Carta geologica schematica con indicata la distribuzione delle mineralizzazioni antimonifere del Distretto Maremmano (cerchi grigi; 1: Tafone, 2: Macchia Casella). I cerchi rossi indicano le mineralizzazioni mercurifere della zona del Monte Amiata.

Contesto minerario: Circa 50 località, distribuite in un'area di circa 200 km2, in cui sono presenti mineralizzazioni antimonifere o in cui sono state segnalate tracce di stibina. Le tre miniere più importanti del passato sono state: Tafone, Macchia Casella e Montauto: Come già accennato buona parte della produzione è stata fornita dalla miniera del Tafone. Il giacimento del Tafone fu coltivato mediante due open pit (Tafone nord e Tafone sud). A nord-est dell'area antimonifera, il filone a solfuri misti di Ponte San Pietro è stato esplorato in sotterraneo evidenziando elevate concentrazioni di oro e argento.

Progettualità

Il progetto si attuerà inizialmente mediante due azioni parallele: 1) fase di archivio e informatizzazione (raccolta dati pregressi); 2) fase di esplorazione sul terreno (mappatura e raccolta nuovi dati e campioni). Queste due attività si integreranno progressivamente e in modo iterativo con la fase di laboratorio (analisi geochimiche e mineralogico-petrografiche). Tutte le informazioni raccolte saranno poi integrate nel modello geologico 3D (di alcuni siti specifici) e trasformate in un nuovo modello genetico concettuale delle mineralizzazioni antimonifere del Distretto maremmano.

1) RACCOLTA E INFORMATIZZAZIONE DATI PREGRESSI

Si procederà alla raccolta, vagliatura, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi. L'archivio minerario della Regione Toscana contiene una quantità enorme di relazioni, mappe, sezioni geologiche, log di sondaggi, analisi chimiche che furono prodotti dalle società minerarie che, in passato, hanno gestito le attività esplorative ed estrattive. Una notevole mole di dati è anche disponibile nell'archivio RIMIN. In questo

caso i dati si riferiscono all'attività esplorativa condotta negli anni 1980-90 per valutare il potenziale aurifero del distretto antimonifero.

Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche nel campo delle tipologie di giacimenti minerari in esame. Si procederà, quindi, all'informatizzazione dei dati. Particolare attenzione sarà data ai log dei sondaggi, alle sezioni geologico-geochimiche condotte nei vari stadi di avanzamento delle attività estrattive e ad ogni dato geologico-mineralogico-geochimico di superficie.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Campagna di rilevamento e campionatura in alcune aree limitate del distretto, focalizzata principalmente alla definizione delle geometrie dei corpi minerari, delle zone di alterazione idrotermale e delle strutture tettoniche che confinano i volumi di roccia soggetti ai processi idrotermali. Il lavoro di terreno sarà coadiuvato dall'uso di Portable XRF per l'identificazione in situ delle fasi minerali e anche per la misura in tempo reale della concentrazione degli elementi di interesse. Questi dati serviranno per vincolare il modello geologico 3D basato sui sondaggi, sulle mappe e sulle sezioni minerarie pregresse. Allo stesso tempo verranno raccolti campioni rappresentativi dei diversi tipi delle mineralizzazioni antimonifere (massiva, disseminata, stockwork). La campionatura servirà per la fase di laboratorio dove sarà condotta una dettagliata analisi petrografica, mineralogica e geochimica.

3) ANALISI DI LABORATORIO

Analisi petrografica e mineralogica mediante microscopia ottica, microscopia elettronica a scansione (FESEM accessoriato con EDS, WDS e doppia sorgente eBeam + MicroXRF), catodoluminescenza e diffrattometria di polveri. Campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza e la concentrazione di antimonio e oro e degli altri metalli associati (Cu, Pb, Zn, Tl, As, Ba, etc.). Le analisi geochimiche dei campioni di corpi minerari e rocce incassanti saranno condotte nelle infrastrutture analitiche più avanzate disponibili in Italia (ICPMS, LA-ICPMS; previa polverizzazione e attacco chimico e/o fusione). Su una selezione dei campioni analizzati per la geochimica saranno condotte analisi isotopiche (Pb, Sr, Nd, B, O, H, C) utili a sviluppare il modello concettuale finale e a definire l'impronta isotopica delle mineralizzazioni antimonifere, utile per la gestione futura di eventuali attività esplorative/estrattive e per definire i valori di fondo per la gestione del territorio nel caso di criticità ambientali.

4) MODELLO GEOLOGICO E MODELLO CONCETTUALE

Tutti i dati geologici, mineralogici e geochimici raccolti nelle tre aree chiave di Tafone, Macchia Casella e Montauto verranno integrati in un modello geologico 3D che permetterà una facile visualizzazione dei corpi minerari e delle loro relazioni con le strutture tettoniche. Il modello 3D permetterà di valutare più facilmente le zone più promettenti dove concentrare le future attività esplorative per l'identificazione di nuovi corpi minerari non affioranti o della prosecuzione laterale e in profondità di quelli noti. Il

modello 3D consentirà inoltre di calcolare il volume dei residui ad alto tenore come pure delle zone a basso tenore finora scartate dalle attività estrattive pregresse.
Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un report dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione.

5) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un report dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione.

I risultati attesi sono:

a) Database dei dati minerari/geologici/geochimici pregressi esistenti (mineralizzazioni Sb) nell'intera area di studio con integrazione dei nuovi dati prodotti dal progetto. Compatibile con i database ISPRA e regionali.
b) Modello geologico 3D dei tre principali siti minerari del passato (Tafone, Montauto e Macchia Casella) con relativo calcolo delle riserve residue di minerale ad alto tenore e dei potenziali volumi di minerale a basso tenore.
c) Modello genetico concettuale delle mineralizzazioni antimonifere del distretto maremmano e definizione delle aree con maggiore potenziale di scoperta di nuovi corpi minerari.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati del primo piano di indagine alla base di questo progetto, sarà possibile prevedere la continuazione dell'esplorazione e l'applicazione di metodologie di prospezione e analisi strumentale consolidate e di nuova concezione. Queste operazioni potranno prevedere:

1) Esplorazione Geofisica (geoelettrica) in aree limitate con alto potenziale di scoperta di nuovi corpi non affioranti
2) Studio geochimico e delle inclusioni fluide delle mineralizzazioni antimonifere su campioni raccolti su un reticolo il più possibile regolare alla scala dell'intera area e in transetti ad alta risoluzione spaziale nei tre giacimenti principali, per definire lo stato termico del distretto, l'eventuale zonazione geochimica e per la potenziale identificazione di zone di alimentazione del paleo sistema idrotermale.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei corpi mineralizzati ad antimonio
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali, anche sulla base delle moderne visioni internazionali, con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali.

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione

Bibliografia

Dini A. (2003) Ore deposits, industrial minerals and geothermal resources. Periodico di Mineralogia, 72, 41–52.

Dini A. (2022) I giacimenti minerari della Toscana. In: Guide Geologiche Regionali—Toscana, 1st ed.; Conti P., Conticelli S., Cornamusini G., Marroni M., Eds.; Società Geologica Italiana: Roma, Italy; pp. 71–77.

Morteani G., Ruggieri G., Moeller P., Preinfalk C. (2010) Geothermal mineralized scales in the pipe system of the geothermal Piancastagnaio power plant (Mt. Amiata geothermal area): A key to understand the stibnite, cinnabarite and gold mineralization of Tuscany (central Italy). Mineralium Deposita, 46; 197-210

Sillitoe R.H. and Brogi A. (2021) Geothermal systems in the Northern Apennines, Italy: Modern analogues of Carlin-style gold deposits. Economic Geology, 116; 1491-1501.

7) GIACIMENTI DI MAGNESITE DELLA TOSCANA CENTRALE

Il progetto si propone di investigare il potenziale minerario di alcuni siti minerari della Toscana centrale che hanno contribuito una significativa produzione di magnesite nella prima metà del XX secolo. La produzione totale non è ben definita ma si aggira intorno a 1,5 milioni di tonnellate di magnesite (al prezzo attuale, un valore nominale di 0,2 miliardi di euro). La produzione è stata fornita principalmente dalle miniere di Castiglioncello (LI) e Querceto (SI) ma giacimenti minori sono conosciuti in molte altre località. I giacimenti di magnesite furono coltivati soprattutto durante le due guerre mondiali ma per motivi di mercato furono rapidamente abbandonati senza essere esplorati in modo esaustivo con metodi moderni (sondaggi, geofisica). Vista l'ampiezza del distretto, resta ancora un elevato potenziale di scoperta per nuovi corpi a magnesite. Il minerale estratto aveva un elevato tenore in magnesite (70-95 % in volume), con minori quantità di dolomite e calcedonio. Le relazioni minerarie del periodo di coltivazione, e gli studi scientifici condotti negli ultimi 20 anni, attestano che significative porzioni dei corpi minerari furono lasciate in posto. L'intento del progetto è quello di rivalutare i volumi residui dei filoni di magnesite della Toscana centrale utilizzando i dati disponibili negli archivi minerari toscani e nel database RIMIN. Esiste una buona documentazione mineraria con mappe di superficie e sezioni geologiche, ma non esiste alcun sondaggio esplorativo. Un aspetto positivo di questi giacimenti è la buona accessibilità degli ambienti sotterranei che permettono una visione diretta dei corpi minerari in profondità e una loro ricostruzione in 3D. I dati minerari saranno quindi integrati con nuovi rilevamenti ed analisi petrografiche-geochimiche da condurre nell'ambito del progetto. Tutti i dati saranno integrati in un nuovo modello geologico 3D dei corpi minerari dei due principali siti minerari (Castiglioncello, Querceto). La definizione delle geometrie/volumi dei principali corpi minerari ad alto tenore (parte filoniana) sarà accompagnata anche dalla valutazione degli *stockworks* a basso contenuto di magnesite presenti al contatto con i filoni principali.

Il progetto si propone di sviluppare un modello genetico concettuale che aiuti a definire la probabilità di prosecuzione laterale e in profondità dei corpi filoniani noti e il potenziale di scoperta di nuovi filoni non affioranti.

Stato dell'arte
Commodity: magnesio;
Critical Raw Materials: magnesio;
Strategic Raw Materials: -
Altre *commodity*: -
Localizzazione: Toscana centrale

Contesto geologico: I giacimenti di magnesite della Toscana centrale sono localizzati all'interno di lenti chilometriche di serpentinite inglobate in formazione argillitiche delle Unità Liguri. I giacimenti sono costituiti da filoni sub-verticali circa N-S confinati nelle lenti serpentinitiche (Rielli et al., 2022). La loro giacitura è coerente con dei processi di deformazione, localizzati nelle formazioni ofiolitiche più competenti, e legati alla tettonica estensionale che ha interessato la catena appenninica a partire dal Miocene medio-superiore (Figura 25).

Contesto giacimentologico: Filoni massivi di magnesite criptocristallina bianca o color crema, spesso brecciati e cementati da stockwork di dolomite. Localmente i filoni si arricchiscono in calcedonio, presente come riempimenti tardivi di cavità e anche in sostituzione della magnesite massiva (Boschi et al., 2009). I filoni hanno spessori variabili da pochi decimetri fino a 15 metri e in alcuni casi (Castiglioncello) si possono seguire in affioramento per alcuni chilometri (Figura 26). La parte superiore dei filoni termina bruscamente contro le argilliti di tetto sviluppando dei volumi intensamente brecciati. Le serpentiniti al contatto sono intensamente argillificate (smectite) e silicizzate (opale CT) e poi attraversate da stockwork multipli di dolomite e magnesite.

Contesto minerario: Circa 20 località, distribuite in un'area di circa 1400 km^2 compresa tra la costa tirrenica e la Val d'Elsa. Le tre miniere più importanti del passato sono state: Castiglioncello e Querceto. Lo sviluppo dei complessi sotterranei estrattivi è limitato e non è mai stata raggiunta o esplorata la base dei corpi filoniani Non si conosce quindi il potenziale profondo di questi corpi minerari.

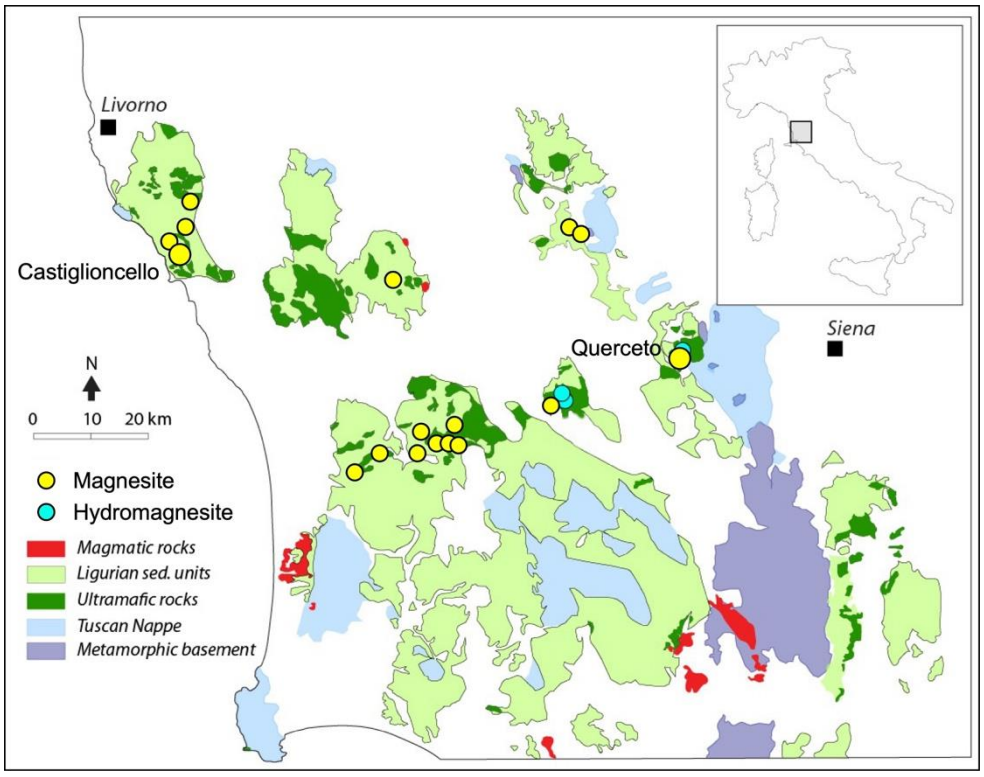

Figura 25 - Localizzazione delle mineralizzazioni a magnesite ospitate in rocce serpentinitiche della Toscana centrale.

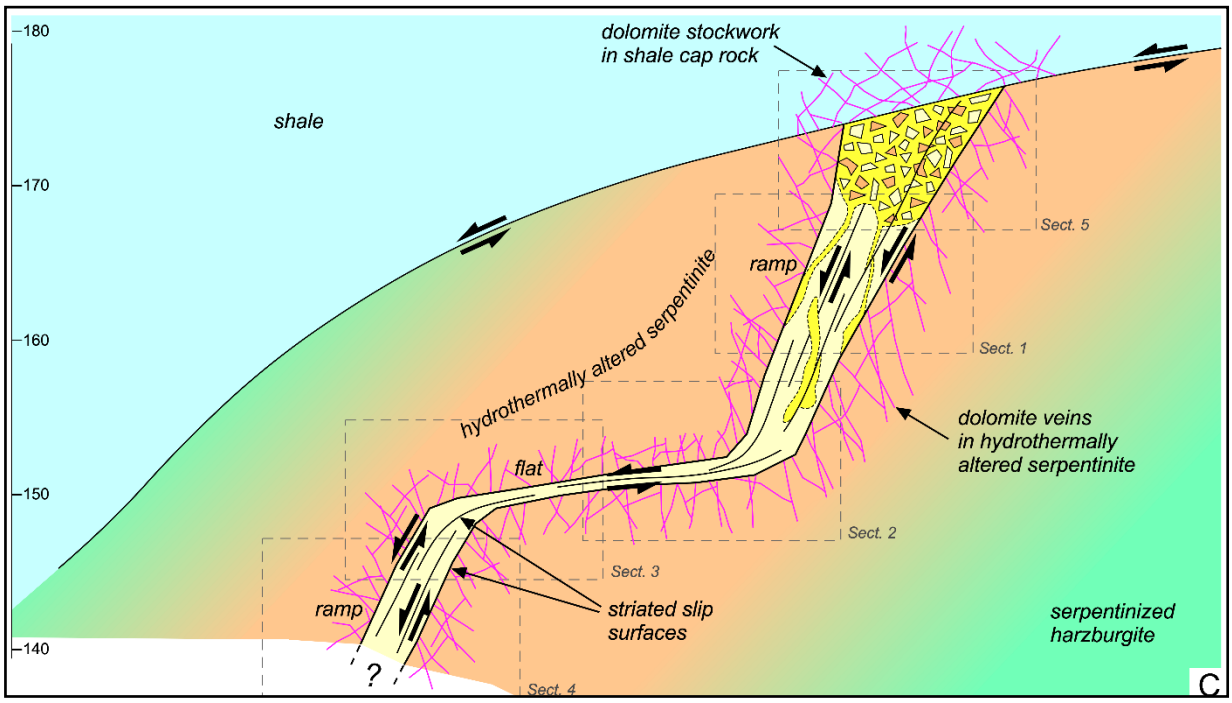

Figura 26 - Sezione interpretativa di uno dei filoni di magnesite coltivati nella miniera di Castiglioncello.

Progettualità

Il progetto si attuerà inizialmente mediante due azioni parallele: 1) fase di archivio e informatizzazione (raccolta dati pregressi); 2) fase di esplorazione sul terreno (mappatura e raccolta nuovi dati e campioni). Queste due attività si integreranno progressivamente e in modo iterativo con la fase di laboratorio (analisi mineralogico-petrografiche e geochimiche). Tutte le informazioni raccolte saranno poi integrate nel modello geologico 3D (di alcuni siti specifici) e trasformate in un nuovo modello genetico concettuale delle mineralizzazioni a magnesite della Toscana centrale.

1) RACCOLTA E INFORMATIZZAZIONE DATI PREGRESSI

Si procederà alla raccolta, vagliatura, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi. L'archivio minerario della Regione Toscana contiene una quantità significativa di relazioni, mappe, sezioni geologiche, che furono prodotte dalle società minerarie che, in passato, hanno gestito le attività esplorative ed estrattive. Alcune relazioni sono disponibili anche nell'archivio RIMIN. In questo caso i dati si riferiscono all'attività esplorativa condotta negli anni 1980-90 per valutare il potenziale aurifero di questi sistemi idrotermali.

Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche nel campo delle tipologie di giacimenti minerari in esame. Si procederà, quindi, all'informatizzazione dei dati.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Campagna di rilevamento e campionatura in alcune aree limitate del distretto, focalizzata principalmente alla definizione delle geometrie dei corpi minerari, delle zone di alterazione idrotermale e delle strutture tettoniche che confinano i volumi di roccia soggetti ai processi idrotermali. Il lavoro di terreno sarà coadiuvato dall'uso di Portable XRF per l'identificazione in situ delle fasi minerali e anche per la misura in tempo reale della concentrazione di alcuni elementi di interesse. Questi dati, insieme alle informazioni pregresse, serviranno per creare un robusto modello geologico 3D delle due località principali (Castiglioncello e Querceto). Allo stesso tempo verranno raccolti campioni rappresentativi dei diversi tipi di mineralizzazione a magnesite (filoni e stockwork nelle rocce incassanti). La campionatura servirà per la fase di laboratorio dove sarà condotta una dettagliata analisi petrografica, mineralogica e geochimica.

3) ANALISI DI LABORATORIO

Analisi petrografica e mineralogica mediante microscopia ottica, microscopia elettronica a scansione (FESEM accessoriato con EDS, WDS e doppia sorgente eBeam + MicroXRF), catodoluminescenza e diffrattometria di polveri. Campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza e la concentrazione di eventuali altri metalli associati (Ni, Cr, Cu, Au, etc.). Le analisi geochimiche dei campioni di corpi minerari e rocce incassanti alterate e non saranno condotte nelle infrastrutture analitiche più avanzate disponibili in Italia (ICPMS, LA-ICPMS; previa polverizzazione e attacco chimico e/o fusione). Su una selezione dei campioni analizzati per la geochimica saranno condotte analisi isotopiche (Pb, Sr, Nd, B, O, H, C) utili a sviluppare il modello concettuale finale e a definire l'impronta isotopica delle mineralizzazioni a magnesite, utile per la gestione futura di eventuali attività esplorative/estrattive e per definire i valori di fondo per la gestione del territorio nel caso di criticità ambientali.

4) MODELLO GEOLOGICO E MODELLO CONCETTUALE

Tutti i dati geologici, mineralogici e geochimici raccolti nelle due aree chiave di Castiglioncello e Querceto verranno integrati in un modello geologico 3D che permetterà una facile visualizzazione dei corpi minerari e delle loro relazioni con le strutture tettoniche. Il modello 3D permetterà di valutare più facilmente le zone più promettenti dove concentrare le future attività esplorative per l'identificazione di nuovi corpi minerari non affioranti o della prosecuzione laterale e in profondità di quelli noti. Il modello 3D consentirà inoltre di calcolare il volume dei residui ad alto tenore come pure delle zone a basso tenore finora scartate dalle attività estrattive pregresse.

5) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.

Al termine del piano di indagine, si provvederà alla redazione di un *report* dettagliato che fornisca un quadro esaustivo dei risultati ottenuti, delle potenzialità delle aree investigate e delle modalità e metodologie delle successive fasi di esplorazione.

I risultati attesi sono:

a) Database dei dati minerari/geologici/geochimici pregressi esistenti nell'intera area di studio con integrazione dei nuovi dati prodotti dal progetto. Compatibile con i database ISPRA e regionali.

b) Modello geologico 3D dei due principali siti minerari del passato (Castiglioncello e Querceto) con relativo calcolo delle riserve residue di minerale ad alto tenore (filoni) e dei potenziali volumi di minerale a basso tenore (stockwork).

c) Modello genetico concettuale delle mineralizzazioni a magnesite della Toscana centrale e definizione del potenziale di prosecuzione in profondità di nuovi corpi minerari. Valutazione di aree favorevoli alla scoperta di nuovi corpi minerari non affioranti.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati del primo piano di indagine alla base di questo progetto, sarà possibile prevedere la continuazione dell'esplorazione e l'applicazione di metodologie di prospezione e analisi strumentale consolidate e di nuova concezione. Queste operazioni potranno prevedere:

1) Esplorazione Geofisica (magnetometria a terra e con drone) in aree limitate con alto potenziale di scoperta di nuovi corpi non affioranti o di eventuale prosecuzione laterale e in profondità dei corpi noti.

2) Studio geochimico e delle inclusioni fluide delle mineralizzazioni a magnesite su campioni raccolti su un reticolo il più possibile regolare alla scala dell'intera area e in transetti ad alta risoluzione spaziale nei tre giacimenti principali, per definire lo stato termico del distretto, l'eventuale zonazione geochimica e per la potenziale identificazione di zone di alimentazione del paleo sistema idrotermale.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei corpi mineralizzati a magnesio
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli

- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali.

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione

Bibliografia

Boschi C., Dini A., Dallai L., Ruggieri G., Gianelli G. (2009) Enhanced CO2-mineral sequestration by cyclic hydraulic fracturing and Si-rich fluid infiltration into serpentinites at Malentrata (Tuscany, Italy). Chemical Geology, 265, 209–226

Dini A. (2022) I giacimenti minerari della Toscana. In: Guide Geologiche Regionali—Toscana, 1st ed.; Conti P., Conticelli S., Cornamusini G., Marroni M., Eds.; Società Geologica Italiana: Roma, Italy; pp. 71–77.

Rielli A., Boschi C., Dini A. (2022) Tectonically driven carbonation of serpentinite by mantle CO2: Genesis of the Castiglioncello magnesite deposit in the Ligurian ophiolite of central Tuscany (Italy). Ore Geology Reviews, 149, 105022.

8) MINERALIZZAZIONI A FLUORITE (TERRE RARE ± BARITE) DELLA PROVINCIA COMAGMATICA ROMANA (LAZIO)

Stato dell'arte

Materie prime principali: fluorite;
Materie Prime Critiche: fluorite, barite, Terre Rare
Materie Prime Strategiche: Terre Rare in particolare La e Ce;
Altre possibili materie prime: V, Y

Contesto geologico-giacimentologico: Le parti sub-vulcaniche e sub-superficiali dei complessi ignei alcalino-carbonatitici sono note per gli arricchimenti in diverse Materie Prime Critiche e strategiche, quali Terre Rare, Nb, Y, fluorite, Sc, V, Zr etc. (Mitchell, 2015). L'attività idrotermale/carbotermale tardiva nella camera magmatica e nei suoi dintorni può giocare un ruolo chiave nella concentrazione di queste risorse (Anenburg & Mavrogenes, 2018; Stoppa et al., 2019). La Provincia Comagmatica Romana (PCR), che comprende i complessi vulcanici dei Vulsini, Sabatini, Cimini e i Colli Albani, sviluppati tra 800.000 e 20.000 anni fa, rappresenta un esempio di provincia alcalino-carbonatitica che può costituire un possibile obiettivo di esplorazione per materie prime strategiche. L'attività vulcanica è stata di tipo effusivo e piroclastico, con parossismi di tipo pliniano associati a collassi calderici. I magmi eruttati sono alcalini potassici fino a ultrapotassici, rappresentati per lo più da tefrifonoliti, fonoliti, trachiti e rocce mafiche poco evolute. Sondaggi profondi e studi degli ejecta sub-vulcanici hanno messo in evidenza la presenza di corpi intrusivi sienitici nella crosta sotto l'apparato Vulsino (Barbieri et al., 1984; Perna et al., 2021). Carbonatiti subvulcaniche (tuffisiti) sono presenti nelle aree calderiche di Bolsena (Forcinelle, Vulsini) e Sacrofano (Ficoreto, Sabatini; Stoppa et al., 2019). Di particolare interesse, depositi carbotermali ricchi di fluorite associati a carbonatiti, formano sia filoni che più estesi depositi stratiformi.

Contesto minerario: Nella zona di Latera (Santa Maria di Sala), l'estrazione della fluorite è terminata negli anni '80 del secolo scorso, mentre nell'area di Sasso (Monte delle Fate e Pian della Carlotta) l'attività estrattiva si è conclusa intorno agli anni '70. La situazione è diversa a Pianciano, dove l'attività estrattiva, sia della fluorite che della carbonatite, prosegue sin dal 1973. I volumi estratti sono in aumento negli ultimi dieci anni (da 95.000 a 107.000 t). La produzione è destinata unicamente all'industria del cemento, in quanto la granulometria molto fine del minerale ha finora impedito la purificazione della fluorite dalle altre fasi mineralogiche associate (soprattutto calcite e barite) e ne ha impedito l'utilizzo per applicazioni industriali di maggior pregio.

Potenzialità dell'area

LA PCR rientra nei sistemi alcalini potassici potenzialmente ricchi in REE ed altre Materie Prime Critiche (Stoppa et al., 2016; Goodenough et al., 2016). Infatti, nei distretti vulcanici alcalino potassici di Latera, Bracciano e Sacrofano, sono presenti depositi carbotermali

fluoritici (fluorititi) arricchiti in REE, V, Y e la presenza di potenziali giacimenti di REE di basso tenore è nota sin dagli anni '80 del secolo scorso (Rimin, 1989; Locardi et. al 1991). Le fluorititi, presenti come corpi filoniani (area dei Mt. Ceriti) e depositi stratiformi carbotermali associati a carbonatiti, risultano distribuite su una fascia principale che da Latera scende verso sud-est fino a Bracciano e prosegue fino alla periferia Roma (loc. Farnesina). Altri affioramenti sono presenti a nord di Latera (Lago di Mezzano) e ad est di Viterbo (Pian Aùta) (Mastrangelo, 1976; Zucchetti, 1972, Rimin, 1989). Nel complesso, le fluorititi associate a carbonatiti si rinvengono in un'area larga circa 40 km e lunga 100 Km (Figura 27), sebbene la continuità dei depositi non sia ancora stata confermata da un rilevamento geologico di dettaglio. Lo studio Rimin (1989) e le ricerche successive (Stoppa et al., 2016, 2019) hanno messo in evidenza la presenza di REE, principalmente La e Ce, in particolare nei depositi fluorititici carbonatitici stratiformi, dove le concentrazioni possono raggiungere valori tra 0.3 e 0.5 wt%. Inoltre, la presenza di apatite, barite e Ce-vanadati suggerisce un possibile interesse per il recupero di ulteriori materie prime, inclusi V e Y.

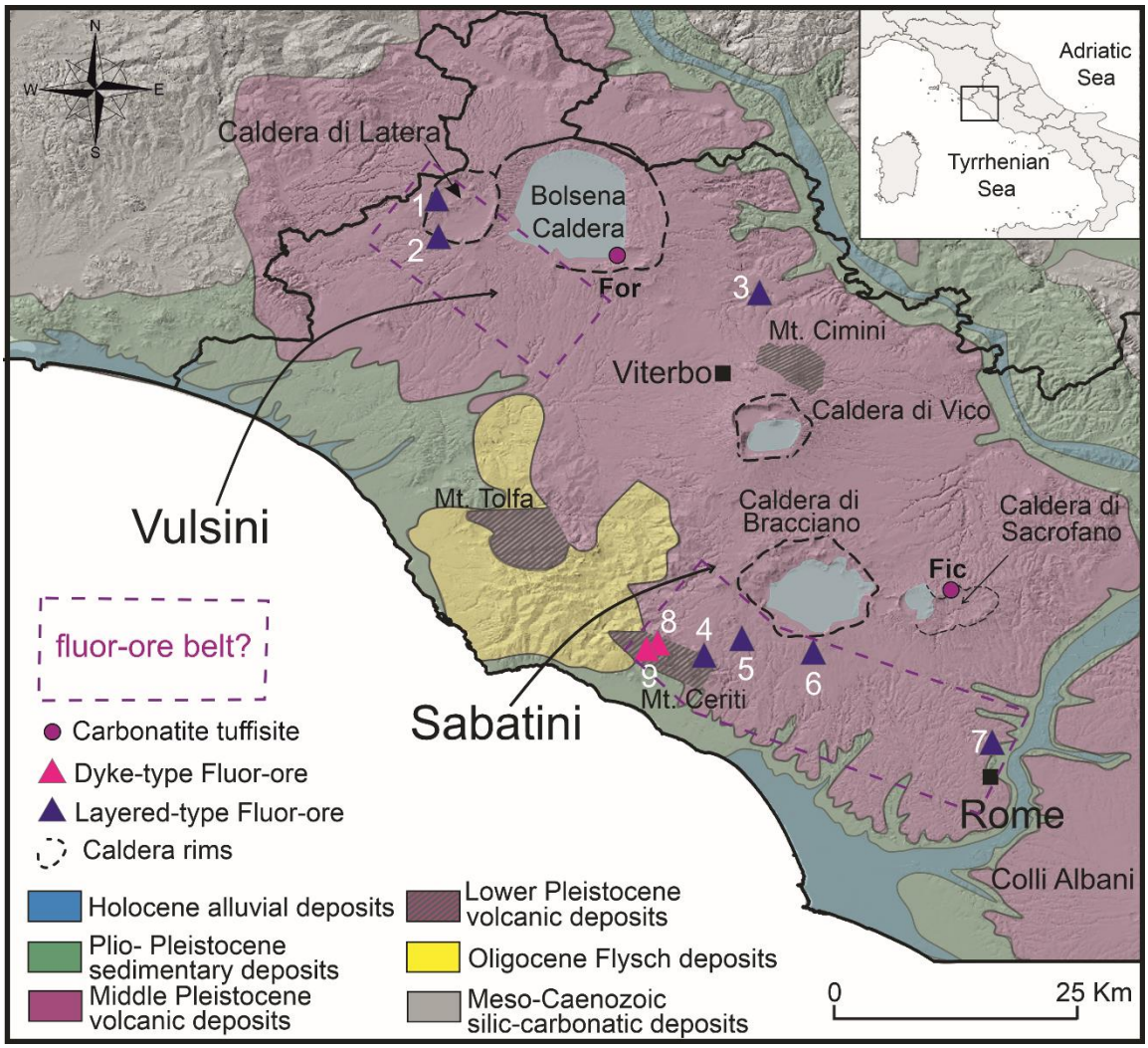

Figura 27 - Sketch geologico della Provincia Comagmatica Romana (Parlapiano F., in fase di sottomissione), con la distribuzione areale delle fluorititi; 1 - Lago di Mezzano; 2 - Santa Maria di Sala (e Acquaforte); 3 - Pian Aùta; 4 - Castel Giuliano; 5 - Pianciano; 6 - Cornazzano; 7 - Farnesina; 8 - Monte delle Fate; 9 - Pian della Carlotta; For - Forcinelle; Fic - Ficoreto.

Attività previste

1) ANALISI BIBLIOGRAFICA

Ricerca ed analisi critica della bibliografia relativa sia alle fluorititi laziali che a fluorititi di origine carbotermale in altri contesti geologici (Cina e Brasile principalmente). Raccolta ed elaborazione dei dati geologici, mineralogici e geochimici sulle fluorititi e carbonatiti laziali, contenuti nella relazione Rimin (1989), georeferenziazione dei dati ed elaborazione di un progetto GIS. Tale progetto sarà di base per la pianificazione delle successive attività di campagna.

2) ATTIVITÀ SUL TERRENO

Rilevamento geologico finalizzato alla localizzazione dei depositi fluorititici e carbonatitici stratiformi nell'area tra Latera e Roma e nella zona di Viterbo, per definire il loro spessore. estensione e continuità e le strutture tettoniche responsabili della risalita dei fluidi carbotermali. Campionamento sistematico su sezioni rappresentative con definizione della loro mineralogia, con particolare dettaglio al rapporto fluorite/carbonato e la valutazione del contenuto in barite, apatite e vanadati. Confronto tra le sezioni tipo per la definizione delle caratteristiche giacimentologiche. Elaborazione di una carta geologica tematica. Stima preliminare dei quantitativi.

3) ATTIVITÀ DI LABORATORIO

Studio petrografico con microscopio ottico. Definizione di un protocollo di separazione con attacchi chimici per la rimozione selettiva delle fasi associate alla fluorite e l'estrazione di Terre Rare. Analisi mineralogiche semi-quantitative SEM-EDS per la definizione dei minerali principali ed accessori e la distribuzione delle Terre Rare. Elaborazione di mappe composizionali. Analisi mineralogica XRD con standard interno per la definizione della mineralogia dei depositi fluorititici e carbonatitici, integrata con osservazioni SEM-EDS. Queste attività saranno sviluppate all'interno del laboratorio DATA del Dipartimento di Scienze dell'Università G. d'Annunzio di Chieti-Pescara.
Analisi geochimiche su roccia totale con metodo XRF e ICP-MS. Analisi degli eluati in ICP-MS e quantificazione delle Terre Rare estratte. Analisi mineralogiche SEM-WDS per la quantificazione delle REE e di altre Materie Prime Critiche eventualmente presenti. In collaborazione con Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova.
Analisi degli isotopi stabili nei carbonati (C e O) in collaborazione con CNR, Unità Montelibretti.
Analisi isotopi radiogenici (Sr, Nd) in collaborazione con Dip. Scienze della Terra Università La Sapienza (Roma).

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

La ricerca proposta si prefigge come primo obiettivo la definizione dello sviluppo areale dei depositi fluorititici-carbonatitici laziali, con stima degli spessori e del potenziale giacimentologico per LREE (La. Ce) e V ed Y. Su piattaforma GIS verranno realizzate: la carta degli affioramenti e la carta geologica, corredate da foto georeferenziate. Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
A conclusione verrà prodotto un report finale con le descrizioni dei litotipi, i dettagli delle stratigrafie e sezioni geologiche esplicative e i dati petrografici, mineralogici e geochimici.
I dati di campagna e di laboratorio acquisiti saranno utilizzati per elaborare un modello petrogenetico-giacimentologico dei depositi fluorititici-carbonatitici laziali. Tale modello è di particolare rilevanza essendo il processo carbotermale poco studiato e potenzialmente applicabile anche in altri contesti geologici affini sia in Italia (es. Vulture, Ernici?) che all'estero.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

Sulla base dei risultati ottenuti, sarà possibile pianificare indagini più approfondite e localizzate (es. sondaggi a carotaggio, linee sismiche). I dati giacimentologici offriranno inoltre l'opportunità di valutare la possibilità di recupero delle REE e di testare metodi di estrazione e valorizzazione a basso impatto ambientale e sostenibili.
Sulla base del modello elaborato sarà possibile estendere la ricerca ed esplorazione anche ad aree con simili caratteristiche geo-litologiche e strutturali non considerate in questo progetto, quali ad esempio il distretto dei Mt. Ernici, ed il Mt. Vulture.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo delle conoscenze sul potenziale minerario relativo alle mineralizzazioni a fluorite/barite e terre rare della Provincia Comagmatica Romana
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali per il possibile interesse sulle fluoriti laziali
- Coinvolgimento delle imprese per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

Bibliografia

Anenburg, M., Mavrogenes, J. A. (2018). Carbonatitic versus hydrothermal origin for fluorapatite REE-Th deposits: Experimental study of REE transport and crustal "antiskarn" metasomatism. *American Journal of Science*, *318*(3), 335-366.

Barberi, F., Innocenti, F., Landi, P., Rossi, U., Saitta, M., Santacroce, R. V. I. M., & Villa, I. M. (1984). The evolution of Latera caldera (central Italy) in the light of subsurface data. *Bulletin Volcanologique*, *47*, 125-141.

Goodenough, K. M., Schilling, J., Jonsson, E., Kalvig, P., Charles, N., Tuduri, J., ... & Keulen, N. (2016). Europe's rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenetic provinces and their geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, *72*, 838-856.

Locardi, E. (1991). Mantle-derived mineralizations in the Apennine range. *Rendiconti Lincei*, *2*, 239-251.

Mitchell, R. H. (2015). Primary and secondary niobium mineral deposits associated with carbonatites. *Ore Geology Reviews*, *64*, 626-641.

Perna, M. G., Zaccaria, D., Rosatelli, G., Stoppani, F. S., Curti, E., Spratt, J., ... & Stoppa, F. (2021). Dissolution-repackaging of hellandite-(Ce), mottanaite-(Ce)/ferri-mottanaite-(Ce). *Minerals*, *11*(6), 610.

Rimin (1989). Convenzione "Valutazione del potenziale metallogenico delle vulcaniti del Lazio", Relazione conclusiva sui lavori svolti. Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato, Direzione Generale delle Miniere.

Stoppa, F., Schiazza, M., Rosatelli, G., Castorina, F., Sharygin, V. V., Ambrosio, F. A., & Vicentini, N. (2019). Italian carbonatite system: From mantle to ore-deposit. *Ore Geology Reviews*, *114*, 103041.
Stoppa, F., Pirajno, F., Schiazza, M., & Vladykin, N. V. (2016). State of the art: Italian carbonatites and their potential for critical-metal deposits. *Gondwana Research*, *37*, 152-171.

9) *MINERALI INDUSTRIALI ED ELEMENTI CRITICI NELLE ROCCE VULCANICHE QUATERNARIE DELLA REGIONE CAMPANIA*

Il progetto mira a valutare ed ampliare le conoscenze sulle potenzialità estrattive per minerali industriali ed elementi critici (zeoliti, feldspati e loro contenuti in termini di elementi critici-terre rare e litio) della Regione Campania. In particolare, ci si riferirà ai depositi vulcanici quaternari ampiamente diffusi in Italia centro-meridionale, costituiti da depositi vulcanoclastici e piroclastici, spesso profondamente interessati da marcati processi minerogenetici sin- e post-deposizionali, che hanno portato, tra l'altro, alla trasformazione del vetro vulcanico reattivo in minerali della famiglia delle zeoliti (de' Gennaro et al, 2000; Cappelletti et al., 2003; Langella et al., 2013). Questi depositi sono stati oggetto di intenso sfruttamento nel corso degli anni passati, il cui uso principale è stato quello di pietre da taglio nel comparto dell'edilizia. come espressione del loro basso costo, del basso peso di volume e delle caratteristiche meccaniche e fisiche-isolamento termico (de' Gennaro e Langella, 1996).
In merito a tali depositi esiste un robusto background scientifico di dati di letteratura, in termini sia mineropetrografici che vulcanologici, tali da abilitarli ad un nuovo percorso di sfruttamento. La cifra di questa recente valutazione è rilevante e attiene alla presenza di fasi vetrose, zeolitiche e feldspatiche che potrebbero includere elementi critici in misura apprezzabile. Impieghi consolidati e potenziali di questi minerali industriali (a mero titolo di esempio: zeoliti impiegate nel campo della mangimistica e agricoltura per quanto riguarda i primi, della farmaceutica e della *environmental remediation* per i potenziali utilizzi innovativi) rappresentano il punto di partenza per una strategia di sfruttamento futuro assieme all'accertamento dei contenuti in elementi critici, sebbene da stimare in maniera sistematica.

Stato dell'arte
Commodities: zeoliti
Critical Raw Materials: feldspati
Strategic Raw Materials: Terre rare, litio
Localizzazione: Campania (Vulcanismo legato alle attività dei Campi Flegrei)

Contesto geologico: Ignimbriti trachitiche in facies zeolitizzata ed in facies feldspatizzata di età quaternaria (principalmente i depositi dell'Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano, a partire da 40.000 anni or sono) (Figura 28).

Contesto giacimentologico: I giacimenti potenzialmente interessati dallo studio sono soprattutto quelli legati agli enormi depositi vulcanici, messi in posto da eruzioni di età quaternaria che affiorano diffusamente nella Regione Campania (in tutte le sue provincie, ma principalmente nel Casertano e nel Beneventano, che risentono in maniera minore dell'intensa urbanizzazione della Regione) e già coltivati, come ricordato in precedenza, prevalentemente per l'estrazione di blocchetti da costruzione. Il contenuto di fasi zeolitiche di interesse (prevalentemente phillipsite, cabasite ma anche analcime) e di

feldspato (prevalentemente potassico) è stato ampiamente studiato (esiste copiosa letteratura in merito) in detti depositi, ma scarsa attenzione è stata finora rivolta al loro contenuto in elementi critici, soprattutto facendo riferimento alle zeoliti, che in base alla loro natura, potrebbero essere considerevolmente arricchite in alcuni elementi critici (Terre rare leggere, ma potenzialmente anche Li, tenuto conto della selettività allo scambio di alcune zeoliti per detto elemento). Tuttavia, non sono da trascurare i potenziali contenuti di elementi di interesse nei feldspati, sia quelli primari che di origine autigena (soprattutto nella facies feldspatizzata della Ignimbrite Campana)

Contesto minerario: Attualmente esistono poche cave superstiti rispetto ai numerosi siti estrattivi (oltre 100) che erano attivi a partire dagli anni '50 del secolo scorso (alcuni di essi ancora in attività sino agli anni 2000; PRAE della Regione Campania, 2006) ma indubbiamente i potenziali siti estrattivi sono molto diffusi. Difatti l'assetto litostratigrafico della regione Campania è molto condizionato dalla presenza dei depositi vulcanoclastici associati alle eruzioni flegree che hanno messo in posto ingenti quantitativi su un ampio territorio. Le province di Caserta e Benevento, seguite da Napoli e Avellino fino ad arrivare a Salerno, restituiscono affioramenti da utilizzare sia per la fase di approfondimento scientifico che per un'eventuale strategia di sfruttamento ( ).
I comparti da individuare potrebbero interessare pertanto una porzione di territorio molto vasta della provincia di Caserta e Benevento, in cui affiora sia la facies grigia (feldspatizzata) che gialla (zeolitizzata). Attualmente le uniche attività estrattive ancora attive riguardano percorsi di recupero geoambientale di siti precedentemente sfruttati.

Progettualità

La valutazione ragionata dei contenuti in elementi critici nelle rocce dei depositi precedentemente descritte è sicuramente l'obiettivo primario, ma analogamente ad esso verrà condotto uno studio sull'impiego di detti geomateriali (siano essi zeolitizzati o feldspatizzati) come potenziali sostituti dei fondenti nei moderni processi ceramici (de Gennaro R. et al., 2007; Pansini et al., 2010), e in tutte le possibili applicazioni nei comprati strategici che prevedono un impiego di dette fasi.
L'implementazione del piano di indagine prevede una rivalutazione sistematica di tutte le possibili materie prime zeolitiche e feldspatiche legate al magmatismo Quaternario della Campania (ad esclusione di quelle attualmente oggetto di concessione mineraria o di permessi di ricerca attivi) alla luce delle attuali tecnologie di trattamento e dei criteri merceologici per i vari impieghi. Si applicherà un approccio mirato alla *full exploitation* dei giacimenti e quindi alla valorizzazione di sottoprodotti che possono contenere materie prime critiche e strategiche (REE-Litio).
Le attività si articoleranno come di seguito descritto:
i) studio ed elaborazione delle conoscenze pregresse sulle materie prime (zeoliti, feldspati, terre rare, Li) con individuazione dei depositi più promettenti;
ii) campagna di rilevamento geologico e campionatura mirata dei depositi/siti individuati sulla base del punto precedente;

iii) analisi di laboratorio dei campioni raccolti per la loro caratterizzazione di base;
iv) esecuzione di test tecnologici con arricchimento e separazione delle fasi mineralogiche individuate al fine di valutarne le potenzialità applicative.
La realizzazione delle attività previste sarà condotta utilizzando le competenze scientifiche presenti presso l'Università Federico II di Napoli (Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse), dall'Università degli Studi del Sannio di Benevento (Dipartimento di Scienze e Tecnologie) e dal CNR (Istituto di Scienza, Tecnologia e Sostenibilità per lo Sviluppo dei Materiali Ceramici).

1) VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Attraverso una accurata analisi degli studi esistenti e la realizzazione di mappature dei depositi di interesse (individuati e potenziali) potranno essere delimitate le aree destinate ad una attività estrattiva dei minerali contenuti nelle rocce oggetto di indagine, andando a rielaborare ed aggiornare le informazioni giacimentologiche (in termini di disponibilità e di contenuti di fasi e di elementi di interesse) sia sulla base dei nuovi dati, ma anche completando le conoscenze utilizzando le nuove ed aggiornate tecnologie che potranno consentire di delineare i nuovi scenari per le applicazioni delle risorse individuate. In particolar modo si concentrerà l'attenzione sulle diverse litofacies affioranti in campagna, tenendo conto delle specificità derivanti dai diversi processi minerogenetici che hanno interessato i depositi messi in posto facendo riferimento in generale agli areali di pertinenza delle rocce piroclastiche indicate nella figura seguente.

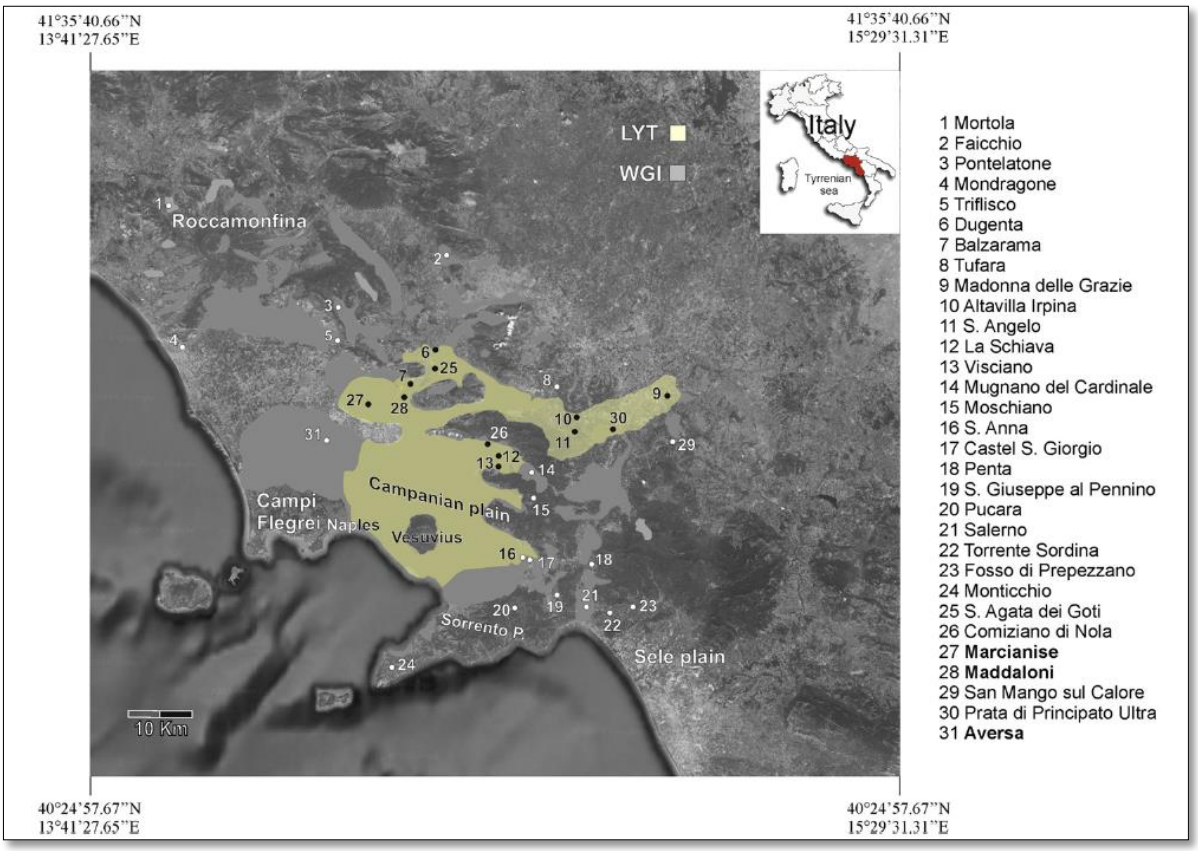

Figura 28 - Sketch degli affioramenti dell'ignimbrite Campana e del Tufo giallo.

Figura 29 - Esempi di fronti di cava e affioramenti di tufo e ignimbrite.

2) ATTIVITÀ DI CAMPAGNA E CAMPIONATURE

Durante le attività di rilevamento e campionatura saranno realizzate delle mappe tematiche che aiuteranno nella definizione dei diversi tematismi litostratigrafici e delimiteranno le aree di interesse, indicando altresì le caratteristiche giacimentologiche in termini di disponibilità dei materiali (esposizione, estensione e cubatura dei potenziali giacimenti) e verrà effettuata la campionatura di dettaglio che dovrà essere caratterizzata con la successiva fase analitica di laboratorio.

3) ANALISI DI LABORATORIO

I campioni verranno caratterizzati sia su base mineralogico-petrografica, al fine di verificare la presenza (in termini quantitativi) delle fasi di interesse, e le stesse fasi saranno ulteriormente caratterizzate dal punto di vista dell'abbondanza degli elementi di interesse, con particolare riguardo per gli elementi delle terre rare e altri, tra i quali il Li, B, Ba e Sr attraverso tecniche analitiche quali:

- Microscopia ottica ed indagini in microscopia elettronica SEM e microanalisi EDS/WDS;
- Analisi chimica degli elementi maggiori, minori e di quelli in tracce di interesse per mezzo di analisi XRF ed ICP/MS/OES;

- analisi mineralogica qualitativa e quantitativa su roccia totale e sugli arricchiti/separati (QXRD);
- Analisi termogravimetriche ATG (TG, DTG, DTA, EGA)
- Valutazione della performance tecnologica dei geomateriali predisposti ad una funzionalizzazione per modifica superficiale (capacità di scambio cationico, capacità di scambio cationico superficiale, capacità di scambio anionico, potenziale zeta, area di superficie)
- prove di fusibilità al microscopio riscaldante (HSM).
- Analisi in spettroscopia all'infrarosso (FTIR)
- Analisi iperspettrali su affioramenti per determinare l'estensione delle facies maggiormente mineralizzate.
- prove di comportamento tecnologico in impasti ceramici (scala di laboratorio) per la produzione di piastrelle in gres porcellanato;
- Funzionalizzazione mediante surfattanti per la predisposizione allo scambio anionico: processo di azzeramento e inversione di carica superficiale

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
La restituzione finale dei risultati si concretizzerà nella realizzazione di un report contenente, oltre ai risultati in termini di aggiornamento delle potenzialità delle risorse presenti nella regione Campania relativamente alle zeoliti ed ai feldspati, anche un quadro delle disponibilità di eventuali elementi critici presenti in queste fasi prese in considerazione, cosa che finora era stata effettuata solo in maniera decisamente trascurabile.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

L'approccio metodologico di questo progetto potrà essere replicato, in collaborazione con le Unità di Ricerca delle aree 8 e 10, in altre zone del territorio nazionale che dispongono di ampi affioramenti di rocce vulcanolcastiche e piroclastiche, segnatamente:

- Altre vulcaniti Plio-Quaternarie della c.d. Provincia comagmatica romana affioranti in Toscana, Lazio, e Basilicata (in particolare, complessi vulcanici dei Monti Vulsini, Monti Vicani, Monti Sabatini, Monte Vulture, Tolfa-Manziate-Cerite e rioliti della Toscana centro-meridionale)

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo delle conoscenze sul potenziale minerario relativo ai minerali industriali critici (feldspato), non critici (zeoliti, bentoniti) e contenenti materie prime critiche (terre rare, litio) della Campania
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali, in particolare per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

Bibliografia

Cappelletti, P., Cerri, G., Colella, A., de' Gennaro, M., Langella, A., Perrotta, A., Scarpati, C. Post-eruptive processes in the Campanian Ignimbrite (2003) Mineralogy and Petrology, 79 (1-2), pp. 79-97. DOI: 10.1007/s00710-003-0003-7

De' Gennaro, M., Cappelletti, P., Langella, A., Perrotta, A., Scarpati, C. Genesis of zeolites in the Neapolitan Yellow Tuff: Geological, volcanological and mineralogical evidence (2000) Contributions to Mineralogy and Petrology, 139 (1), pp. 17-35. DOI: 10.1007/s004100050571

De Gennaro, R., Dondi, M., Cappelletti, P., Cerri, G., de' Gennaro, M., Guarini, G., Langella, A., Parlato, L., Zanelli, C. Zeolite-feldspar epiclastic rocks as flux in ceramic tile manufacturing (2007) Microporous and Mesoporous Materials, 105 (3), pp. 273-278. DOI: 10.1016/j.micromeso.2007.04.023

Langella, A., Bish, D.L., Cappelletti, P., Cerri, G., Colella, A., de Gennaro, R., Graziano, S.F., Perrotta, A., Scarpati, C., de' Gennaro, M. New insights into the mineralogical facies distribution of Campanian Ignimbrite, a relevant Italian industrial material (2013) Applied Clay Science, 72, pp. 55-73. DOI: 10.1016/j.clay.2013.01.008

Pansini, M., de Gennaro, R., Parlato, L., de' Gennaro, M., Langella, A., Marocco, A., Cappelletti, P., Mercurio, M. Use of sawing waste from zeolitic tuffs in the manufacture of ceramics (2010) Advances in Materials Science and Engineering, 2010, art. no. 820541, DOI: 10.1155/2010/820541

10) FELDSPATO, TERRE RARE E MINERALI INDUSTRIALI NELLE ROCCE DEL MAGMATISMO ACIDO DELLA SARDEGNA

Il progetto intende approfondire le conoscenze sul potenziale minerario per materie prime critiche (feldspato, terre rare) e altri minerali industriali (zeoliti, bentoniti) della Sardegna, con riferimento al magmatismo acido (Ordoviciano, Ercinico e Cenozoico). La Sardegna è già il maggiore produttore nazionale di feldspato sodico (da albititi del distretto di Orani-Ottana), di sabbie quarzo-feldspatiche (Formazione di Florinas nel Sassarese) e di argille bentonitiche (depositi piroclastici oligo-miocenici, miniera di S'Aliderru, Sassari). Inoltre, ha cominciato a fornire materie prime zeolitiche (flussi piroclastici cineritici terziari della Sardegna settentrionale). Nei decenni scorsi sono state sfruttate varie miniere di bentonite e, per un breve periodo, altre fonti di fondenti feldspatici (graniti e pegmatiti ercinici, porfiroidi ordoviciani). Nonostante vi sia un'ampia base di conoscenze geologiche e petrografiche sul magmatismo ordoviciano, ercinico e cenozoico dell'Isola, manca un approccio sistematico (a tutte le possibili risorse) e aggiornato (alle attuali tecnologie di lavorazione e requisiti per fondenti ceramici ed altri impieghi). È necessario avere un approccio olistico, mirato alla *full exploitation* dei giacimenti, e quindi alla valorizzazione di sottoprodotti che possono contenere materie prime critiche (ad esempio, terre rare nei concentrati magnetici). Il progetto si propone di colmare questa lacuna allo scopo di individuare le risorse col maggiore potenziale per uno sfruttamento minerario e le zone dove concentrare la ricerca operativa.

Stato dell'arte

Commodity: fondenti per vetro e ceramica
Critical Raw Materials: feldspato
Strategic Raw Materials: Terre rare
Altre *commodities*: zeoliti (clinoptiloliti), argille bentonitiche (smectiti)
Localizzazione: Sardegna (distretti del magmatismo ordoviciano, ercinico e cenozoico)

Contesto geologico: batolite ercinico (granitoidi e differenziati vari, varie unità intrusive e facies litologiche); complessi vulcanici dell'Oligocene-Miocene (bentoniti, rioliti, vulcaniti zeolitizzate, eventuali epiclastiti) e del Pliocene-Quaternario (rioliti alcaline, fonoliti, bentoniti); metavulcaniti dell'Ordoviciano nel basamento metamorfico (porfiroidi, metarioliti).

Contesto giacimentologico: il focus è su facies intrusive ed effusive che consentano di applicare processi mineralurgici con maggiori rese e minori costi. Fra le diverse unità intrusive, la priorità è a giacimenti di grandi dimensioni (leucograniti) oppure a litotipi che presentino un arricchimento in alcali (albititi, sieniti, apliti-pegmatiti almeno parzialmente albitizzate; porfidi con accentuato carattere potassico). Oltre ai contenuti in fondenti feldspatici, saranno considerati quelli in Terre Rare (REE), la cui presenza in concentrazioni significative è documentata sia nei minerali accessori dei litotipi albitizzati (epidoti, allaniti, monaziti) costituenti in fase di arricchimento la frazione magnetica, sia

da analisi *bulk* sui litotipi fonolitici. Per quanto riguarda le unità effusive, l'attenzione è rivolta prevalentemente a piroclastiti (eventualmente epiclastiti) con zeolitizzazione diffusa e formazione di potenti depositi bentonitici, così come litotipi ad alto tenore di alcali (fonoliti, rioliti alcaline, metavulcaniti, anche soggette ad alterazioni epitermali).

Contesto minerario: vi sono alcune miniere attive che estraggono feldspato sodico (albititi di Orani-Ottana e Buddusò), sabbie quarzo-feldspatiche (sedimenti miocenici della Formazione di Florinas) e bentonite (Sulcis, Nurra e Marmilla). In passato, sono stati sfruttati una ventina di giacimenti di bentonite e terre da sbianca e, per un breve periodo, alcuni giacimenti di pegmatite (Baronie, Ogliastra), di granito (Arburese e Sarrabus) e di metavulcaniti ordoviciane (Gerrei) per fondenti feldspatici. Numerose sono le cave per pietre ornamentali e inerti, sia attive che dismesse. Nelle unità del magmatismo ercinico interessano prevalentemente graniti e granodioriti dei bacini estrattivi di Arzachena-Luogosanto, Tempio Pausania-Calangianus, Buddusò-Alà dei Sardi, Ovodda-Sarule e altri distretti minori. Nelle unità del vulcanismo cenozoico riguardano una gamma di piroclastiti e lave lungo tutta la Sardegna nord-occidentale; per le piroclastiti zeolitizzate sono presenti dei piccoli giacimenti, a macchia di leopardo, e per le argille bentonitiche si segnala, fra gli altri, il potente deposito di S'Aliderru (Sassari).

Progettualità

L'implementazione del piano di indagine prevede una rivalutazione sistematica di tutte le possibili materie prime feldspatiche legate al magmatismo Ordoviciano, Ercinico e Cenozoico della Sardegna (ad esclusione di quelle attualmente oggetto di concessione mineraria o di permessi di ricerca attivi) alla luce delle attuali tecnologie mineralurgiche e dei criteri merceologici per fondenti ceramici ed altri impieghi. Si applicherà un approccio mirato alla *full exploitation* dei giacimenti e quindi alla valorizzazione di sottoprodotti che possono contenere materie prime critiche e strategiche (REE).

Le attività saranno svolte in quattro passi successivi:

- studio ed elaborazione delle conoscenze pregresse sulle materie prime (feldspati, bentoniti, zeoliti, terre rare);
- campagna di rilevamento geologico e campionatura nei settori più promettenti individuati al punto precedente;
- campagna di analisi della campionatura raccolta per caratterizzazione composizionale e tecnologica;
- esecuzione di alcune prove di lavorazione mineralurgica a scala di laboratorio, sui campioni più promettenti individuati al punto precedente, per valutare in modo più approfondito le potenzialità applicative.

Le competenze scientifiche e tecnologiche per svolgere le suddette attività possono essere assicurate dal CNR (Istituto di Scienza, Tecnologia e Sostenibilità per lo Sviluppo dei Materiali Ceramici), dall'Università Federico II di Napoli (Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse) e dall'Università di Cagliari (Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche).

1) VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Si procederà alla raccolta, vagliatura, selezione, sintesi e riformulazione degli studi pregressi, i quali rappresentano per il magmatismo acido (Ordoviciano, Ercinico e Cenozoico) della Sardegna una mole molto consistente di pubblicazioni e cartografie tematiche, con relativi dati geologici, petrografici, geochimici e tecnologici. Il materiale raccolto andrà esaminato, rivisto e rielaborato alla luce delle più recenti vedute scientifiche nel campo delle materie prime (feldspati, bentoniti, zeoliti, terre rare), sia dal punto di vista geo-giacimentologico, sia sotto il profilo dei processi mineralurgici e delle applicazioni (ceramica, vetro e l'ampia gamma relativa alle bentoniti, nonché concentrati contenenti REE). Le unità magmatiche, che si presume saranno prese in considerazione nella costruzione del quadro generale, sono da 70 a 80 per l'insieme delle litologie elencate nel "Contesto giacimentologico". Le aree principali, oggetto dell'attività di valutazione preliminare, sono illustrate nella Figura 308. Si procederà, quindi, a selezionare le risorse potenzialmente più promettenti e a circoscrivere 3 o 4 aree di intervento, dove svolgere le attività seguenti.

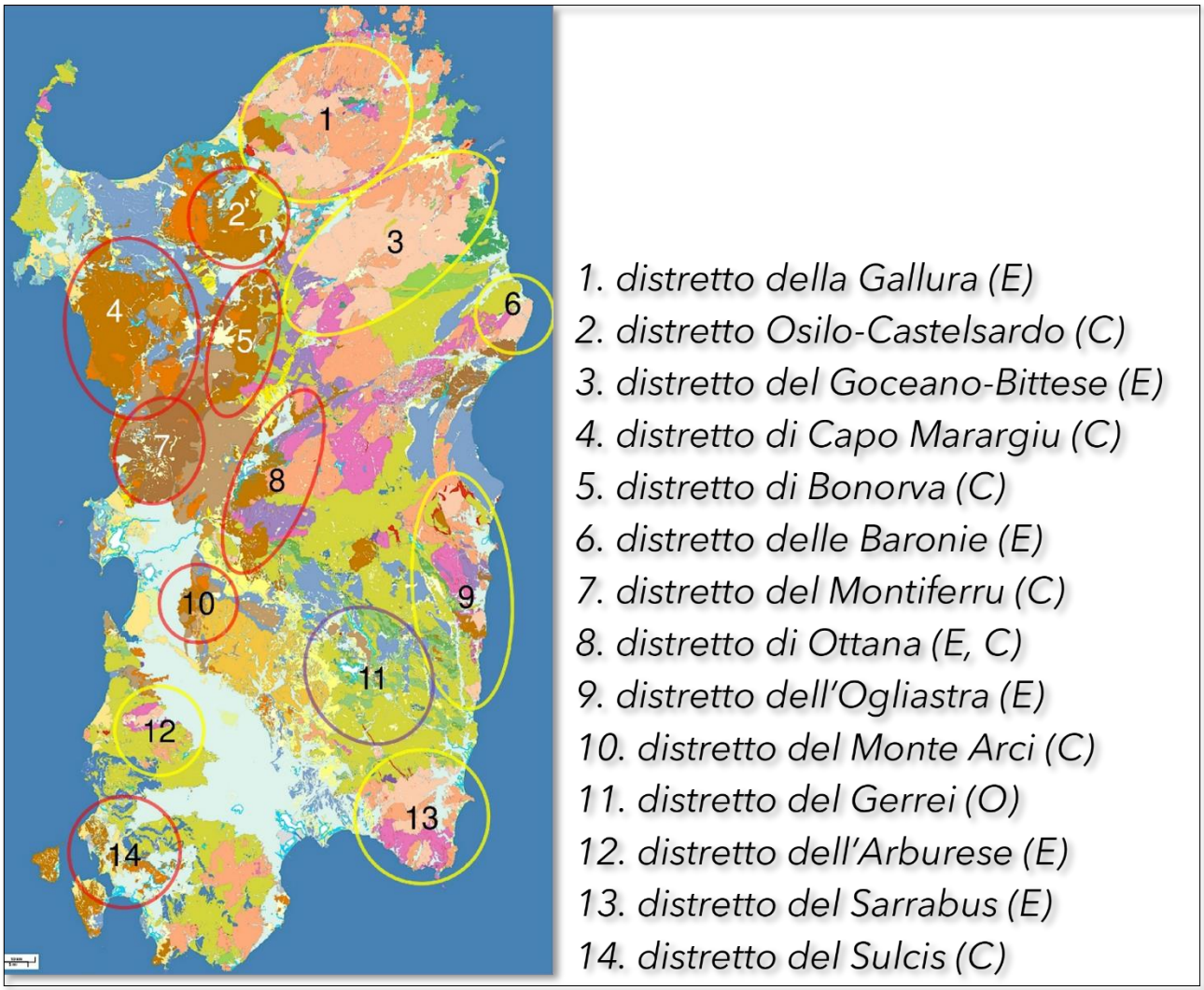

Figura 30 - Aree principali, oggetto di valutazione preliminare per feldspati, bentoniti, zeoliti, terre rare entro le rocce del magmatismo acido Ordoviciano, Ercinico e Cenozoico (Carta litologica da SardegnaMappe, https://www.sardegnageoportale.it)

2) ATTIVITÀ DI CAMPAGNA E CAMPIONATURE

È prevista una mappatura delle risorse con susseguente campagna di rilevamento geologico e campionatura nelle aree individuate come più promettenti. Queste attività sono finalizzate alla verifica sul campo delle caratteristiche del giacimento (esposizione, estensione e cubatura) e raccolta di alcuni campioni rappresentativi per le successive analisi e prove.

3) ANALISI DI LABORATORIO

Sui campioni raccolti al punto precedente si effettuerà una campagna di indagini di laboratorio volta a verificare la presenza e la concentrazione di CRM e si altri minerali utili di possibile interesse economico. La campagna potrà prevedere l'utilizzo di diverse metodologie di indagine e l'impiego sia di laboratori universitari che di enti e aziende esterne. Le metodologie di indagine potranno prevedere a seconda dei casi:

- studio dei campioni macroscopici e indagini in microscopia ottica ed elettronica SEM-EDS;
- analisi chimica degli elementi maggiori e degli elementi minori e in tracce di interesse (XRF, ICP-MS);
- analisi mineralogica qualitativa e quantitativa su roccia totale (XRD);
- prove di fusibilità al microscopio riscaldante (HSM).

Limitatamente ai campioni più promettenti, in base ai risultati delle analisi composizionali:

- analisi della composizione dei minerali femici e della loro distribuzione dimensionale al fine di definire il target per una efficiente *mineral liberation* e indirizzare così i processi di depurazione e concentrazione;
- prove di comportamento tecnologico in impasti ceramici (scala di laboratorio) per la produzione di piastrelle in gres porcellanato;
- prove tecnologiche (scala di laboratorio) per i campioni zeolitizzati e argillificati (bentonite);
- prove di lavorazione mineralurgica (scala di laboratorio, eventualmente passaggio a scala pilota).

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.

Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.

Al termine delle attività, si provvederà alla redazione di un rapporto finale che conterrà il quadro esaustivo dei risultati ottenuti, per ognuna delle risorse considerate (feldspati, bentoniti, zeoliti, terre rare), che illustrerà le potenzialità minerarie della Sardegna in generale e delle aree investigate in particolare.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

L'approccio metodologico di questo progetto potrà essere replicato in altre aree del territorio nazionale che dispongono di ampi affioramenti di rocce magmatiche acide, segnatamente:

- Vulcaniti Plio-Quaternarie della c.d. Provincia comagmatica romana affioranti in Toscana, Lazio, Campania e Basilicata (in particolare, complessi vulcanici dei Monti Vulsini, Monti Vicani, Monti Sabatini, Campi Flegrei, Monte Vulture, Tolfa-Manziate-Cerite e rioliti della Toscana centro-meridionale);
- Graniti e differenziati acidi (e loro equivalenti metamorfici) legati al magmatismo ercinico dell'Arco Calabro-Peloritano (in particolare, unità intrusive e metamorfiche della Sila, delle Serre, dell'Aspromonte e dei Monti Peloritani);
- Prodotti del magmatismo acido dell'Arco Alpino (Ordoviciano, Ercinico, Triassico e Cenozoico) rappresentati da un'ampia gamma di litologie (intrusive ed effusive, e loro equivalenti metamorfici) affioranti prevalentemente in Liguria, Piemonte, Lombardia, Trentino-Alto Adige e Veneto.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo delle conoscenze sul potenziale minerario relativo ai minerali industriali critici (feldspato), non critici (zeoliti, bentoniti) e contenenti materie prime critiche (terre rare) della Sardegna
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali (Ente Minerario Sardo/Progemisa/IGEA, Associazione mineraria sarda, Archivi regionali)
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Rivitalizzazione e potenziamento della specializzazione mineraria/geotecnica dell' Istituto di Istruzione Superiore Giorgio Asproni - Enrico Fermi di Iglesias, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali, in particolare per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

11) MINERALIZZAZIONI A SOLFURI MISTI (CU-PB-ZN ± AG), A W E A TERRE RARE E TI DEL DISTRETTO DI FUNTANA RAMINOSA (SARDEGNA CENTRALE)

Stato dell'arte

Materie prime principali: "solfuri misti" di Cu-Pb-Zn;
Materie Prime Critiche: Cu, W, Terre Rare;
Materie Prime Strategiche: Cu, W, Terre Rare
Altre possibili Materie Prime: magnetite, Pb, Zn, Au, Ni, Co, In, Ga, Ge,

Contesto geologico-giacimentologico: Conosciute sin dall'epoca preromana, le mineralizzazioni a "solfuri misti" di rame-piombo-zinco caratterizzano il distretto di Funtana Raminosa, in Barbagia. Le mineralizzazioni sono ospitate nelle rocce paleozoiche dell'area a Sud del Massiccio del Gennargentu: si tratta di rocce vulcaniche e sedimentarie ordoviciano-devoniane (età da 450 a 360 milioni di anni) fortemente piegate e deformate e a contatto con rocce granitoidi più recenti (età permiana: 299 milioni di anni). La formazione delle principali mineralizzazioni presenti viene messa in relazione con la messa in posto dei magmi granitoidi che hanno impresso alle rocce più antiche una intensa trasformazione di origine termica e rilasciato fluidi idrotermali, formando abbondanti concentrazioni di minerali metallici in depositi di tipo *skarn,* nei quali i minerali di interesse economico sono stati storicamente i "solfuri misti" e la magnetite. I principali Corpi mineralizzati conosciuti (Figura 31) sono localizzati lungo la valle del Rio Saraxinus (Funtana Raminosa), lungo la valle del Flumendosa (San Gabriele) e sui rilievi ad Ovest dell'abitato di Gadoni (Giacurru/Perdabila e Su Nusai).

Contesto minerario: la storia mineraria moderna del distretto inizia nei primi anni del '900, quando oltre a riprendere gli scavi storici nella valle del Saraxinus vengono sviluppate ricerche nei settori circostanti. A Funtana Raminosa la miniera attraversa diverse fasi di sviluppo alternate a fasi di stasi, ogni volta contraddistinte da difficoltà tecniche nell'arricchimento dei "solfuri misti", strettamente implicati fra loro e con i minerali di ganga, nonostante proprio nella laveria venissero sperimentate tecniche all'epoca innovative in Italia, come la flottazione dei minerali di rame (1917). Alla fine degli anni '30 l'arrivo della società Cogne corrisponde ad una fase di grandi investimenti nei cantieri e sugli impianti (Figura 32): le riserve allora ammontavano a 200.000 tonnellate di solfuri misti (tenore in Cu intorno al 2%) a Funtana Raminosa, più altre 175.000 a Su Nusai e San Gabriele. Nello stesso si ha una prima esplorazione approfondita del deposito a magnetite di Giacurru/Perdabila individuava un potenziale di alcuni milioni di tonnellate di magnetite in grandi lenti modestamente sfruttate da una piccola società sarda fino agli anni 2000 nelle parti affioranti ricche in idrossidi di Fe da destinarsi alla produzione dei cementi. Nel 1979 il nuovo progetto minerario da parte di SAMIM porta all'installazione di un grande impianto da 1000 ton/die e la costruzione di una discenderia camionabile, ma l'investimento si rivela sovradimensionato rispetto alle caratteristiche del giacimento, portando alla chiusura nel 1987. Nel settore di Giacurru è

al momento pendente una richiesta di concessione mineraria da parte della società Sabbie di Parma SRL.

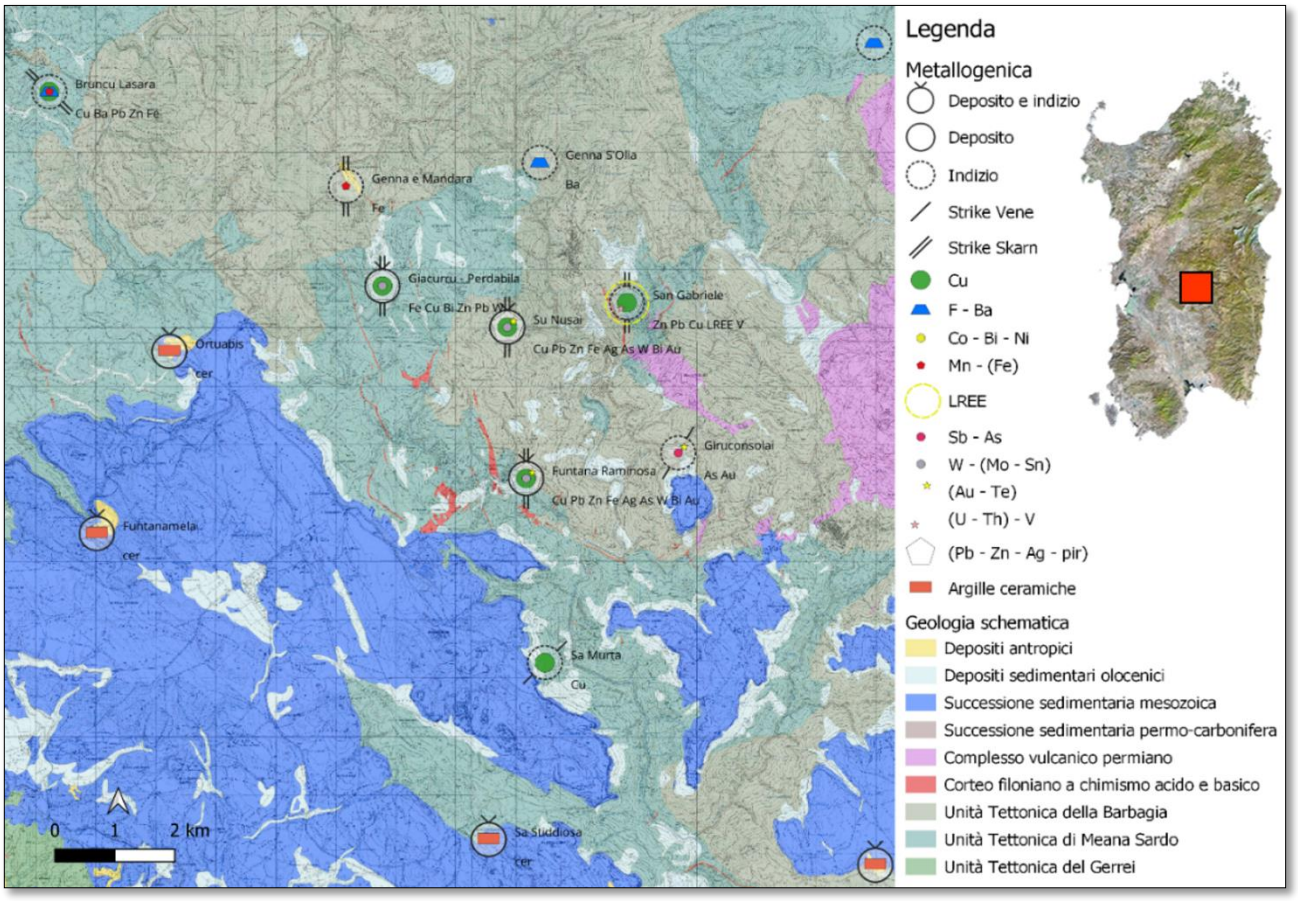

Figura 31 - Localizzazione delle principali mineralizzazioni del distretto di Funtana Raminosa

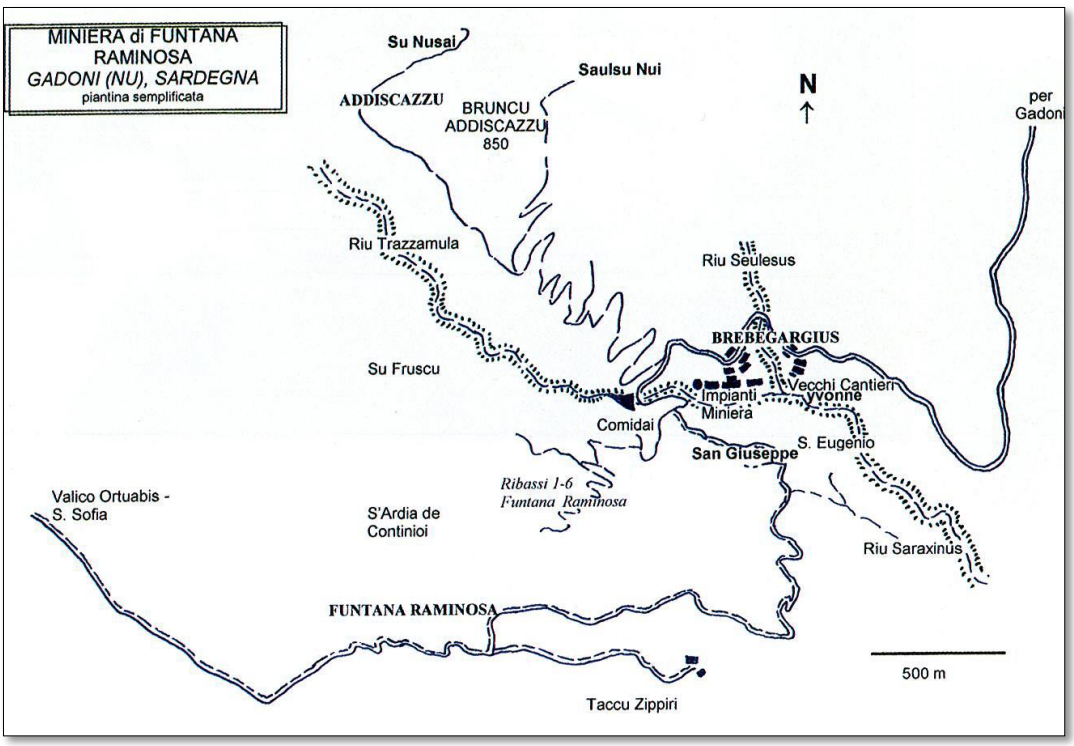

Figura 32 - Principali cantieri nel settore di Funtana Raminosa

Potenzialità dell'area

La chiusura della miniera di Funtana Raminosa è avvenuta più per motivi tecnico-economici che per effettivo esaurimento delle mineralizzazioni. Per quanto riguarda i "solfuri misti", in generale si tratta di masse di dimensioni relativamente ridotte, ma numerose e disperse: gli studi effettuati durante l'ultima valutazione del giacimento (seconda metà anni '70) individuavano non meno di 55 masse mineralizzate a solfuri, spesso molto ricche d'argento e con presenza di oro, per un totale di alcune centinaia di migliaia di tonnellate (circa 500.000) di minerale utile, solo in parte sfruttato nei successivi anni '80. Sono al momento disponibili dati limitati sui minerali accessori che accompagnavano i solfuri, ma studi in corso nell'area stanno evidenziando diversi possibili temi di ricerca di materie prime strategiche: oltre al rame, in particolare il tungsteno e le Terre Rare che fanno dell'area una delle più interessanti della Sardegna. Il tungsteno, già segnalato nel settore di Giacurru ed individuato a Funtana Raminosa è presente come scheelite (wolframato di calcio): data la difficoltà di identificazione di questo minerale, distinguibile nella massa mineralizzata solo con lampade UV di frequenza appropriata, è probabile che esso possa essere presente in porzioni fino ad ora non coltivate delle masse mineralizzate a solfuri, anche in associazione alla magnetite come a Giacurru. La presenza di elevati contenuti di Terre Rare in alcune tipologie di rocce affioranti nell'area erano state evidenziate da studi del CNR e dell'Università di Cagliari degli anni '90: si tratta di rocce ad alto contenuto di epidoto (epidotiti), un silicato di calcio che può arricchirsi in terre rare. Più recentemente esplorazioni preliminari condotte dall'Università di Cagliari hanno identificato significativi contenuti di Terre Rare leggere (fino a 0,5-0,6% di Terre rare totali) in rocce sedimentarie ricche ad ossidi di titanio (contenuto in titanio ossido: 6-8%), affioranti tra Funtana Raminosa e Giacurru. Le analisi mineralogiche hanno evidenziato una mineralizzazione a fluorocarbonati (bastnaesite e synchysite) e fosfati (monazite), a scala mondiale tra le specie minerali ritenute più interessanti per l'estrazione metallurgica delle Terre rare. L'area di interesse è inoltre sicuramente da estendere a manifestazioni simili già oggetto di passate attività di coltivazione o di esplorazione per "solfuri misti" (campagne Ente Minerario Sardo anni'70), conosciute nei settori orientali del Gennargentu e in Ogliastra, come le miniere di Talentinu-Bau Arenas e quella di Correboi, le ricerche del Lago Alto Flumendosa, quelle di Orgosolo- Funtana Bona, etc.

Attività previste

5) ACQUISIZIONE, VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Oltre a diversi studi scientifici, studi e documenti tecnici minerari sulle attività passate nel distretto sono reperibili in Sardegna presso numerose fonti (archivi comune di Gadoni; uffici dell'Assessorato all'Industria – ex Distretto minerario; archivi ricerche Ente Minerario Sardo e Progemisa SpA; archivio IGEA SpA; documentazioni presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari, etc.): l'acquisizione e la rivalutazione critica di questi materiali non costituirà solo una necessaria fase preliminare, ma proseguirà e sarà di indirizzo alle fasi operative nel corso di tutta la prospezione.

6) ATTIVITA' SUL TERRENO

Le attività di terreno prevederanno a) rilievi di dettaglio e acquisizione sistematica di campioni nelle aree interessate in passato dai lavori minerari di esplorazione e coltivazione dei "solfuri misti", includendo campionature sugli affioramenti mineralizzati, nelle discariche minerarie e all'interno delle gallerie attualmente accessibili e mirando in particolare alle zone a margine dei corpi minerari già sfruttati, per verificare la presenza di minerali di tungsteno ed altri minerali utili; b) rilievi e campionature sistematiche lungo la formazione geologica nella quale sono stati riscontrati gli arricchimenti a minerali delle Terre Rare (fluorocarbonati e monazite) e ossidi di titanio Oltre a verificare alcuni aspetti geologici maggiori di interesse per le ricerche (es. la definizione delle zone di contatto tra i granitoidi e le rocce che ospitano le mineralizzazioni), i rilievi si concentreranno sui settori interessati da corpi mineralizzati a "solfuri misti" e alla definizione spaziale delle zone mineralizzate a Terre rare e titanio, anche con lo scopo di focalizzare criteri-guida stratigrafico-strutturali utili alla prospezione. L'area da investigare ha una modestissima copertura di suoli, per cui in una prima fase saranno essenzialmente previste semplici campionature al martello su rocce; una volta individuati affioramenti promettenti si effettueranno campionature a canaletta, sempre al martello, del tipo *chip-channel,* nonché eventuali prelievi di minicarote (10-20 cm di lunghezza, 2,5-5 cm di diametro) con carotiere portatile, per una migliore stima del potenziale delle mineralizzazioni. I rilevi nell'area comprenderanno l'acquisizione di dati iperspettrali con l'utilizzo di sensore VNIR montato su drone o utilizzato sul terreno, con capacità di rilevazione di lunghezze d'onda inferiori ai 1000 nanometri, significative per quanto riguarda presenza di concentrazioni di minerali delle Terre Rare. Il drone e il sensore sono a disposizione del Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche dell'Università di Cagliari. L'acquisizione con i fondi di progetto di un secondo sensore SWIR capace di rilevare tra i 1000 e 2500 nanometri permetterebbe di espandere le potenzialità del metodo al rilievo di una varietà molto ampia di minerali critici e strategici o di minerali vettori degli stessi (es. minerali di Titanio) permettendone l'utilizzo anche nelle ricerche da svolgere anche in altre aree contemplate dal Piano di Esplorazione Nazionale. Nel corso della campionatura potrà essere anche valutata la possibilità del prelievo di campioni di *stream sediments* lungo segmenti selezionati di aste fluviali, in particolare a monte delle principali aree minerarie (es. rio Trazzamula, Fig. 2) per investigare sulla possibile presenza di zone mineralizzate non ancora messe in luce dalle ricerche precedenti. Tutte le campionature sul terreno saranno assistite dall'utilizzo di strumenti portatili disponibili presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche (DSCG) dell'Università di Cagliari (spettrometro pXRF per la determinazione semiquantitativa dei contenuti in elementi metallici delle rocce; rilevatore di raggi gamma portatile per l'individuazione nelle rocce di livelli a più alta radioattività naturale legata a concentrazioni di monazite; lampada UV da mineralogia a frequenza regolabile, per l'individuazione tramite fluorescenza dei minerali di tungsteno in sotterraneo; carotiere portatile). Le attività interesseranno tutto l'areale del distretto (in prima approssimazione circa 35 Km^2) e

potranno anche essere estese per valutazioni preliminari ad altri siti nella regione del Gennargentu dove sono presenti mineralizzazioni simili.

7) ANALISI DI LABORATORIO

I campioni prelevati saranno sottoposti a caratterizzazione minero-chimica mirata ad evidenziare la presenza ed abbondanza di materie prime critiche/strategiche e a definirne la distribuzione nei minerali presenti. Il protocollo analitico che si intende proporre prevede l'esecuzione in parallelo dei seguenti studi ed analisi:

a) Studi minero-petrografici sui campioni di rocce e mineralizzazioni presso i laboratori DSCG: studio di preparati analitici (sezioni sottili, fette lucide, *mounts* anche con inglobamento in resina) in microscopia ottica e digitale in luce polarizzata trasmessa e riflessa, per la prima identificazione dei minerali metallici e non-metallici e delle loro relazioni geometrico-spaziali; studi in microscopia elettronica SEM-EDS presso i laboratori DSCG su campioni selezionati per approfondire le analisi precedenti e ottenere composizioni chimiche semiquantitative dei minerali e mappe composizionali per vedere la distribuzione in essi degli elementi di interesse;
b) Studi in diffrattometria X (XRD) su polveri presso i laboratori DSCG, per una definizione quali/quantitativa della composizione mineralogica dei campioni prelevati;
c) Analisi chimiche *bulk* per elementi maggiori, minori e in tracce su da effettuarsi presso laboratori internazionali certificati con metodiche analitiche appropriate (XRF, ICP-MS, etc.) su aliquote rappresentative dei campioni prelevati.

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

I dati acquisiti nel corso della prospezione saranno organizzati secondo più livelli:
- tramite schede di rilevamento relative alle principali situazioni mineralizzate rivisitate e/o di nuova identificazione;
- tramite un database geochimico comprensivo delle campionature effettuate;
- tramite restituzione digitale QGIS su cartografia geologica dei dati acquisiti.
- tramite mappe di distribuzione dei minerali basate sui dati iperspettrali.

Si provvederà inoltre ad un rapporto finale riassuntivo dei risultati ottenuti - con interpretazione degli stessi in relazione alla geologia e giacimentologia dell'area e al più ampio quadro metallogenico regionale - delle potenzialità e prospettive verificate per l'area investigata e delle indicazioni per possibili estensioni ed approfondimenti con prospezioni future che contemplino metodi indiretti (geofisica) e accertamenti diretti (sondaggi, trincee, etc.), sia nei lavori minerari accessibili in sottosuolo, sia in superficie.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei sistemi mineralizzati a solfuri misti" di Cu-Pb-Zn e REE nel distretto minerario sardo

- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali (Ente Minerario Sardo/Progemisa/IGEA, Associazione mineraria sarda, Archivi regionali)
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Rivitalizzazione e potenziamento della specializzazione mineraria/geotecnica dell'Istituto di Istruzione Superiore Giorgio Asproni - Enrico Fermi di Iglesias, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Possibile destinazione dei minerali metalliferi verso lo smelter di Portovesme
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali, in particolare per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

BIBLIOGRAFIA

Anedda B., Carta M., Zuffardi P. (1965). Le risorse minerarie sarde e l'opera di ricerca per la loro conservazione e il loro potenziamento. Relazione, Cagliari 45 pp.

Dessau, G. (1937). Studi sulla miniera di Fontana Raminosa (Sardegna). Periodico di Mineralogia, 2, 177–215.

Meloni, M.A.; Oggiano, G.; Funedda, A.; Pistis, M.; Linnemann, U. (2017). Tectonics, ore bodies, and gamma-ray logging of the Variscan basement, southern Gennargentu massif (central Sardinia, Italy). J. Maps, 13, 196–206.

Ogniben, G., & Monese, A. (1973). Il 'Gran Dicco' (Giacimento di Funtana Raminosa-Sardegna). Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Universita di Padova, 29, 1–36.

Protano G, Riccobono F, Sabatini G (1996) Magmatism and hydrothermal processes in the Funtana Raminosa ore district (Central Sardinia, Italy): petrographic and geochemical features. Miner Petrogr Acta 39:135–158

Revello, G., & Chiorboli, S. (1970). Sulla presenza di associazioni di cubanite, calcopirite, pirrotina, blenda e mackinawite incluse in quarzo a Funtana Raminosa (Sardegna). Periodico di Mineralogia, 39, 211–217.

Stara, P., Rizzo, R., Sabelli, C., & Ibba, A. (1999). I minerali di Funtana Raminosa (Gadoni, Sardegna centrale). Rivista Mineralogica Italiana, 1, 10–27.

12) MINERALIZZAZIONI IDROTERMALI A FLUORITE-BARITE E TERRE RARE, CENTRO-SUD SARDEGNA.

Stato dell'arte

Materie prime principali: fluorite, barite
Materie Prime Critiche: fluorite, barite, Terre Rare
Materie Prime Strategiche: Terre Rare
Altre possibili Materie Prime: Terre Rare, Pb, Zn, Ag

Contesto geologico-giacimentologico: Il basamento Paleozoico della Sardegna centro-meridionale è caratterizzato dalla presenza di numerosi depositi mineralizzati di tipo filoniano a fluorite e barite in ganga di quarzo e carbonati, associati a quantità variabili di solfuri metallici (principalmente Pb-Zn) e in qualche caso molto ricchi in minerali di Ag. Nella Sardegna sud-occidentale (Sulcis-Iglesiente) le mineralizzazioni principali sono incassate principalmente in calcari della Formazione di Gonnesa o "metallifero auct." (Cambriano inferiore); altre manifestazioni, quasi tutte minori, si hanno principalmente nelle sequenze sedimentarie di età ordoviciana. I corpi mineralizzati sono rappresentati da filoni sub-verticali; nella stessa formazione geologica sono inoltre frequenti importanti mineralizzazioni a barite di ambiente carsico (riempimenti di cavità carsiche o "karst" a barite). Nella Sardegna centro-orientale (Sarrabus-Gerrei e in parte della Marmilla e del Sarcidano) le mineralizzazioni sono concentrate sempre in filoni sub-verticali incassati nelle sequenze paleozoiche di basso grado metamorfico, in particolare appartenenti alla Formazione delle Arenarie di San Vito (Cambriano- Ordoviciano inferiore), in vulcaniti ("Porfiroidi" auct.) dell'Ordoviciano medio e in argilloscisti carboniosi ("scisti neri") e calcari di età Siluriano-Devoniana. Meno frequentemente (Sarrabus) i filoni sono incassati nei graniti di età Permiana. L'unico giacimento attualmente in fase di valorizzazione è quello a fluorite di Silius, costituito da due vene principali ospitate in "Porfiroidi", che si intersecano sovrapponendosi creando uno dei corpi mineralizzati a fluorite più grandi d'Europa. Diversi studi recenti hanno messo in evidenza il legame genetico tra graniti e mineralizzazioni a fluorite. I graniti della Sardegna meridionale sono infatti ricchi in Fluoro ed alcune importanti manifestazioni a fluorite hanno certamente un'origine magmatica: tra esse quelle in passato sfruttate nelle miniere di Su Zurfuru e di Perda Niedda (Sardegna sud-occidentale). Le mineralizzazioni filoniane deriverebbero dalla lisciviazione dei graniti da parte di fluidi idrotermali che, circolando lungo sistemi di faglie avrebbero dato origine alle mineralizzazioni a fluorite-barite. Le mineralizzazioni sono solo parzialmente datate (a Silius è attribuita un'età permiana) ma sulla base delle relazioni geologiche con le rocce incassanti è possibile ipotizzare eventi mineralizzanti multipli, proseguiti dalla fine del Paleozoico fino al Pliocene. La natura delle rocce incassanti sembra condizionare il tipo di mineralizzazioni, in particolare dal punto di vista dell'abbondanza e varietà dei minerali metallici. In generale, si osserva un netto aumento del carattere polimetallico e dei tenori in Argento delle mineralizzazioni quando l'incassante è costituito da "scisti neri" carboniosi (miniere del "Filone argentifero" del Sarrabus; miniera Correboi, etc.). La scoperta in anni recenti a Silius di significativi

contenuti di minerali delle Terre Rare (fluorocarbonati e fosfati) costituisce un nuovo e ulteriore elemento di interesse per questa tipologia di mineralizzazioni a minerali critici, spingendo ad una verifica complessiva di queste manifestazioni in tutta la regione.

Contesto minerario: Nei distretti sardi, la scoperta delle principali mineralizzazioni idrotermali a fluorite e barite (Figura 33) è strettamente correlata con la ricerca e sfruttamento di depositi a solfuri di Pb, Zn e Ag. Nella seconda metà del 1800 sino ai primi decenni del 1900 fluorite e barite erano considerati minerali di scarto (ganga) di molte miniere dove l'oggetto primario di ricerche e coltivazioni erano i solfuri metallici e l'Argento. Solo a partire dal dopoguerra (anni '50) la barite, e poi la fluorite, diventano oggetto principale di coltivazione e vengono fatte ricerche estese a scala regionale per questi minerali. In questo periodo entrano in produzione le grandi miniere di fluorite di Genna Tres Montis e Muscadoxiu (Silius), le miniere di Santa Lucia e Su Zurfuru (Fluminimaggiore, Iglesiente), quelle di Monreale e Perda Lai (Sardara), quella di Mont'Ega (Narcao) e quella di Is Crabus (Villasalto). Nello stesso periodo, estesi campi filoniani a bariti idrotermali sono oggetto di ricerche nella Sardegna sud-orientale (filone Santoru, filone Bruncu Molentinu) e in quella sud-occidentale (Tzurufusu). Le bariti carsiche vengono intensamente sfruttate soprattutto nel Sulcis (miniera Barega e numerose località minori). A causa del deprezzamento internazionale della fluorite, molte miniere cessano l'attività di estrazione nei primi anni '80, mentre l'estrazione di barite prosegue sino ai primi anni 2000. Nel complesso le mineralizzazioni sarde a fluorite e barite appaiono, secondo standard moderni, sottoesplorate. Con l'eccezione della miniera di Silius e delle miniere argentifere (es. Monte Narba, nel Sarrabus) si deve infatti constatare che nella maggior parte dei casi la ricerca e lo sfruttamento dei corpi mineralizzati a fluorite e barite ha riguardato prevalentemente parti superficiali dei depositi, con imprese che venivano rapidamente abbandonate da piccole società per difficoltà tecniche o di ordine economico. Le stesse basi geologiche e giacimentologiche su cui si basavano le prospezioni appaiono oggi datate, mentre le ricerche raramente erano supportate da geofisica e da campagne di sondaggi adeguati, per cui i dati sulle riserve appaiono alla luce dei criteri attuali abbastanza approssimati: Silius, con 2.200.00 tonnellate di riserve certificate al 34% in fluorite appare ancora una volta una eccezione, insieme ad alcuni depositi del Sarrabus (Bruncu Molentinu, Monte Genis) oggetto negli anni '70 e '80 di ricerche da parte dell'Ente Minerario Sardo.

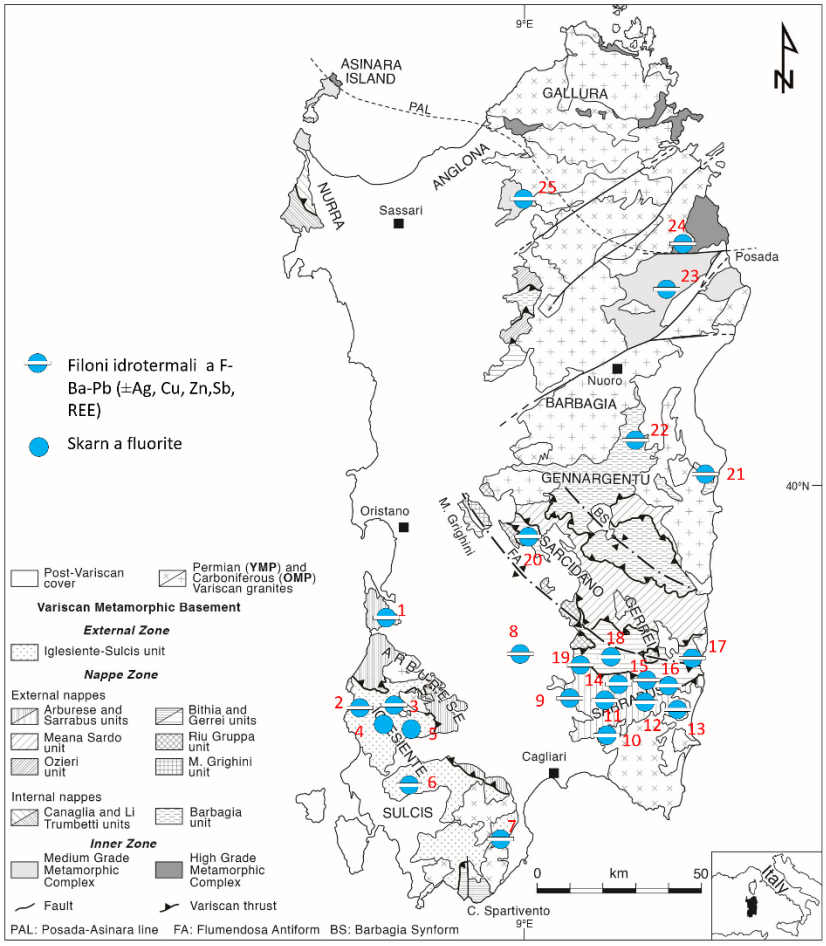

Figura 33 - Distribuzione regionale delle principali mineralizzazioni a fluorite-barite in Sardegna. 1. Tzurufusu; 2. Santa Lucia; 3. Perda S'Oliu; 4 Su Zurfuru; 5. Perda Niedda; 6. Mont'Ega; 7. Sa Galanza; 8. Monreale; 9. S'Ortu Becciu; 10. Burcei; 11. Monte Genis; 12. S'Arcu Mannu; 13. Monte Narba; 14 Is Crabus; 15. Su Leonaxi; 16. Bruncu Molentinu; 17. Bruncu Vintura; 18. Silius; 19. Bruncu Mannu; 20. Castel Medusa; 21. Goene; 22. Correboi; 23. Guzzurra; 24. Valle del Posada; 25. Su Laccheddu.

Potenzialità dell'area

Come riportato in Fig.31, le mineralizzazioni a fluorite-barite della Sardegna hanno un'ampia diffusione regionale che, nell'ottica degli obiettivi del Piano Nazionale di Esplorazione, richiederebbe un programma pluriennale di ricerche. Nell'ambito del programma attuale, sulla base della rilettura critica dei dati di letteratura e di osservazioni dirette è possibile identificare almeno tre aree specifiche nella Sardegna centro-meridionale nelle quali focalizzare nuove ricerche. In tutti e tre i casi si tratta di aree per le quali esiste una documentazione di ricerche pregresse: è possibile osservare le mineralizzazioni in affioramento, nonché in lavori minerari precedenti (trincee e gallerie).

1. **Area di Bruncu Molentinu –** (San Vito: Figura 34). Si tratta di un sistema filoniano che affiora con buona continuità per circa 3,5 km in direzione Nord-Sud. I filoni hanno potenza variabile da 1.5 m sino a 4 m e in affioramento emergono dalla superficie topografica come vene a quarzo con abbondantissima barite. Il campo filoniano è stato esplorato a più riprese da diverse società minerarie (Montecatini, Sarramin, etc.) e dall'Ente Minerario Sardo, ma mai coltivato, mentre manca una moderna valutazione delle riserve. I rapporti disponibili, basati su trincee, gallerie

di esplorazione e sondaggi sviluppati in particolare nella parte meridionale del sistema, indicano una mineralizzazione zonata in senso verticale con abbondantissima barite nelle parti superiori delle vene e fluorite nei livelli intermedi, mentre nella parte inferiore si aveva prevalenza del quarzo; nelle zone considerate di interesse economico erano stimate frazioni in volume di barite 10%-60%, fluorite 30-60% e quarzo dal 10% al 30%. Accessori presenti sono solfuri metallici di Pb e Zn, in particolare la galena: non si hanno dati su possibili contenuti di minerali delle Terre Rare. In base alle relazioni tecniche, sulle coltivazioni e sui numerosi saggi presenti nell'area, la superfice ad alto potenziale da investigare può essere quantificabile in circa 25 km^2. Nei settori circostanti, mineralizzazioni dello stesso tipo che potrebbero essere investigate, in particolare per la presenza di minerali delle Terre Rare ed altri accessori strategici, includono Is Crabus, filone a fluorite oggetto di sfruttamento minerario fino agli anni'90, e Monte Genis, un filone di fluorite mai coltivato, esplorato dall'Ente Minerario Sardo negli anni '90; la miniera di argento di Monte Narba, ampiamente sfruttata alla fine dell'800, appare come un target maggiore per le discariche in essa presenti, ancora ricche anche di fluorite e barite.

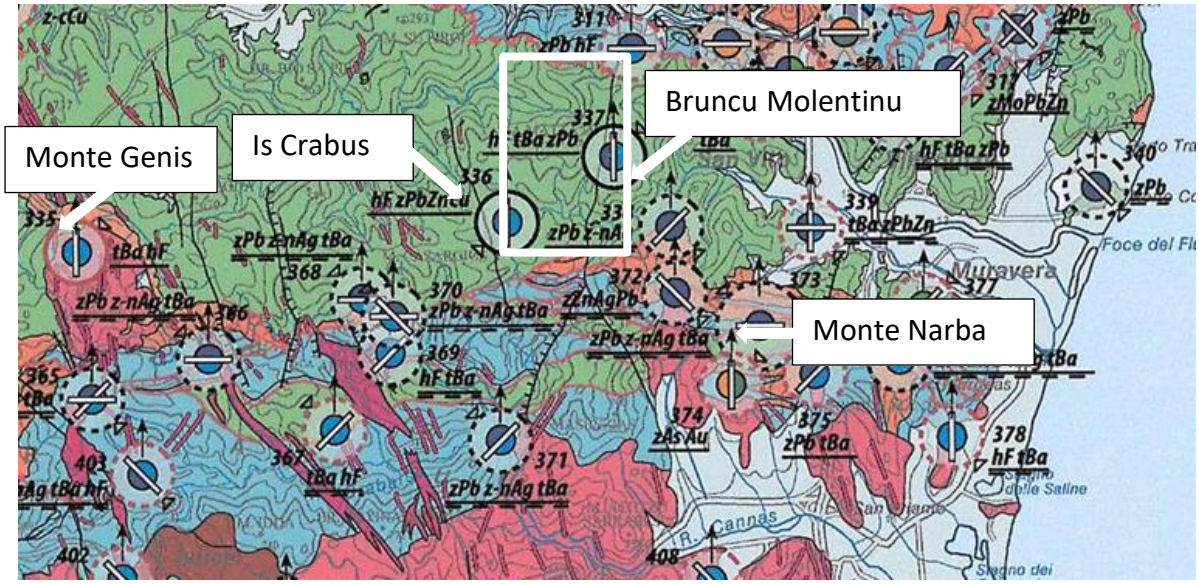

Figura 34 - Principali mineralizzazioni a fluorite-barite del Sarrabus.

2. **Area di Castel Medusa** (Asuni- Samugheo). In quest'area è presente il "campo filoniano di Castel Medusa", caratterizzato da una serie di filoni a quarzo-fluorite e barite di notevole estensione e potenza (**Figura 35**). Vista la scarsa presenza di solfuri, questa area è stata poco esplorata rispetto agli altri siti nel sud Sardegna, in tempi relativamente recenti (anni '60 del '900). Solo 4 piccole ricerche minerarie (Forru Iscrappeddu, Costa Ualla, Riu Misturadroxiu e Genna Oggiastru) avevano iniziato ad operare nell'area, inizialmente alla ricerca di argento, e fluorite e barite erano relegati a minerali di ganga. Alcuni corpi di discarica ricchi in fluorite e barite sono tuttora presenti nei siti minerari. Nel complesso, come i filoni del Sarrabus, quelli del "campo filoniano di Castel Medusa" sono sub-verticali con geometrie "a rosario", ed alternanze di zone molto ricche e zone più povere o sterili. Le potenze delle vene in affioramento variano dal 0.30 sino a 1.5 m con lunghezze in superficie

variabili dai 3 m sino 20 m: nelle gallerie percorribili si osservano potenze fino a 2,5 m per corpi esplorati per diverse decine di metri). La frazioni in volume riportate per fluorite e barite variano rispettivamente dal 20-60% e 10-40%. Tutti i rapporti disponibili indicano come le ricerche si siano sempre limitate alle parti superficiali delle vene, mentre esistono dati limitatissimi sulla loro prosecuzione in profondità. Complessivamente l'area interessata è di circa 85 km^2 nei comuni di Samugheo e Asuni.

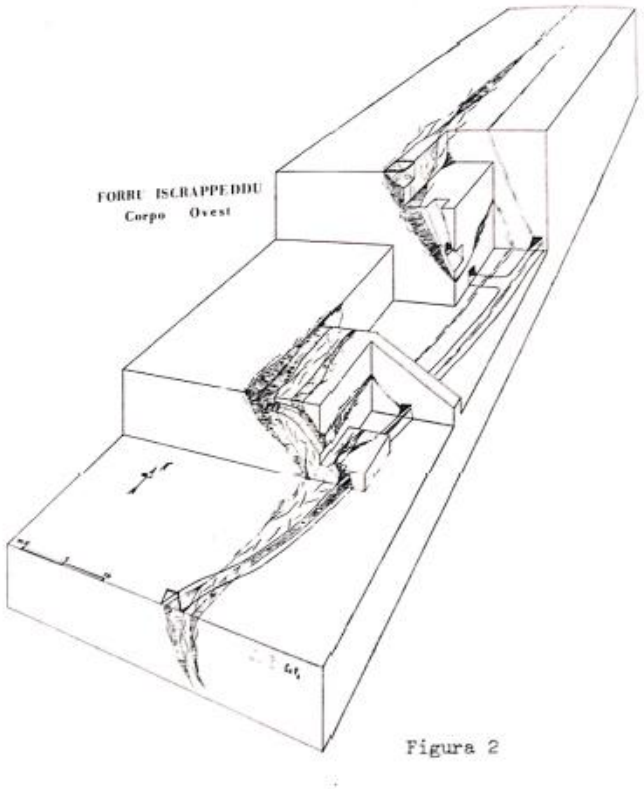

Figura 35 - Geometria della mineralizzazione di Forru Iscrappeddu, campo filoniano di Castel Medusa.

3. **Area di Santa Lucia** (Fluminimaggiore). L'area di Santa Lucia è contrassegnata da più sistemi filoniani costituiti da due filoni principali paralleli di direzione Nord-Ovest-Sud-Est, il "Filone Palazzo" e il filone di "Sa Mena de S'Oreri" e diverse vene minori aventi anche rapporti di intersezione con le precedenti (Pala su Sciusciu, Perdas Albas, Niu Crobu). La fascia mineralizzata trova la sua naturale prosecuzione a Nord-Ovest nel settore delle ricerche di Monte Cidrò e a Sud-Est nel settore della miniera di Su Zurfuru (Figura 36). I due filoni principali di Santa Lucia attraversano una sequenza di sedimenti terrigeni della Formazione di Monte Argentu (Ordoviciano medio) e appaiono come fasci di vene a tessitura listata e brecciata intensamente mineralizzati (fluorite, barite e accessori solfuri di Pb, Zn e Cu in ganga di quarzo e calcite) in particolare quando intersecano due affioramenti di calcari della Formazione di Gonnesa ("metallifero" auct., Cambriano inferiore). Entrambi i filoni seguono sistemi di frattura più antichi, parzialmente sigillati da filoni di porfidi microgranitici anch'essi coinvolti nella mineralizzazione e responsabili di evidenti fenomeni di ricristallizzazione dei

calcari, in alcuni punti simili a veri e propri marmi. Le mineralizzazioni sono caratterizzate da zone di arricchimento di oltre 100 m di lunghezza. I principali lavori minerari hanno interessato i due filoni con grandi scavi a cielo aperto e gallerie in sotterraneo, in parte ancora accessibili a Sa Mena de S'Oreri. Evidenti fenomeni carsici interessano i calcari della Formazione di Gonnesa in tutta l'area, con frequenti tascate (karst) spesso riempite da masse di barite massiva o brecciata e cementata da fluorite. Le tascate possono raggiungere frequentemente volumi di superiori ai 12 m^3, le brecce di barite sono irregolari con potenze superiori al metro e lunghezze metriche. Nel complesso, l'area di Santa Lucia, nonostante i diversi lavori svolti in passato, appare di sicuro interesse per nuove esplorazioni. In particolare: a) nuovi rilevamenti in corso di svolgimento nell'area da parte di ricercatori del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari stanno fornendo nuove chiavi interpretative per inquadrare lo stretto controllo strutturale delle mineralizzazioni, e in particolare forniscono nuovi criteri per ipotizzare la possibile presenza di corpi mineralizzati non affioranti, peraltro rinvenuti più volte in modo casuale durante i lavori minerari passati; b) investigazioni mineralogiche preliminari hanno accertato nelle mineralizzazioni la presenza di minerali (fosfati e fluorocarbonati) di Terre Rare e di minerali di altri elementi strategici come Ni, Co e Bi. La superfice dell'area da investigare è stimabile in circa 30 km^2.

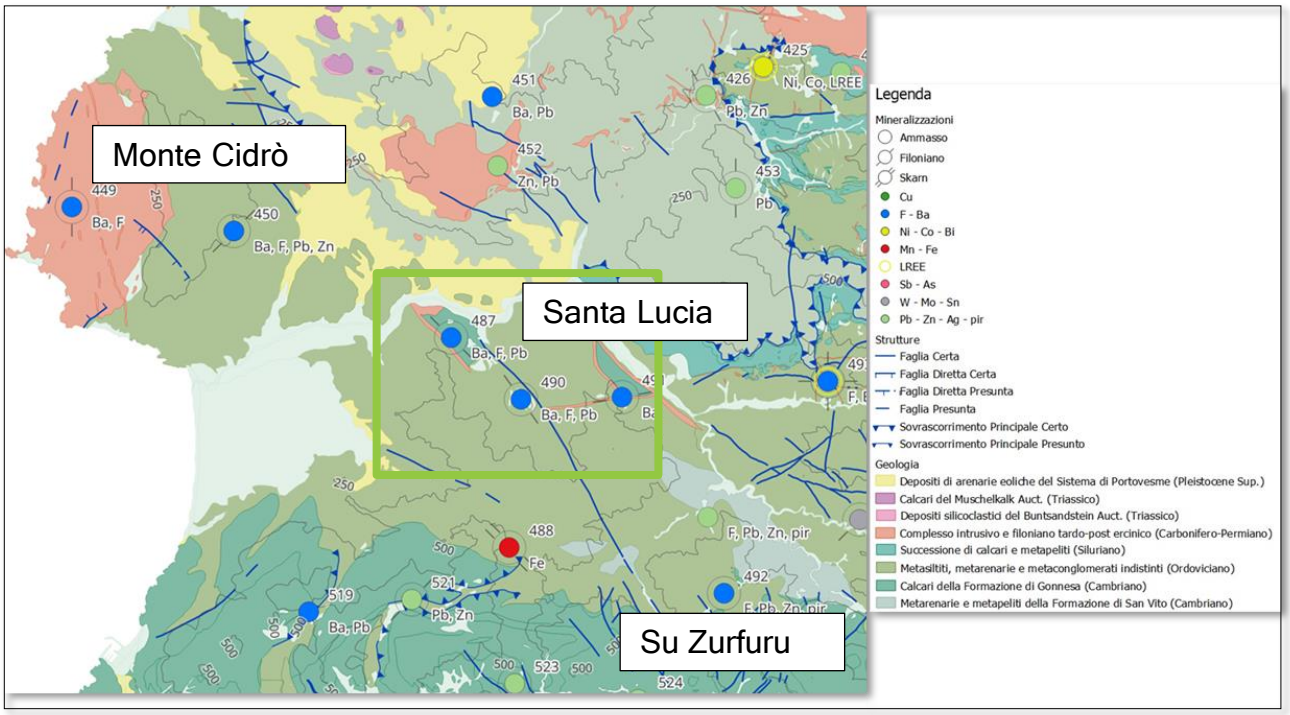

Figura 36 - Settore di Santa Lucia (Fluminimaggiore).

Attività previste

1) ACQUISIZIONE, VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

Per i settori precedentemente descritti sono disponibili alcuni studi scientifici e una più estesa documentazione tecnico-mineraria sulle attività di ricerca e sfruttamento passate, reperibili in Sardegna presso diverse fonti, in particolare presso gli uffici dell'Assessorato

all'Industria – ex Distretto minerario di Iglesias e gli archivi ricerche Ente Minerario Sardo e Progemisa SpA, mentre diverse documentazioni sono già disponibili presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari. Lo studio e la rivalutazione critica di questi materiali saranno fondamentali per indirizzare le fasi operative della prospezione.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Le attività di terreno prevederanno rilievi di dettaglio e acquisizione sistematica di campioni nelle aree dei diversi settori proposti interessate in passato dai lavori minerari di esplorazione e coltivazione delle mineralizzazioni a fluorite-barite, includendo campionature sugli affioramenti mineralizzati, nelle discariche minerarie e all'interno delle gallerie attualmente accessibili. Dato lo stretto controllo strutturale delle mineralizzazioni in tutti i settori considerati, i rilievi di dettaglio saranno finalizzati all'interpretazione strutturale dei campi di fratture. In tutte le aree da investigare saranno inizialmente previste semplici campionature al martello e, nei principali affioramenti mineralizzati si effettueranno campionature a canaletta, sempre al martello, del tipo *chip-channel*; potranno essere previsti prelievi di minicarote (10-20 cm di lunghezza, 2,5-5 cm di diametro) con carotiere portatile. Tutte le campionature sul terreno saranno assistite dall'utilizzo di strumenti portatili disponibili presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche (DSCG) dell'Università di Cagliari (spettrometro pXRF per la determinazione semiquantitativa dei contenuti in elementi metallici delle rocce; rilevatore di raggi gamma portatile per l'individuazione nelle rocce di livelli a più alta radioattività naturale; lampada UV da mineralogia a frequenza regolabile, per l'individuazione dei minerali fluorescenti come le fluoriti in sotterraneo; carotiere portatile). Nelle zone di maggiore interesse, in presenza di condizioni favorevoli (es. settore Nord di Bruncu Molentinu), si potranno sviluppare indagini geognostiche con l'utilizzo di metodi geofisici appropriati (stendimenti sismici e geoelettrici, etc.) e potranno essere previste campionature dimensionalmente più consistenti per l'effettuazione di prove di arricchimento in laboratorio.

3) ANALISI DI LABORATORIO ED ELABORAZIONE DEI DATI

I campioni prelevati nei settori investigati saranno caratterizzati dal punto di vista mineralogico e chimico per accertare la presenza e i contenuti di materie prime critiche/strategiche e a definirne la distribuzione nelle diverse fasi minerali. Il protocollo analitico che si intende proporre prevede l'esecuzione in parallelo dei seguenti studi ed analisi:

a) Studi minero-petrografici sui campioni di rocce e mineralizzazioni presso i laboratori DSCG: studio di preparati analitici (sezioni sottili, fette lucide, mounts anche con inglobamento in resina) in microscopia ottica e digitale in luce polarizzata trasmessa e riflessa, per la prima identificazione dei minerali metallici e non-metallici e delle loro relazioni geometrico-spaziali; studi in microscopia elettronica SEM-EDS presso i laboratori DSCG su campioni selezionati per approfondire le analisi precedenti e ottenere composizioni chimiche semiquantitative dei minerali

e mappe composizionali per vedere la distribuzione in essi degli elementi di interesse;

b) Studi in diffrattometria X (XRD) su polveri presso i laboratori DSCG, per una definizione quali/quantitativa della composizione mineralogica dei campioni prelevati;

c) Analisi chimiche bulk per elementi maggiori, minori e in tracce su da effettuarsi presso laboratori internazionali certificati con metodiche analitiche appropriate (XRF, ICP-MS, etc.) su aliquote rappresentative dei campioni prelevati.

d) Prove preliminari di arricchimento su campionature rappresentative delle mineralizzazioni a fluorite e barite, da effettuarsi in collaborazione con i laboratori di trattamento minerali presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università di Cagliari. Le prove di arricchimento in laboratorio per via idrogravimetrica e per flottazione, sempre supportate da opportune caratterizzazioni mineralogiche e chimiche, permetteranno di ottenere dati preliminari per identificare il potenziale economico e il miglior ambito di applicazione commerciale e tecnologico delle mineralizzazioni.

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

I dati acquisiti nel corso della prospezione saranno organizzati secondo più livelli:

- tramite schede di rilevamento relative alle principali situazioni mineralizzate rivisitate e/o di nuova identificazione;
- tramite un database geochimico comprensivo delle campionature effettuate;
- tramite restituzione digitale QGIS su cartografia geologica dei dati acquisiti.

Si provvederà inoltre ad un rapporto finale riassuntivo dei risultati ottenuti – con interpretazione degli stessi in relazione alla geologia e giacimentologia delle aree investigate e al più ampio quadro metallogenico regionale.

Tutti i dati saranno raccolti e gestiti secondo le specifiche comuni elaborate dal coordinamento e decritte nel capitolo 4. La destinazione finale è rappresentata dal database nazionale GeMMA dove i dati del progetto di ricerca saranno implementati, con cadenza trimestrale, nella specifica sezione dedicata.

Possibile ampliamento nelle Fasi 2 e 3

In funzione dei risultati della prima fase di indagini, sarà possibile prevedere la continuazione dell'esplorazione per la ricerca di possibili estensioni areali ed in profondità delle mineralizzazioni e l'applicazione di metodologie di prospezione e analisi strumentale consolidate e di nuova concezione. Queste operazioni possono comprendere sia metodi indiretti (geofisica) sia accertamenti diretti (sondaggi, trincee, etc.), sia nei lavori minerari accessibili in sottosuolo, sia in superficie.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei sistemi mineralizzati a fluorite-barite nel distretto minerario sardo
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali (Ente Minerario Sardo/Progemisa/IGEA, Associazione mineraria sarda, Archivi regionali)
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.

Sociale:

- Rivitalizzazione e potenziamento della specializzazione mineraria/geotecnica dell'Istituto di Istruzione Superiore Giorgio Asproni - Enrico Fermi di Iglesias, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Possibilità di coinvolgimento delle aziende sarde specializzate sia nell'estrazione sia nel trattamento della fluorite
- Possibile destinazione dei minerali metalliferi verso lo smelter di Portovesme
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali, in particolare per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione

- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

Bibliografia

Bakos F. 1972. *Le mineralizzazioni baritico-fluoritiche di Bruncu Molentinu*. Atti della Giornata di Studio sulle Fluoriti Italiane. Torino 16 dicembre 1972. Associazione Mineraria Subalpina.

Bakos F. e Valera R. 1972. *Il campo filoniano di Castel Medusa (Asuni- Sardegna Centrale).* Atti della Giornata di Studio sulle Fluoriti Italiane. Torino 16 dicembre 1972. Associazione Mineraria Subalpina.

Bakos F. e Valera R. 1972.*Le mineralizzazioni fluoritiche di Santa Lucia (Fluminimaggiore, Sud Sardegna).* Atti della Giornata di Studio sulle Fluoriti Italiane. Torino 16 dicembre 1972. Associazione Mineraria Subalpina.

Boni M., Balassone G., Fedele L., Mondillo N. (2009). *Post-Variscan hydrothermal activity and ore deposits in southern Sardinia (Italy): selected examples from Gerrei (Silius vein system) and Iglesiente district.* Per. Mineral., 78, 19-35.

Castorina et alii 2020. *Rare earth element and Sr-Nd isotopic evidence for the origin of fluorite from the Silius vein deposit (southeastern Sardinia, Italy)*. Journal of Geochemical Exploration 215, 106535.

Funedda A., Meloni M. A., Loi A. (2015) *Geology of the Variscan basement of the Laconi-Asuni area (central Sardinia, Italy): the core of a regional antiform refolding a tectonic nappe stack.* Journal of Maps, 11:1, 146-156

Mondillo N, Boni M, Balassone G, Spoleto S, Stellato F, Marino A, Santoro L, Spratt J (2016) Rare earth elements (REE)—Minerals in the Silius fluorite vein system (Sardinia, Italy). Ore Geol Rev 74, 211–224

Mondillo N, Balassone G, Boni M, Marino A, Arfè G (2017) *Evaluation of the amount of rare earth elements -REE in the Silius fluorite vein system (SE Sardinia, Italy).* Per Mineral 86: 121-132

13) MINERALIZZAZIONI A TUNGSTENO (STAGNO, ARSENICO, BISMUTO, MOLIBDENO) LEGATE AI GRANITI, SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE.

Stato dell'arte

Materie prime principali: tungsteno, arsenico, stagno

Materie Prime Critiche: tungsteno, arsenico, bismuto

Materie Prime Strategiche: tungsteno, bismuto

Altre possibili Materie Prime: molibdeno, piombo, zinco, rame, oro, tellurio

Contesto geologico-giacimentologico: le mineralizzazioni a Tungsteno costituiscono un tema di esplorazione relativamente poco sviluppato in Sardegna, nonostante la presenza di mineralizzazioni a wolframite (tungstato di ferro e manganese) e scheelite (tungstato di calcio) nelle rocce paleozoiche sarde sia conosciuta dai primi decenni del '900. La Sardegna sud-occidentale possiede alcune delle manifestazioni più rilevanti e di maggiore interesse per gli scopi del Piano di Esplorazione Nazionale: si tratta di manifestazioni in passato oggetto di sporadiche ricerche, o associate a mineralizzazioni sfruttate per altri elementi, come il Piombo, lo Zinco, il Rame e il Molibdeno. Le ricerche giacimentologiche degli ultimi anni hanno consolidato il quadro di conoscenze relative alla genesi ed età di queste mineralizzazioni, nella Sardegna sud-occidentale riconducibili alla messa in posto nel Permiano inferiore (circa 290-285 milioni di anni) di intrusioni di graniti a metalli rari (massiccio del Monte Linas; massiccio del Sulcis), geochimicamente ricchi in fluoro e "specializzati" in elementi metallici come Stagno, Tungsteno, Molibdeno, Bismuto, ed altri. Alla messa in posto dei graniti sono riferibili più tipologie di mineralizzazioni legate agli effetti termici dei magmi e alle circolazioni di fluidi idrotermali ad essi connesse: *skarn*, *greisen*, vene e filoni idrotermali. Le mineralizzazioni possono essere ospitate all'interno dei graniti (greisen a molibdenite) o, più frequentemente, nelle rocce paleozoiche incassanti, specie se si tratta di litologie chimicamente reattive, come i calcari, frequentemente trasformati in skarn a silicati di Calcio; in diversi casi si assiste a manifestazioni più propriamente idrotermali, con sistemi di vene che si mettono in posto lungo strutture tettoniche anche legate alla messa in posto dei corpi granitici.

Contesto minerario: le mineralizzazioni a tungsteno della Sardegna sud-occidentale sono state oggetto di ricerche per wolframite nel settore del Monte Linas (Nuraghe Togoro, Gonnosfanadiga; Rio Narti, Villacidro) e per scheelite nel Sulcis (settore di Monte Tamara, Nuxis). In entrambe queste aree le ricerche sono state limitate a trincee e poche gallerie di esplorazione: allo stesso tempo, in alcune miniere operative negli stessi settori gli stessi minerali venivano ripetutamente segnalati in associazione a *greisen* a molibdenite (miniera Perd'e'Pibera nel Linas) e a *skarn* a "solfuri misti" di Pb-Zn-Cu (miniera Sa Marchesa, nel Sulcis) o a magnetite (miniera San Leone, sempre nel Sulcis). La scheelite in realtà è stata individuata e scoperta nelle miniere della Sardegna sud-occidentale piuttosto tardivamente (fine anni '60), data la difficoltà a distinguerla dai minerali di ganga come il quarzo. I numerosi recenti ritrovamenti di questo minerale in diverse altre

località della Sardegna sud-occidentale ne confermano la diffusione e ne fanno un significativo tema di prospezione geomineraria. (Figura 37)

Potenzialità dell'area

Nell'impostazione di un tema di ricerca per Tungsteno ed elementi associati nella Sardegna sud-occidentale si propone di partire dalle principali aree oggetto di ricerche precedenti, in particolare il settore di Monte Tamara (Sulcis occidentale) e quello del Monte Linas.

1) **Area di Monte Tamara –** L'area è situata presso il comune di Nuxis (provincia del Sud Sardegna), ed è caratterizzata da una diffusa presenza di *skarn* a "solfuri misti" di Pb-Zn-Cu, storicamente sfruttati nelle miniere di San Pietro e di Sa Marchesa, rispettivamente nei settori sud-occidentali e settentrionali del rilievo calcareo di Monte Tamara orientato circa Nord-Sud Queste mineralizzazioni sono principalmente localizzate lungo i contatti tra rocce carbonatiche della Formazione di Gonnesa ("metallifero auct.) e rocce silicoclastiche della serie cambro-ordoviciana del Sulcis, non lontano dal contatto con i graniti del Sulcis che affiorano più a sud e ad est in regione Pantaleo (Monte Lattias). I corpi mineralizzati appaiono controllati strutturalmente, spesso associati a faglie a giacitura sub-verticale. Oltre che nelle due miniere, nell'area sono presenti numerose ricerche, sia per "solfuri misti" o magnetite (S'Ega De Is Frissas), sia, in tempi più recenti, per Tungsteno ed elementi associati: Sinibidraxiu, Conca Antoni Airi, Is Lassinus. Nel complesso, si distinguono due stili di mineralizzazione: a) scheelite+arsenopirite+solfuri di Zn-Pb-Fe-Cu con ganga a quarzo-calcite-wollastonite in colonne entro i calcari (Sinibidraxiu); b) banchi di skarn a pirosseno-granato-epidoto fino a 5 metri di spessore che includono fasce a magnetite, solfuri di Zn-Pb-Cu-Fe e disseminazioni di scheelite-arsenopirite-cassiterite-solfosali di Bi-stannite-molibdenite (Sa Marchesa, San Pietro, Conca Antoni Airi, Is Lassinus). Esistono alcune segnalazioni di altre mineralizzazioni tipo skarn a ferro (magnetite) ospitate nelle unità silicoclastiche Ordoviciane in località S'Ega De Is Frissas, caratterizzate da contenuti di Tungsteno, Arsenico, Stagno, Bismuto. Altre località poco esplorate e con potenziale interesse per Tungsteno-Arsenico, Molibdeno e Stagno sono ubicate a sud, nelle località Sedda Tiranna, Conca de Cerbu e Arcu Sa Bella. In quest'ultima area, analisi su roccia totale in campioni di skarn hanno dato anomalie fino al 12% in Tungsteno e 0.4% in Stagno. La ricerca di Sinibidraxiu (Figura 38b) è ubicata nella porzione nord del rilievo carbonatico di Monte Tamara. Era proprietà della società Rumianca che estraeva Arsenico, qui particolarmente abbondante, tramite una galleria principale collegata un fornello verticale di 60 metri di profondità. Nel complesso, una situazione di grande interesse, in particolare per le possibili applicazioni geofisiche tese ad identificare una prosecuzione del corpo mineralizzato verso il basso. La vecchia miniera di Zn-Pb-Fe di San Pietro (Figura 38°) consiste in una serie di sei livelli accessibili da quattro gallerie principali di massimo 500 metri di lunghezza e collegate da una serie di fornelli verticali per una profondità totale di 70 metri (303-377 metri s.l.m.). Le ricerche di Is Lassinus e Conca Antoni Airi consistono in cinque livelli all'estremità sud-est del rilievo di Monte Tamara (808-618 metri s.l.m.).

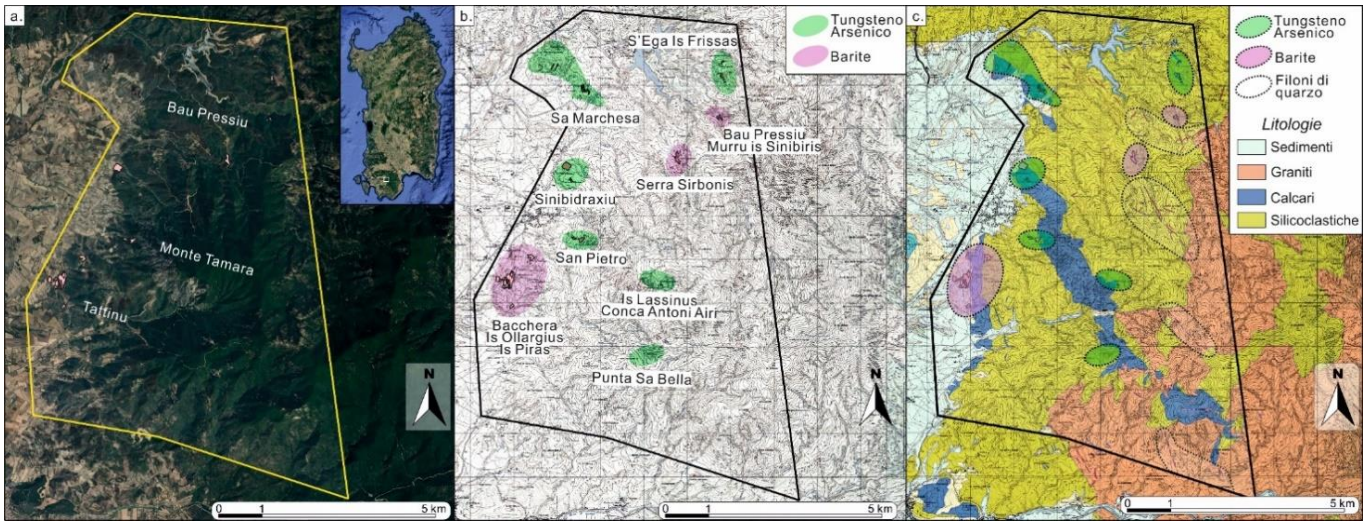

Figura 37 - Area di Nuxis-Acquacadda, Sardegna sud-ovest, a) perimetrazione dell'area di indagine; b) le principali zone mineralizzate; in c) mappa litologica dell'area di indagine e delle zone limitrofe, in cui sono osservabili le relazioni tra graniti e calcari nei depositi tipo skarn a tungsteno-arsenico. In evidenza, nella stessa area, la presenza di mineralizzazioni (karst e idrotermali) a barite.

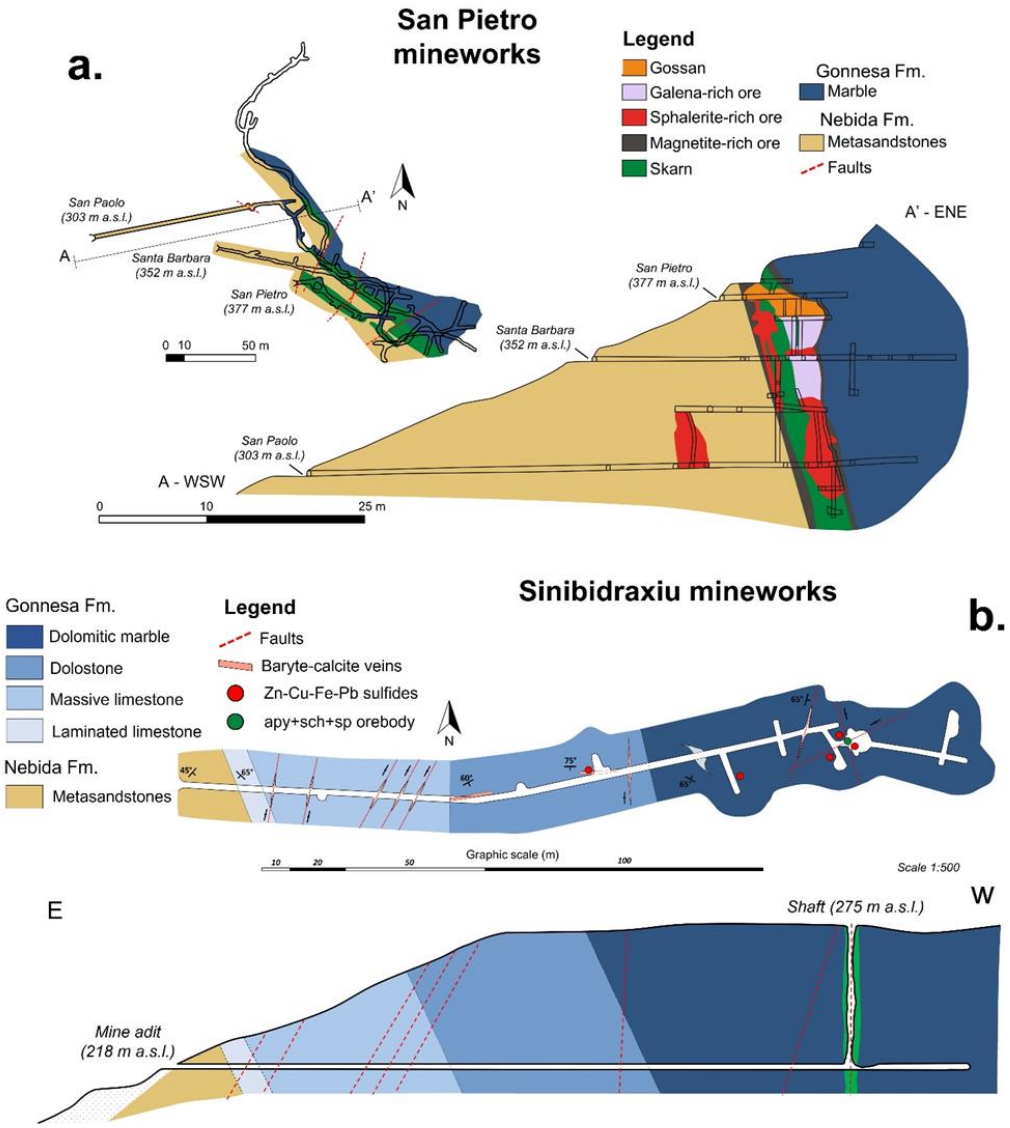

Figura 38 - Lavori minerari presso la miniera di San Pietro (a) e la ricerca di Sinibidraxiu (b)

2) **Area del Monte Linas.** Il settore del Monte Linas è conosciuto per la ricchezza e varietà delle sue mineralizzazioni, che includono numerose manifestazioni a materie prime critiche e strategiche. Le principali mineralizzazioni conosciute a Tungsteno sono vene a wolframite-scheelite presenti nei settori di Nuraghe Togoro e di Rio Narti (Figura 39). A Nuraghe Togoro, a Nord del Monte Linas, è presente un fascio di vene a quarzo e wolframite con scheelite ospitato in arenarie e siltiti ordoviciane. Il campo mineralizzato ha un'ampiezza di un centinaio di metri e si estende per almeno 2 km: le vene hanno dimensioni da decimetriche a metriche e mostrano zone di arricchimento a wolframite in cristalli anche decimetrici; oltre al minerale di Tungsteno, sono presenti abbondanti minerali di Bismuto e Tellurio, Oro nativo (circa 1 grammo tonnellata da analisi preliminari su campioni mineralizzati) e accessorie calcopirite e molibdenite. La mineralizzazione è interessata da limitati lavori di ricerca (tre livelli di trincee e alcune piccole gallerie) risalenti agli anni '30, ma per dimensioni e continuità spaziale appare sicuramente sottoesplorato. Considerazioni simili possono essere fatti per la mineralizzazione di Rio Narti, ad Est del Monte Linas, con vene di quarzo e wolframite legate ad un *greisen* con molibdenite, esplorate con qualche trincea.

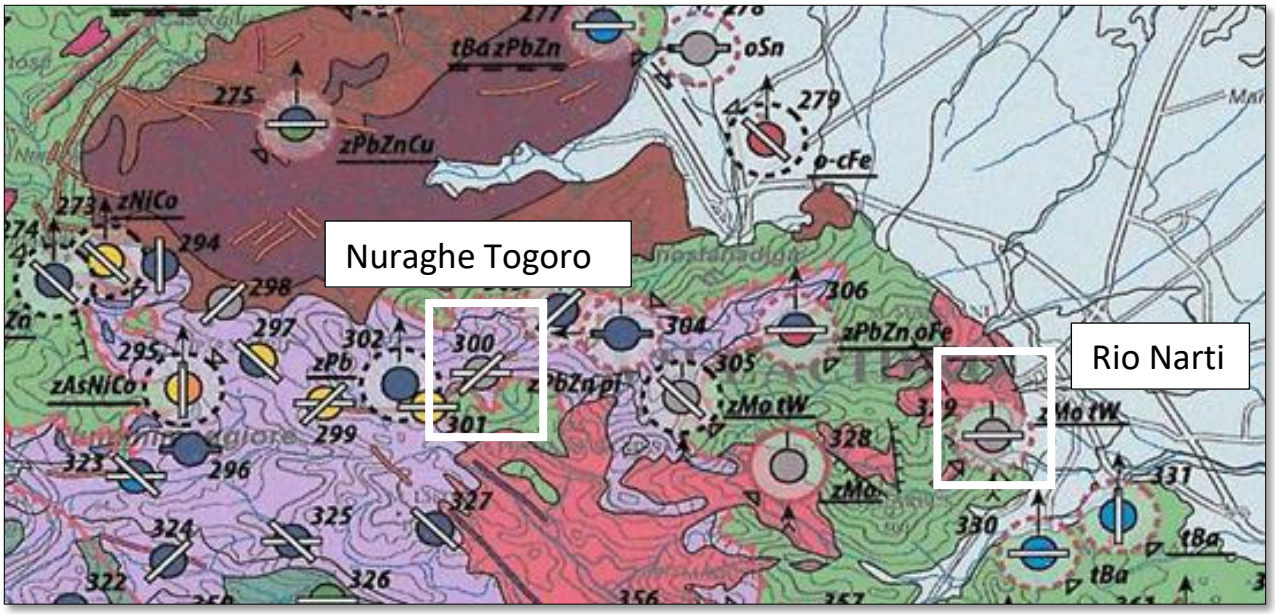

Figura 39 - Mineralizzazioni a Tungsteno nel settore del Monte Linas

Attività previste

1) ACQUISIZIONE, VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI

I settori prescelti per la prospezione sono stati oggetto di alcuni studi scientifici recenti, mentre una più estesa documentazione tecnico-mineraria sulle attività di ricerca e sfruttamento passate, è reperibile presso gli uffici dell'Assessorato all'Industria – ex Distretto minerario di Iglesias, gli archivi ricerche Ente Minerario Sardo e Progemisa SpA e gli archivi IGEA di Monteponi-Iglesias: diverse documentazioni sono già disponibili presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari. Lo

studio e la rivalutazione critica di questi materiali saranno fondamentali per indirizzare le fasi operative della prospezione.

2) ATTIVITA' SUL TERRENO

Le attività di terreno prevederanno rilievi di dettaglio e acquisizione sistematica di campioni nelle aree dei diversi settori proposti interessate in passato dai lavori minerari di esplorazione e coltivazione, includendo campionature sugli affioramenti mineralizzati, nelle discariche minerarie e all'interno delle gallerie attualmente accessibili. Dato lo stretto controllo strutturale delle mineralizzazioni in tutti i settori considerati, i rilievi di dettaglio saranno anche finalizzati all'interpretazione strutturale dei campi di fratture. In tutte le aree da investigare saranno inizialmente previste semplici campionature al martello e, nei principali affioramenti mineralizzati si effettueranno campionature a canaletta, sempre al martello, del tipo chip-channel; potranno essere previsti prelievi di minicarote (10-20 cm di lunghezza, 2,5-5 cm di diametro) con carotiere portatile. Tutte le campionature sul terreno saranno assistite dall'utilizzo di strumenti portatili disponibili presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche (DSCG) dell'Università di Cagliari (spettrometro Pxrf per la determinazione semiquantitativa dei contenuti in elementi metallici delle rocce; rilevatore di raggi gamma portatile per l'individuazione nelle rocce di livelli a più alta radioattività naturale; lampada UV da mineralogia a frequenza regolabile, per l'individuazione dei minerali fluorescenti come le scheeliti e le fluoriti in sotterraneo; carotiere portatile). Nelle zone di maggiore interesse, in presenza di condizioni favorevoli (es. settore Est del campo di Nuraghe Togoro), si potranno sviluppare indagini geognostiche con l'utilizzo di metodi geofisici appropriati (stendimenti sismici e geoelettrici, etc.). Di particolare interesse il caso di Sinibidraxiu: oltre che ai metodi geofisici tradizionali, la geometria dei lavori minerari appare favorevole anche all'utilizzo di metodi innovativi come quelli di radiografia muonica (prospezione a muoni, vedi in seguito).

3) ANALISI DI LABORATORIO ED ELABORAZIONE DEI DATI

I campioni prelevati nei settori investigati saranno caratterizzati dal punto di vista mineralogico e chimico per accertare la presenza e i contenuti di materie prime critiche/strategiche e a definirne la distribuzione nelle diverse fasi minerali. Il protocollo analitico che si intende proporre prevede l'esecuzione in parallelo dei seguenti studi ed analisi:

a) Studi minero-petrografici sui campioni di rocce e mineralizzazioni presso i laboratori DSCG: studio di preparati analitici (sezioni sottili, fette lucide, mounts anche con inglobamento in resina) in microscopia ottica e digitale in luce polarizzata trasmessa e riflessa, per la prima identificazione dei minerali metallici e non-metallici e delle loro relazioni geometrico-spaziali; studi in microscopia elettronica SEM-EDS presso i laboratori DSCG su campioni selezionati per approfondire le analisi precedenti e ottenere composizioni chimiche semiquantitative dei minerali e mappe composizionali per vedere la distribuzione in essi degli elementi di interesse;

b) Studi in diffrattometria X (XRD) su polveri presso i laboratori DSCG, per una definizione quali/quantitativa della composizione mineralogica dei campioni prelevati;

c) Analisi chimiche bulk per elementi maggiori, minori e in tracce su da effettuarsi presso laboratori internazionali certificati con metodiche analitiche appropriate (XRF, ICP-MS, etc.) su aliquote rappresentative dei campioni prelevati.

4) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

I dati acquisiti nel corso della prospezione saranno organizzati secondo più livelli:

- schede di rilevamento relative alle principali situazioni mineralizzate rivisitate e/o di nuova identificazione;
- database geochimico comprensivo delle campionature effettuate;
- restituzione digitale QGIS su cartografia geologica dei dati acquisiti;
- restituzione dei dati delle prospezioni geofisiche.

Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.
Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.
Si provvederà inoltre ad un rapporto finale riassuntivo dei risultati ottenuti - con interpretazione degli stessi in relazione alla geologia e giacimentologia delle aree investigate e al più ampio quadro metallogenico regionale - delle potenzialità e prospettive verificate per l'area investigata e delle indicazioni per possibili estensioni ed approfondimenti con prospezioni future che contemplino metodi accertamenti diretti (sondaggi, trincee, etc.), sia nei lavori minerari accessibili in sottosuolo, sia in superficie.

La radiografia muonica

La radiografia muonica, o muografia, è una tecnica di imaging non invasivo che permette indagini di tipo radiografico di strutture di grandi dimensioni. Si tratta di una tecnica simile alla radiografia a raggi X che, al posto dei raggi X generati artificialmente mediante apparati radiogeni, utilizza un flusso naturale di particelle costantemente generate nell'atmosfera terrestre, i cosiddetti muoni atmosferici. La metodologia d'indagine muografica rappresenta oggigiorno un settore in forte espansione. La ricerca potrebbe essere condotta da MuonLab S.r.l., una startup innovativa in fase di costituzione, spinoff congiunto dell'INFN e dell'Università degli Studi di Firenze, che raccoglie al suo interno il know how maturato da un solido team di ricerca con quindici anni di esperienza. Il team MuonLab ha condotto numerose attività muografiche in ambiti multidisciplinari, vulcanologico, industriale, minerario, archeologico e dell'ingegneria civile, testimoniate dalle numerose pubblicazioni su riviste scientifiche di alto livello. Nel corso di quest'attività il gruppo facente capo a MuonLab ha realizzato strumentazione muografica allo stato dell'arte, apparati di misura robusti, compatti e a basso consumo, che possono essere facilmente trasportati e installati in ambienti diversi.
Un importante studio relativo all'applicazione della tecnica di radiografia muonica in ambito minerario è stato condotto in Toscana, utilizzando uno strumento di misura relativamente piccolo. Questo studio ha permesso di sviluppare ed affinare una

metodologia in grado di fornire, in alcune settimane di misura, indicazioni affidabili sulla presenza di cavità e **corpi di densità "anomala" all'interno** di strati rocciosi dello spessore di diverse decine di metri. L'uso di strumentazione di dimensione maggiore o la possibilità di tempi di misura più lunghi permettono di estendere la stessa metodologia all'indagine di spessori superiori, fino alle centinaia di metri. misura fissando gli angoli di puntamento.
Di seguito lo schema dell'applicabilità nella miniera prescelta.

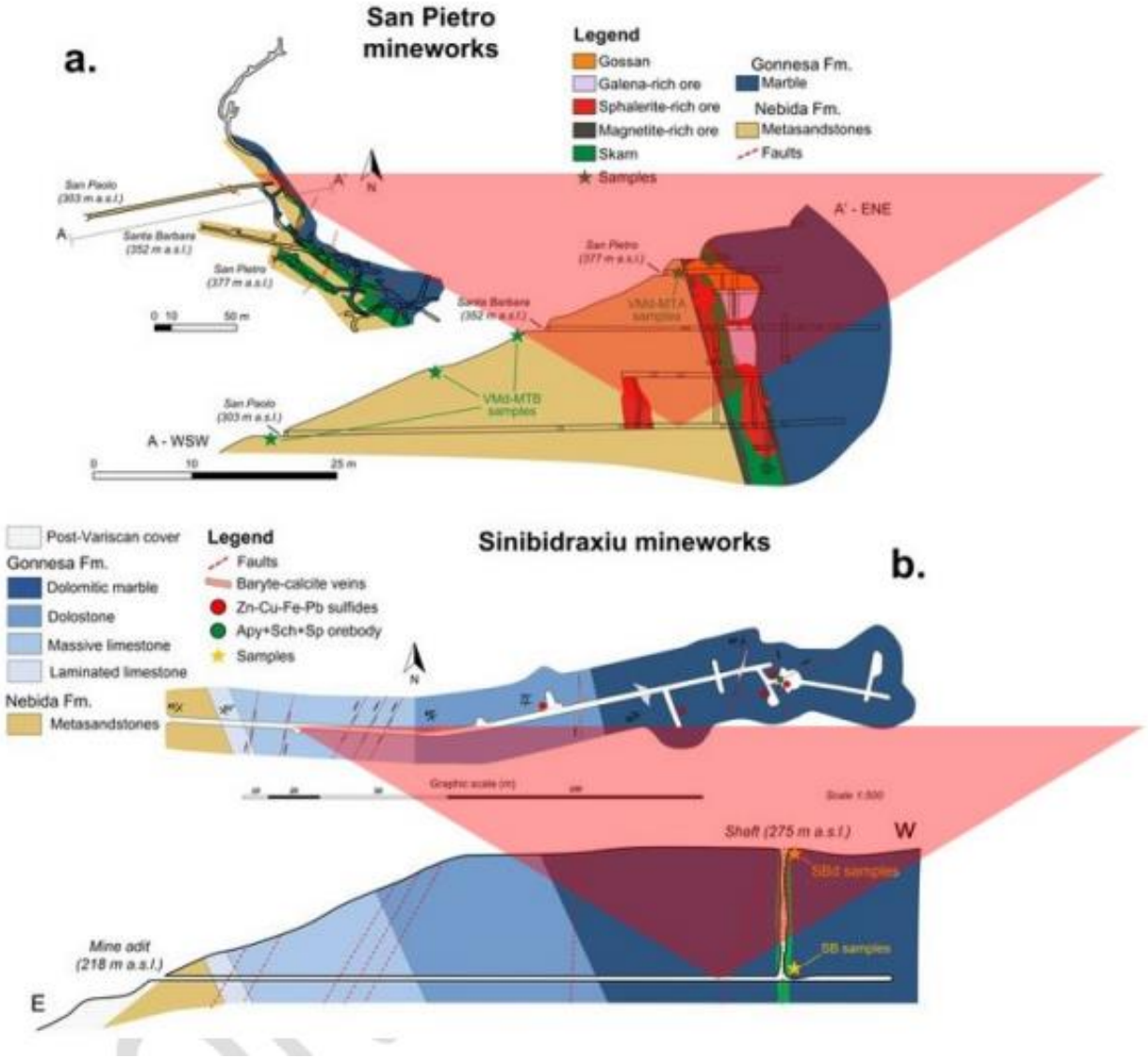

Figura 38a. Illustrazioni relative alle miniere di San Pietro (a) e Sinibidraxiu (b) in Sardegna. Alle due sezioni delle miniere sono stati sovrapposti in colorazione rossa due triangoli con angolo inferiore di 120° per rappresentare la porzione della collina che è possibile ispezionare con una singola misura con un apparato muografico installato in corrispondenza del vertice in basso del triangolo.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei sistemi mineralizzati a tungsteno nel distretto minerario sardo
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali (Ente Minerario Sardo/Progemisa/IGEA, Associazione mineraria sarda, Archivi regionali)
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.
- Sperimentazione della radiografia muonica per una miglior definizione del sistema mineralizzato e possibile applicazione in altri contesti

Sociale:

- Rivitalizzazione e potenziamento della specializzazione mineraria/geotecnica dell'Istituto di Istruzione Superiore Giorgio Asproni - Enrico Fermi di Iglesias, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali, in particolare per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria
- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

Bibliografia

Conte, A.M.; Cuccuru, S.; D'Antonio, M.; Naitza, S.; Oggiano, G.; Secchi, F.; Casini, L.; Cifelli, F. (2017) The post-collisional late Variscan ferroan granites of southern Sardinia (Italy): Inferences for inhomogeneity of lower crust. Lithos, 294–295, 263–282.

Deidda, M.; Naitza, S.M.;Moroni,M.; De Giudici, G.B.; Fancello, D.; Idini, A.; Risplendente, A. (2023). Mineralogy of the scheelite-bearing ores of Monte Tamara (SWSardinia): Insights for the evolution of a Late Variscan W-Sn skarn system. Min. Mag., 87, 86–108.

Deidda, M.L.; Fancello, D.; Moroni, M.; Naitza, S.; Scano, I. (2021) Spatial and Metallogenic Relationships between Different Hydrothermal Vein Systems in the Southern Arburèse District (SW Sardinia). Environ. Sci. Proc., 6, 13.

Naitza, S.; Conte, A.M.; Cuccuru, S.; Oggiano, G.; Secchi, F.; Tecce, F. (2017) A Late Variscan tin province associated to the ilmenite-series granites of the Sardinian Batholith (Italy): The Sn and Mo mineralization around the Monte Linas ferroan granite. Ore Geol. Rev., 80, 1259–1278.

14) MINERALIZZAZIONI A RAME, MOLIBDENO E ORO DELLA "SOGLIA DI SILIQUA" E DELLA VALLE DEL CIXERRI, SARDEGNA SUD-OCCIDENTALE.

Stato dell'arte

Materie prime principali: rame, molibdeno, oro

Materie Prime Critiche: rame

Materie Prime Strategiche: rame

Altre possibili Materie Prime: molibdeno, oro

Contesto geologico-giacimentologico: L'area proposta per le esplorazioni è localizzata presso la valle del Cixerri, nella Sardegna sud-occidentale. L'area, situata ai bordi occidentali della "fossa" (*half graben*) del Campidano, è geologicamente caratterizzata dall'interazione tra l'attività vulcanica oligo-miocenica e il basamento paleozoico. I prodotti vulcanici in particolare comprendono corpi andesitici e tonalitici sub-intrusivi e intrusivi (età 26-29 milioni di anni: Oligocene) che intrudono le rocce paleozoiche, e depositi piroclastici di flusso e sedimenti epiclastici, più recenti (miocenici?) che ricoprono basamento e vulcaniti. L'intrusione dei magmi andesitici e tonalitici a differenti profondità è stata accompagnata da una significativa attività idrotermale, testimoniata dalle particolari tipologie di alterazione delle rocce (alterazioni propilitiche e potassiche), perfettamente rientranti nelle casistiche utilizzate a scala mondiale per la definizione di sistemi mineralizzati a Rame, Molibdeno, Oro, metalli base (Pb, Zn) del tipo *porphyry copper* tipicamente associati questo tipo di vulcanismo. Nel settore sono visibili in affioramento mineralizzazioni disseminate o in vene a solfuri di Ferro, Rame, Molibdeno che hanno fatto ipotizzare la presenza in profondità di corpi mineralizzati di dimensioni maggiori, poi verificata dalle indagini geognostiche (vedi paragrafo successivo). Lo studio delle mineralizzazioni e delle alterazioni affioranti ha portato a legare le disseminazioni a minerali di Rame e Molibdeno e Oro alle alterazioni potassiche, nell'ambito di un possibile sistema mineralizzante del tipo *quartz-diorite porphyry*.

Contesto minerario: Dal punto di vista minerario, il settore è stato oggetto di prospezione a livello tattico e dettaglio da parte della Progemisa S.pA. (1988-90): la società ha eseguito un rilevamento geostrutturale, una campagna di prospezione geochimica a livello tattico (su roccia e su suoli), una serie di sondaggi diamantati (1988-89, e successivamente1990), e una campagna geofisica (magnetometria e polarizzazione indotta), allo scopo di definire le caratteristiche e le potenzialità economiche delle manifestazioni a solfuri allora conosciute (Figura 40). Le indagini hanno coperto in particolare l'area compresa tra Monte Silixianu, Monte Idda e Monte Perdosu (Figura 41 e Figura 42), nella cosiddetta "soglia di Siliqua", l'alto morfologico che costituisce l'accesso alla valle del Cixerri. I risultati delle prospezioni hanno essenzialmente evidenziato delle mineralizzazioni disseminate a basso tenore (intorno a 0,4 % in Rame, circa 1 grammo/tonnellata per l'Oro).

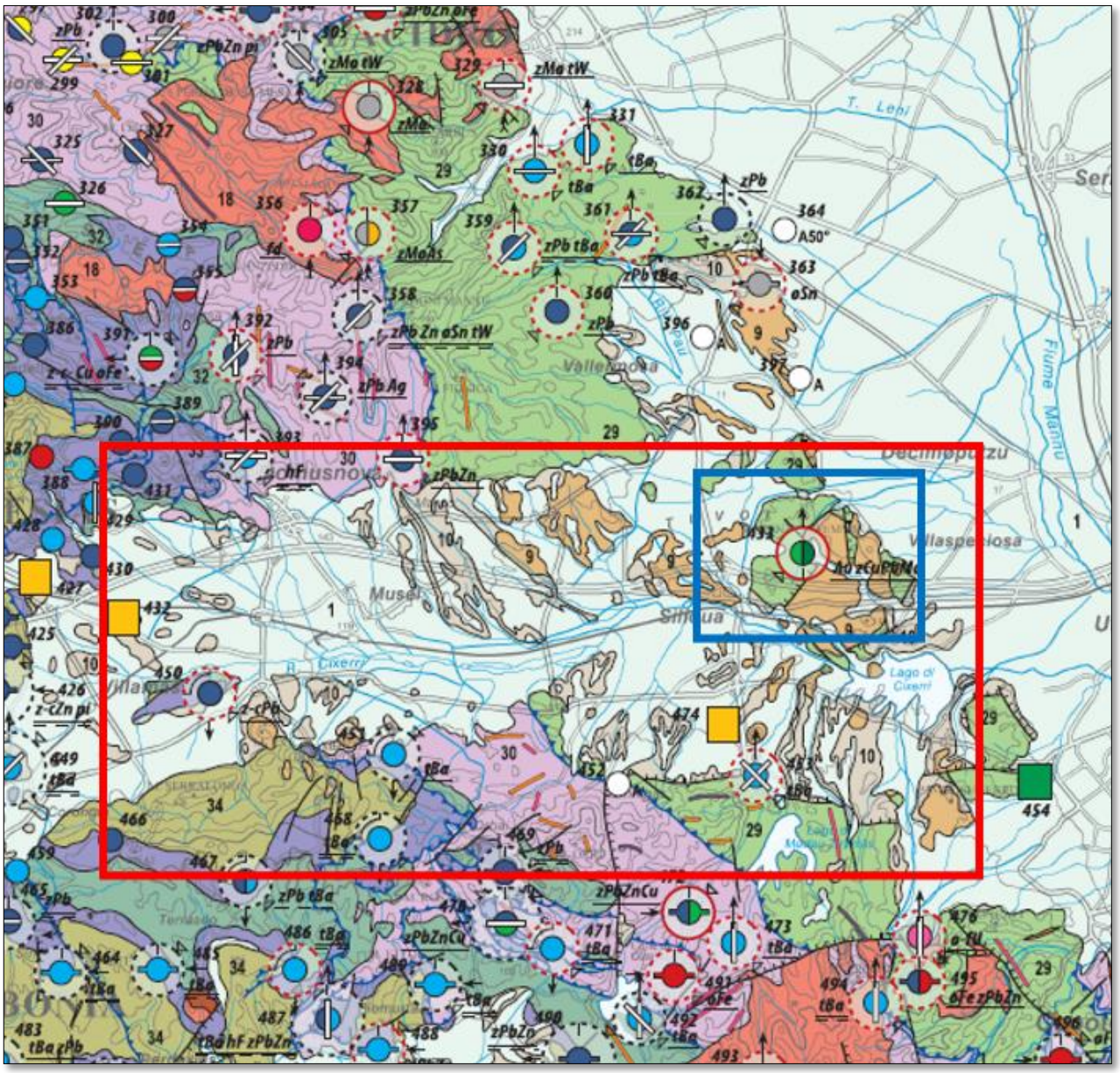

Figura 40 - Area di interesse per le esplorazioni. Riquadro azzurro: settore di Vallermosa-Siliqua precedentemente investigato da Progemisa SpA; riquadro rosso: area proposta per un airborne survey nell'ambito del Programma Nazionale di Esplorazione. Formazioni geologiche all'interno dell'area proposta: 1. Depositi continentali recenti e attuali. Quaternario. 9. Vulcaniti: lave quarzo-andesitico-tonalitico-dacitiche in corpi ipoabissali con diffuse alterazioni e presenza di mineralizzazioni a Cu, Mo, Au.; piroclastiti riolitico-riodacitiche. Oligocene-Miocene inf. 10. Depositi continentali arenaceo-conglomeratici. 29. Successione terrigena alloctona pre-discordanza Sarda (Unità tettonica Arburese), con metarenarie, quarziti e metapeliti. Cambriano-Ordoviciano inf. 30. Successione terrigena e carbonatica autoctona post-discordanza Sarda (Zona Esterna): metarenarie, metaconglomerati, metapeliti, black shales carboniosi, metacalcari. Ordoviciano m. - Devoniano inf. 32-33-34. Successione terrigena e carbonatica pre-discordanza Sarda: metarenarie e calcari (34), calcari e dolomie (33), metapeliti (32). Cambriano inf. - Ordoviciano inf. (

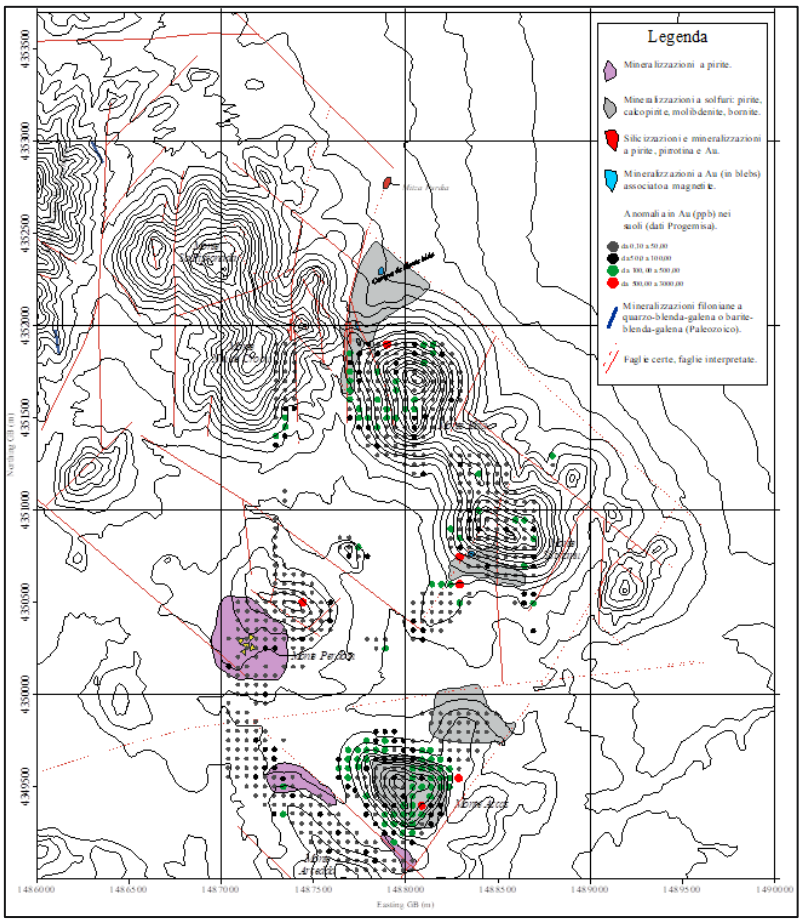

Figura 41 - Mappa geochimica dei suoli Progemisa SpA (1989-90).

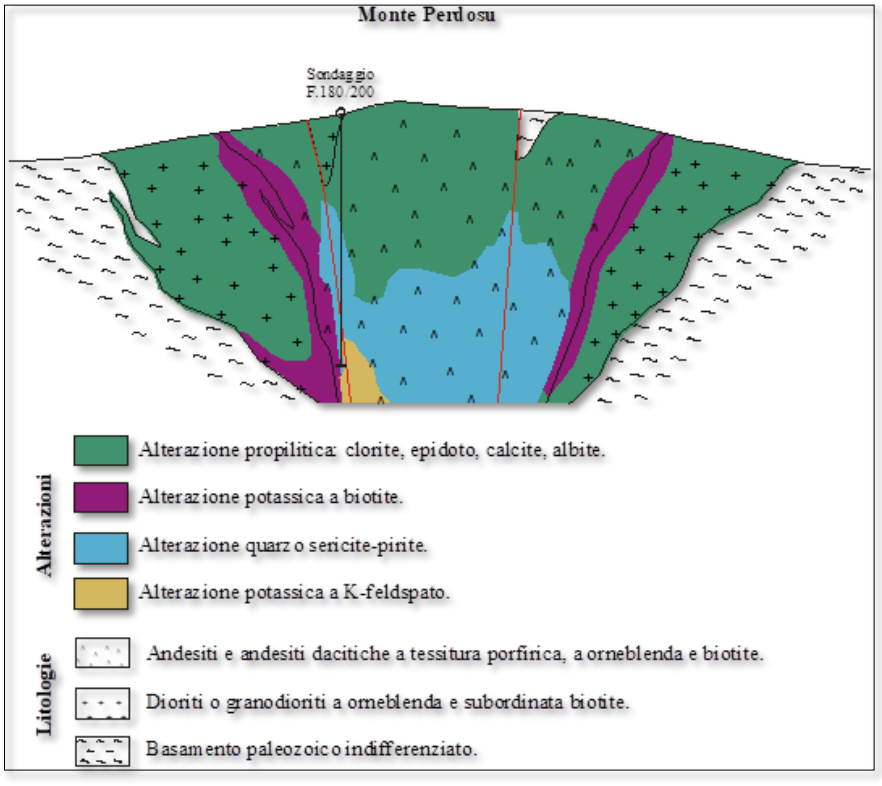

Figura 42 - Schema di alterazione interpretato in profondità sulla base dei sondaggi eseguiti nel settore dell'intrusione di Monte Perdosu

Potenzialità dell'area

Gli studi e le prospezioni condotte da Progemisa SpA hanno evidenziato una buona potenzialità di tutta l'area, ma si sono focalizzati nel settore ristretto della "soglia di Siliqua". Le mineralizzazioni direttamente riconosciute si sono rivelate a basso tenore, ma sono certamente interessanti alla luce delle problematiche attuali sulle materie prime critiche e strategiche. Ulteriori indagini geofisiche col metodo a polarizzazione indotta sono state effettuate nel 2000 dalla società Sardinia Gold Mining in un settore ristretto a Nord di Monte Idda, individuando corpi mineralizzati a bassa profondità. Complessivamente, dai risultati di queste campagne emergono: a) la possibilità della presenza di ulteriori corpi non identificati, sempre a bassa profondità e a più alto tenore; b) la presenza probabile di simili stock magmatici sub-intrusivi al di sotto delle coperture piroclastiche e dei sedimenti recenti della valle del Cixerri, supportata dai dati geologici e della mappatura delle alterazioni. Appare quindi di particolare interesse una esplorazione su un'area più vasta, sia per estendere le investigazioni alle aree attorno alla "soglia di Siliqua", sia per acquisire nuovi dati per meglio focalizzare i settori precedentemente investigati, utilizzando i metodi della prospezione geofisica AEM per ricavare modelli 3D del sottosuolo.

Attività previste

1) ACQUISIZIONE, VALUTAZIONE E SINTESI DEGLI STUDI PREGRESSI.
   I dati pregressi sugli studi ed esplorazioni nell'area di indagine, in particolare quelli relativi alle prospezioni Progemisa SpA e Sardinia Gold Mining saranno preliminarmente acquisiti e sottoposti a valutazione critica, per indirizzare le diverse fasi operative.

2) PROSPEZIONE GEOFISICA AEM.
   Acquisizione dati geofisici tramite metodologia elettromagnetica elitrasportata AEM con strumentazioni disponibili presso il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari. In una prima ipotesi esemplificativa, l'area del Cixerri potrebbe essere divisa in tre settori pensati per essere volati con un grado decrescente di priorità (Figura 43); le acquisizioni inizierebbero nell'area 1 (segnata in rosso in Figura 43), con una spaziatura di 100 m tra le linee di volo (equivalenti a complessivi 500 km-lineari) orientate in modo da intersecare ortogonalmente i principali lineamenti geologici e da seguire gli allineamenti delle tomografie elettriche a terra del 2000. Dai dati da elicottero verranno estratte le informazioni relative al volume di resistività elettrica della zona investigata fino ad una profondità di circa 80-100 m, e con una risoluzione laterale in superficie di approssimativamente 30 m: in linea di principio, potrebbe essere possibile estrarre anche il volume di caricabilità. Appena conclusa l'area di sorvolo di massima priorità, si passerebbe a volare sull'area 2 (segnata in verde in Figura 43) con spaziatura di 200 m, ritenuta più adatta ad un'area meno documentata con le caratteristiche di un brownfield e, successivamente, all'area 3 (segnata in giallo in Figura 43), volata con spaziatura di 250 m.
   L'acquisizione dei dati presuppone la disponibilità dell'elicottero per minimo 5 giorni: 2 per il montaggio della strumentazione sull'elicottero, 2 per la raccolta vera e propria dei dati, 1 per lo smontaggio della strumentazione.

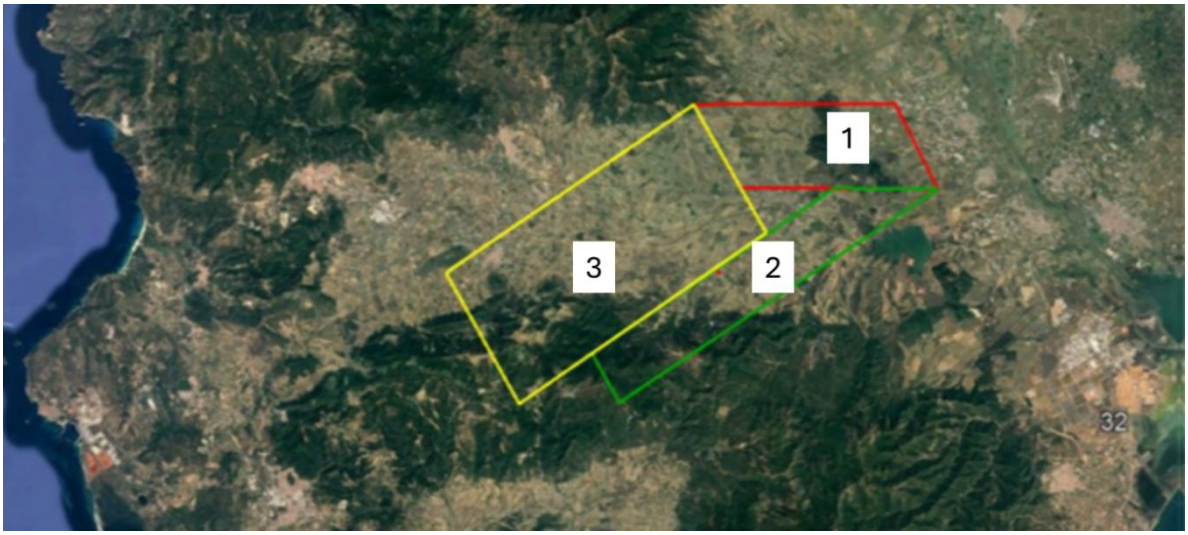

Figura 43 - Possibili Settori coperti dalla prospezione AEM: in 1, l'area della "soglia di Siliqua".

3) GESTIONE DEI DATI E RESTITUZIONE DEI RISULTATI

L'elaborazione dei dati porterà a ricostruzioni 3D di resistività e di caricabilità che potranno essere confrontate con i dati acquisiti nelle campagne precedenti, in particolare con i risultati (eventualmente riprocessati) delle misure di tomografia elettrica a terra raccolte nel 2000 nell'area della "soglia di Siliqua". Nel complesso, per la restituzione dei dati e la loro elaborazione occorrerebbero circa 4-6 settimane per dei primi risultati interpretabili. Tutti i prodotti saranno realizzati conformemente agli standard definiti dal coordinamento del progetto e con i criteri descritti nel capitolo 4.

Lo stato di avanzamento dei lavori sarò oggetto di report trimestrale.

I risultati dell'elaborazione dei dati saranno inseriti in un rapporto finale con interpretazione degli stessi in relazione alle potenzialità e prospettive verificate per l'area investigata e delle indicazioni per possibili estensioni ed approfondimenti con prospezioni future che contemplino ulteriori metodi indiretti e accertamenti diretti (sondaggi, trincee, etc.).

I dati acquisiti nel corso della prospezione saranno organizzati secondo più livelli:

- schede di rilevamento relative alle principali situazioni mineralizzate rivisitate e/o di nuova identificazione;
- database geochimico comprensivo delle campionature effettuate;
- restituzione digitale QGIS su cartografia geologica dei dati acquisiti;
- restituzione dei dati delle prospezioni geofisiche.

Si provvederà inoltre ad un rapporto finale riassuntivo dei risultati ottenuti - con interpretazione degli stessi in relazione alla geologia e giacimentologia delle aree investigate e al più ampio quadro metallogenico regionale - delle potenzialità e prospettive verificate per l'area investigata e delle indicazioni per possibili estensioni ed

approfondimenti con prospezioni future che contemplino metodi accertamenti diretti (sondaggi, trincee, etc.), sia nei lavori minerari accessibili in sottosuolo, sia in superficie.

Impatti previsti

Fase 1:

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Miglioramento significativo della comprensione dei processi metallogenici dei sistemi mineralizzati a Rame, Molibdeno, Oro, metalli base (Pb, Zn) del tipo *porphyry copper*
- Incremento delle conoscenze pregresse tramite ricorso agli archivi regionali e locali (Ente Minerario Sardo/Progemisa/IGEA, Associazione mineraria sarda, Archivi regionali)
- Revisione dei modelli concettuali con possibile estensione della ricerca in aree escluse sulla base dei vecchi modelli
- Formazione di esperti e ricercatori nel settore con crescita del capitale umano specializzato in esplorazione mineraria e discipline correlate.
- Sperimentazione dell'efficacia della geofisica aviotrasportata

Sociale:

- Rivitalizzazione e potenziamento della specializzazione mineraria/geotecnica dell'Istituto di Istruzione Superiore Giorgio Asproni - Enrico Fermi di Iglesias, con crescita delle competenze tecniche e professionali locali
- Dialogo con la popolazione e diffusione di informazioni scientificamente corrette sui criteri di sostenibilità delle attività estrattive

Fase 2-3

Scientifico-minerario e tecnologico:

- Valutazione del possibile andamento laterale e in profondità dei depositi, sulla base delle campagne di sondaggi e approfondimenti previsti.
- Sviluppo di tecnologie innovative per l'esplorazione e applicazione estensiva di intelligenza artificiale
- Collaborazioni scientifiche tra Università/EPR nazionali e internazionali

Economico e sociale:

- Aumento degli investimenti nel sistema minerario a seguito della fornitura di elementi di base sui depositi presenti nell'area di studio
- Attrazione di investimenti esteri stimolati dai risultati dell'esplorazione
- Diversificazione economica regionale con il possibile riavvio di altri settori di attività
- Aumento dell'interesse verso l'attività estrattiva e incremento dei visitatori nei parchi/musei minerari presenti
- Coinvolgimento delle aziende minerarie locali, in particolare per i minerali industriali e per l'azione di recupero dei rifiuti estrattivi
- Stimolo per la creazione e crescita di imprese locali per la fornitura di beni e servizi all'esplorazione mineraria

- Formazione di nuovi professionisti locali, laureati e diplomati, e di associazioni di professionisti specializzate in ricerca mineraria
- Creazione di nuovi posti di lavoro

Impatto ambientale:

- Sviluppo e diffusione di criteri e metodiche per ridurre al minimo l'impatto ambientale delle attività di esplorazione
- Rimozione/mitigazione delle problematiche ambientali legate alla presenza dei rifiuti estrattivi

Bibliografia

Granitzio, F. (2000). Studio dell'evoluzione di un Sistema idrotermale associato a corpi subvulcanici calcoalcalini terziari: il sistema tipo porphyry copper di Siliqua-Decimoputzu (Sardegna sudoccidentale). Modello e guide per la prospezione. Tesi di dottorato, Dipartimento di Geoingegneria e Tecnologie ambientali, XII ciclo, pp. 217+XV.

Costantini P.; (1989). "Magnetometria a terra sulle mineralizzazioni idrotermali di Monte Accas-Monte Silixianu." Progemisa S.p.A. Rapporto interno.

Progemisa S.p.A.; (1991) "Mineralizzazioni a rame di Siliqua." Relazione conclusiva, rapporto interno.

Sardinia Gold Mining (2000). Siliqua Exploration IP Survey – June 2000.

7 – PROGRAMMA NAZIONALE DI ESPLORAZIONE – PIANO DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio e la valutazione dei risultati ottenuti è fondamentale per garantire che il PNE rimanga pertinente, efficace e allineato con le priorità nazionali e con gli eventuali, e quanto mai possibili, cambiamenti nelle disponibilità estere di Materie Prime Critiche e di conseguenza nella loro criticità. Il monitoraggio costante tramite appositi indicatori permette, quindi, di riadattare il PNE alla volatilità delle condizioni geopolitiche internazionali.
Oltre agli indicatori della performance delle attività di esplorazione sarà pertanto necessario elaborare indicatori sull'andamento globale delle materie prime e sulle necessità dell'industria nazionale. Un corretto Piano di monitoraggio prevede quindi una chiara suddivisione dei ruoli, delle responsabilità e dei compiti tra i vari soggetti coinvolti.

Soggetti interessati

MINISTERI
Gli indicatori di contesto economico nazionale ed internazionale e le conseguenti necessità di orientare la ricerca mineraria saranno a cura delle Direzioni Ministeriali competenti in materia.

ISPRA
ISPRA, in quanto soggetto attuatore del PNE, richiede alle unità di ricerca e garantisce ai Ministeri, a cadenza trimestrale, gli indicatori sullo stato di avanzamento dell'esplorazione in termini di:

1. Indicatori di Avanzamento e Produttività dell'Esplorazione:

- Estensione delle aree investigate
- Estensione delle aree rilevate dal punto di vista geologico e minerario
- Numero di campionamenti geochimici effettuati
- Densità di campionamento per tipologia e unità di superfice (suolo/he; sedimento/ruscello)
- Numero di campioni prelevati per analisi mineralogiche e petrografiche
- Estensione delle aree investigate con metodi geofisici
- Numero di nuove scoperte di mineralizzazioni: Individuazione di nuove occorrenze o corpi minerari.

2. Indicatori di qualità dei dati e delle interpretazioni:

- Completezza e coerenza dei Database Geospaziali: Grado di integrazione e affidabilità dei dati geologici, geochimici e geofisici.
- Accuratezza delle Mappe Geologiche e Tematiche: Valutazione della precisione e del dettaglio delle rappresentazioni cartografiche.
- Affidabilità delle Analisi Geochimiche e Geofisiche: Risultati dei controlli di qualità (es. analisi di standard, duplicati, confronti inter-laboratorio).
- Numero di pubblicazioni scientifiche e rapporti tecnici prodotti: Disseminazione dei risultati e del know-how acquisito.
- Utilizzo di Tecnologie Innovative: Adozione e integrazione di nuove metodologie e strumenti per migliorare l'efficienza e l'accuratezza delle indagini.

In Fase 2 e 3, sulla base delle ulteriori indagini eventualemnte approvate, saranno da considerare anche:

- Qualità dei Modelli Geologici e dei Giacimenti: Grado di dettaglio e accuratezza delle ricostruzioni tridimensionali del sottosuolo e delle mineralizzazioni.
- Livello di Incertezza nelle Stime delle Risorse: Indicazione dell'affidabilità delle stime preliminari.

3. Indicatori di Impatto Ambientale e Sociale:

In Fase 1 non sono previste attività invasive per cui si ritiene possa essere rappresentativamente misurato solo il:

- Coinvolgimento delle Comunità Locali: Numero e tipo di interazioni con le comunità interessate (consultazioni, incontri informativi).

In Fase 2 e 3, se si procederà con l'avvio della campagna di sondaggi saranno da prevedere:

- Area Totale Disturbata dalle Attività di Esplorazione: Misurazione delle superfici interessate da campionamenti, trincee, sondaggi, ecc.
- Gestione dei Rifiuti di Esplorazione: Quantità e modalità di smaltimento dei rifiuti prodotti (es. fanghi di perforazione, scarti di campionamento).
- Qualità dell'Acqua e del Suolo nelle Aree di Esplorazione: Monitoraggio di eventuali contaminazioni dovute alle attività.
- Gestione del Patrimonio Culturale: Rispetto e protezione di siti archeologici o di interesse storico eventualmente presenti nelle aree di esplorazione.
- Benefici Socio-Economici per le Comunità Locali (Potenziali): Valutazione preliminare dei possibili impatti positivi (es. creazione di posti di lavoro futuri).
- Impatto sulla Biodiversità: Monitoraggio degli effetti sulle specie vegetali e animali presenti nelle aree di esplorazione.

4. Indicatori di Governance e Gestione del Programma:

- Rispetto del Budget Previsto: Controllo dei costi rispetto alle risorse allocate.
- Rispetto del Cronoprogramma: Valutazione dell'avanzamento delle attività rispetto ai tempi pianificati.
- Efficacia della Struttura Organizzativa e del Team di Esplorazione: Valutazione delle competenze e della collaborazione del personale.
- Trasparenza e Accessibilità dei Dati (nel rispetto delle normative): Modalità di condivisione delle informazioni con gli stakeholder rilevanti.
- Meccanismi di Controllo Qualità e di Revisione Interna: Procedure per garantire l'affidabilità e l'integrità del programma.
- Collaborazioni Nazionali e Internazionali Attivate: Numero e tipo di partnership con istituzioni scientifiche, università, aziende del settore.
- Sviluppo di Capacità e Formazione del Personale: Investimenti nella crescita professionale del team di esplorazione.

8 -PIANO DELLA FORMAZIONE

L'abbandono delle miniere di minerali metalliferi ha comportato un rapido declino dell'interesse verso la formazione universitaria in materie giacimentologiche, con la progressiva chiusura dei corsi di laurea in Ingegneria mineraria e in Geologia delle risorse minerarie. L'attività di ricerca scientifica è comunque continuata in molte Università, in modo discontinuo, con molte difficoltà e spesso limitata a studi accademici e geologici di base, soprattutto nell'ambito delle Scienze della Terra. Anche gli istituti tecnici ad indirizzo minerario presenti sul territorio italiano hanno subito una rimodulazione verso generici temi di scienze del territorio degli insegnamenti inerenti all'arte mineraria e finalizzati alla preparazione di personale tecnico specializzato in materie minerario-estrattive, da sempre molto apprezzato dall'industria di settore nazionale ed internazionale.
La ripartenza della cultura mineraria a livello universitario e professionale, indirizzata verso pratiche di sostenibilità e gestione responsabile delle risorse, è una misura indispensabile per poter pensare di rivitalizzare un settore che può sicuramente fornire un contributo importante all'economia nazionale.
Si consideri anche che esiste una classe di professionisti minerari che a vario titolo e livello è emigrata, ed opera in settori estrattivi all'avanguardia in Australia, Canada, USA e Sud America. Di conseguenza dispongono di un know-how di livello internazionale che, assieme alle conoscenze dei residui professionisti italiani in materia, può essere utilizzato per riattivare la cultura mineraria in Italia.
In questo contesto si ritiene necessaria anche la creazione di un'anagrafe mineraria italiana con nomi di istituzioni, università, società e professionisti che operano nel settore minerario sia in Italia sia all'estero.
La lacuna formativa si riflette nella carenza di personale specializzato presso le Pubbliche Amministrazioni a livello centrale, regionale e locale che si trovano spesso in difficoltà nella gestione delle pratiche relative al rilascio dei titoli abilitativi. **Riprendere la formazione è doveroso e tassativo.**
Nel programma è pertanto inserita una apposita Linea di Attività (LA4) dedicata alla formazione, comunicazione e riqualificazione delle risorse umane, anche tramite il supporto a master, scuole estive, moduli e-learning come quelli già prodotti e disponibili sulla piattaforma GeoSciences IR (https://geosciences-ir.it/video-webinar/).
Fondamentale è inoltre lo scambio di informazioni e best practice con gli altri servizi geologici europei ed extraeuropei (USGS, GSC Canada, Geosciences AUS). Al contrario di molti Paesi europei, l'Italia è oggi esclusa, per mancanza di competenze, dai grandi progetti di ricerca mineraria internazionale, compresi quelli che rappresentano le nuove frontiere della ricerca come lo sfruttamento dei fondali oceanici e dei corpi extraterrestri.

Obiettivo

Il piano mira a rafforzare le competenze tecnico-scientifiche del personale coinvolto nella realizzazione del PNE e, più in generale, a fornire un contributo per la crescita di una nuova classe di professionisti capaci di operare in seno al sistema minerario,

principalmente, per vocazione propria del Servizio Geologico d'Italia, nei settori della ricerca scientifica e dell'esplorazione. Il PNE può rappresentare il volano della ripartenza del settore metallifero in Italia e ci si auspica che anche l'ingegneria della coltivazione possa riprendere nuovo vigore e che nuovi insegnamenti si possano riattivare negli Atenei e nelle scuole professionali nazionali.
I percorsi formativi organizzati nell'ambito del PNE o in progetti ad esso affini, rappresentano anche una grande occasione per far crescere il personale interno alla Pubblica Amministrazione su temi andati perduti nel tempo.

Destinatari della formazione

La formazione prevista ha diversi soggetti destinatari e si svolgerà quindi con diversi livelli di approfondimento.
Principali destinatari della formazione sono:

- professionisti che operano o possono operare nel settore minerario: geologi, ingegneri, periti minerari
- funzionari della Pubblica Amministrazione a livello Statale, Regionale e Locale
- neolaureati e studenti in scienze geologiche, ingegneria mineraria e discipline affini
- diplomati e studenti degli Istituti professionali minerari
- giornalisti e divulgatori

Strumenti per la formazione

La proposta formativa si articola su diversi livelli e con diverse modalità

- Moduli e-learning: per la formazione a distanza si utilizzerà la piattaforma integrata in GeoSciences IR con GeMMA
- Master universitari: saranno stabiliti accordi di programma con gli Atenei che hanno in programma Master di primo e/o secondo livello, per fornire patrocinio, supporto scientifico, supporto per training agli studenti e anche un supporto economico. Sarà valutata la possibilità di organizzare uno specifico master dedicato all'esplorazione mineraria a cura di ISPRA.
- *Summer school* per laureati, dottorati, liberi professionisti
- *Training on the job* presso siti minerari in produzione
- *Workshop* territoriali nelle aree a maggior potenziale minerario, in collaborazione con le Università e Scuole minerarie locali
- *Workshop* orientati alla crescita delle conoscenze nell'ambito dei mass media tradizionali e digitali
- *Workshop* divulgativi per il grande pubblico, necessari per diffondere informazioni scientificamente corrette

Per quanto riguarda la **formazione a distanza**, al momento sono già pronti per l'erogazione i seguenti corsi elaborati nell'ambito del PNRR GeoSciences IR:

- Normativa Nazionale ed Europea sulle attività minerarie
- Storia mineraria d'Italia
- Giacimenti minerari
- I distretti minerari italiani: caratteristiche geologiche, risorse storiche e attuali
- Tecniche di esplorazione mineraria

- Rifiuti estrattivi: metodi di caratterizzazione e coltivazione, legislazione, riutilizzo industriale
- I minerali industriali: classificazione e distretti italiani
- Sostenibilità delle attività di cava, pietre ornamentali
- Valutazione del Ciclo Vita e impronta di carbonio
- Materie prime critiche nell'Economia Circolare
- Classificazione delle Risorse primarie e riciclate mediante lo schema quadro delle Nazioni Unite (UNFC)
- Ottimizzazione delle tecniche di coltivazione a giorno e in sotterraneo, recupero ambientale e controllo delle attività
- Idrogeologia della attività estrattive
- Attività estrattiva in aree marine nazionali ed internazionali (DSM)
- Geotermia

I corsi di formazione hanno durata compresa tra le 16 e le 22 ore, saranno fruibili previa registrazione sul portale della piattaforma GeoSciencesIR e prevedono il rilascio di crediti formativi. Ulteriori corsi di formazione, specifici sulle metodiche di esplorazione mineraria saranno realizzati durante le attività del PNE. Sono previsti anche corsi per operare in sicurezza in ambienti confinati o in aree sopraelevate

La prima ***Summer school*** sui giacimenti minerari si terrà dal 22 al 26 settembre presso il Parco Archeominerario di San Silvestro (LI), nel cuore delle Colline metallifere. È organizzata da ISPRA dell'ambito dell'alta scuola di specializzazione e realizzata insieme alla Società Geologica Italiana, la Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, il CNR e le Università di Firenze, Pisa e Bari
La Summer school ha una programmazione annuale e si svolgerà in aree diverse. Quella del 2026 è prevista in Sardegna, nel 2027 in Piemonte. Ha l'obiettivo di formare direttamente sul terreno almeno 30 studenti per ogni sessione, sulle tematiche tipiche dell'esplorazione mineraria.

A ottobre 2024 è stata organizzata una giornata formativa in campagna (**training on the job**) sulla coltivazione sostenibile delle fluoriti con discesa di 20 funzionari di ISPRA e delle Regioni, nella miniera di Genna Tres Montis accompagnati dagli Ingegneri e geologi della Mineraria Gerrei e dai Professori dell'Università di Cagliari. Una escursione formativa è prevista a luglio 2025 presso le vecchie miniere di Allumiere (RM). La formazione in campagna per il 2026 e anni seguenti è in via di programmazione, con coinvolgimento anche di altre realtà operative soprattutto nell'estrazione di minerali industriali.

Per la formazione dei comunicatori la prima giornata formativa riservata ai **giornalisti** si terrà a settembre 2025. A questa seguiranno appuntamenti annuali su tematiche da concordare con l'Ordine dei Giornalisti

9 – L'IMPORTANZA DELLA DISSEMINAZIONE: IL PIANO DELLA COMUNICAZIONE

L'estrazione mineraria è una attività a impatto ambientale e sociale potenzialmente elevato, trattandosi del prelievo di materie non rinnovabili è evidente che non può esistere un impatto zero. In realtà l'estrazione del capitale naturale geologico si configura come una trasformazione in beni più o meno essenziali per lo sviluppo delle comunità umane. La mitigazione del conflitto tra necessità di prelievo delle risorse e la protezione dell'ambiente e delle condizioni delle comunità locali è un imperativo irrinunciabile e uno dei fondamenti del Critical Raw Materials Act. La ricerca della sostenibilità e il coinvolgimento delle comunità locali sono quindi processi ineluttabili che necessitano di una adeguata comunicazione.
Di seguito si riportano i punti fondamentali del Piano di Comunicazione che accompagnerà il PNE

Obiettivi e utenti della Comunicazione

L'obiettivo del piano di comunicazione è la corretta e trasparente divulgazione a tutti gli utenti delle finalità del PNE. Mira a favorire il consenso pubblico al Programma Nazionale di Esplorazione evidenziando come sia indispensabile per partecipare allo sforzo europeo di mitigazione della dipendenza dalle forniture estere dei materiali indispensabili al nuovo modello di sviluppo decarbonizzato che sta perseguendo l'UE. Il PNE e l'individuazione delle aree a maggior potenziale minerario è strategico non solo per la transizione energetica, ma anche per la sicurezza nazionale in termini di sviluppo industriale e difesa, e per poter pensare di sviluppare una filiera europea dell'elettronica di consumo.
Il PNE e le sue azioni saranno presentati con estrema trasparenza da parte di ISPRA, che in qualità sia di Servizio Geologico sia di Ente di riferimento per la protezione dell'ambiente, si pone come garante della compatibilità ambientale della ricerca. Sarà sottolineata la differenza sostanziale tra ricerca mineraria di base, compito del PNE, e l'eventuale ricerca mineraria operativa, compito delle compagnie minerarie e sulla quale ISPRA insieme alle regioni è tenuta a vigilare.
La qualità tecnica e scientifica della comunicazione è assicurata anche dal coinvolgimento delle università e degli Enti di ricerca territorialmente competenti così come delle Agenzie Regionali per la protezione dell'ambiente e degli uffici regionali/provinciali responsabili delle attività estrattive

Utenti della comunicazione

I destinatari della comunicazione appartengono a **istituzioni centrali, istituzioni regionali e locali, comunità scientifica e tecnica, associazioni ambientaliste, comunità locali, imprese, giornalisti.** La mappatura dei potenziali stakeholder è già esaustiva per quanto riguarda il livello nazionale ma andrà completata con i portatori di interesse locali.

La comunicazione dovrà quindi essere adattata alla tipologia degli utenti ma sempre scientificamente basata e facendo uno sforzo per rendere comprensibili a tutti tematiche tecnicamente e scientificamente molto complesse.

Strumenti e Canali

La divulgazione delle informazioni avverrà tramite media sia tradizionali sia digitali e tramite eventi partecipativi. **Saranno previste conferenze stampa nazionali da tenersi presso le sedi istituzionali centrali (Roma) sia conferenze stampa regionali e/o locali nei territori interessati. Si ritiene necessario anche un confronto costante con le comunità locali con modi e tempi da definire con i Comuni coinvolti nella ricerca e con le Unità di Ricerca incaricate dell'attività di indagine.**
Si prevede di divulgare le informazioni sia tramite i canali social ufficiali di ISPRA e dei partner coinvolti, sia aprendo specifici canali dedicati alle attività del PNE.
Il PNE sarà presentato alla comunità scientifica nell'ambito dei convegni già programmati o da programmare.
Saranno anche organizzati webinar periodici e riunioni online con gli stakeholders istituzionali, del mondo economico, delle associazioni e degli Ordini di categoria, delle associazioni ambientaliste e sociali.
Sul portale delle risorse minerarie nazionali (GeMMA) ogni area interessata dalla ricerca disporrà di apposite pagine aperte al pubblico, periodicamente aggiornate con i risultati delle ricerche e dotata di apposite FAQ.
Le risultanze scientifiche saranno oggetto di presentazione a Convegni e pubblicazioni su riviste specializzate; contemporaneamente saranno predisposti interviste, comunicati stampa, articoli divulgativi e quanto altro sia ritenuto utile per la disseminazione delle informazioni al pubblico non specialistico.
Considerando il potenziale interesse di investitori esteri, il materiale informativo sarà predisposto in formato multilingue e diffuso anche in occasione di eventi internazionali come, ad. Es., il Future Minerals Forum di Riyad (KSA) o il PDAC di Toronto (CAN) oltre, ovviamente agli eventi organizzati dalla Commissione EU.

Eventi programmati per il primo anno di attività e per gli eventuali anni successivi
(proposte da concordare con i Ministeri competenti)

Luglio 2025 – Conferenza stampa o comunicato stampa di presentazione del PNE
Luglio/settembre 2025 – Presentazione delle attività presso le comunità locali
Settembre 2025 – Presentazione del PNE al Congresso della Società Geologica Italiana e della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia
Settembre 2025 – Giornata di formazione per giornalisti sul tema delle risorse minerarie comprendente anche un intervento sul PNE
13-15 gennaio 2026 – Intervento al Future Minerals Forum di Riyadh (KSA)
28 febbraio-4 marzo 2026 – Intervento al PDAC 2026 di Toronto (CAN)
Maggio 2026 – Eventi locali di presentazione dei risultati del primo anno di ricerca

Fine maggio 2026 – Evento nazionale di presentazione dei risultati del primo anno di ricerca e di programmazione del biennio successivo
Maggio 2027 - Evento nazionale di presentazione dei risultati del secondo anno di ricerca
Maggio 2028 – Evento nazionale di presentazione dei risultati del terzo anno di ricerca e di programmazione del biennio successivo
Maggio 2029 – Evento nazionale di presentazione dei risultati del quarto anno di ricerca
Maggio 2030 - Evento nazionale di presentazione dei risultati del quinto anno di ricerca
Giugno 2030 – Evento di presentazione del nuovo PNE

Indicatori di performance (KPI)

È necessario definire indicatori utili per misurare l'efficacia della comunicazione quali:

- Livello di partecipazione a eventi pubblici e consultazioni in presenza e online
- Feedback raccolti durante i vari incontri
- Copertura mediatica, grado di diffusione delle informazioni sui media tradizionali e digitali
- Volume di visite al sito web, fonti di traffico, tempo medio di permanenza, pagine più visitate
- Grado di apprezzamento/critica sui canali social
- Valutazione del livello di conoscenza sul PNE ottenuto e della diminuzione delle opposizioni sociali.

Budget e Risorse

ISPRA nominerà un proprio responsabile della comunicazione con il compito di coordinare uno specifico Gruppo di Lavoro costituito da personale ISPRA e delle Unità di Ricerca che agiranno sul territorio.
Le risorse necessarie per l'organizzazione degli eventi e di tutta l'attività prevista, fatte salve le competenze in carico alle Unità di Ricerca (es. incontri con le comunità locali), faranno capo alla LA 4. Se necessario ISPRA potrà avvalersi di risorse esterne.

10 – PIANO DI COINVOLGIMENTO DEGLI STAKEHOLDERS (PCS)

Introduzione

Per condurre al meglio una attività come quella della ricerca mineraria di base che implica possibili ricadute sicuramente di notevole valenza economica, di importante valore scientifico e professionale e di rilevante carattere geopolitico ma anche potenzialmente fortemente divisive dal punto di vista sociale e territoriale, è necessario coinvolgere un ampio ventaglio di stakeholders e pianificare le azioni per il loro coinvolgimento. Tenendo comunque in debito conto che l'attività del PNE è esclusivamente limitata alla ricerca di base e alla fornitura delle informazioni ad uso degli investitori e degli organi pianificatori e autorizzativi statali e regionali e che non prevede nessun diretto intervento operativo sul territorio, si ritiene che i possibili portatori di interesse possano essere raccolti in quattro macrocategorie:

1) Istituzioni centrali, locali e comunitarie
2) Industria ed imprenditoria
3) Utenti del mondo scientifico, tecnico e della comunicazione
   - accademia e istituti di ricerca
   - società scientifiche
   - ordini e associazioni di professionisti (geologi, geofisici, ingegneri, periti minerari ecc..),
   - agenzie ambientali
   - mass media
   - liberi professionisti
4) Cittadini
   - associazioni culturali e ambientaliste centrali e locali
   - rappresentanze civiche
   - cittadini

Questo piano di coinvolgimento degli stakeholder è necessariamente un quadro generale. Dovrà essere adattato e specificato in base al contesto specifico del Programma Nazionale di Esplorazione mineraria di base, alle caratteristiche delle aree interessate e alle specificità dei diversi gruppi di stakeholder. È fondamentale, quindi, un approccio flessibile e adattabile per garantire un coinvolgimento efficace e significativo

Obiettivi del Piano di Coinvolgimento:

Il PCS mira a:

- Identificare i possibili portatori di interesse per il Programma Nazionale di Esplorazione tenendo in conto l'evoluzione della ricerca in un periodo quinquennale ed i possibili impatti economici, territoriali, ambientali e sociali che l'esplorazione mineraria può indurre nel tempo.
- Costruire a mantenere relazioni positive e costruttive con tutti gli stakeholder rilevanti e garantire che le loro preoccupazioni e prospettive siano comprese e

considerate nel corso delle indagini, anche ai fini di migliorare l'accettabilità sociale delle operazioni
- Fornire informazioni chiare, accurate e tempestive sul programma e sui suoi progressi tramite il Piano della comunicazione descritto nell'apposito capitolo
- Identificare opportunità di collaborazione e partnership.

I soggetti che possono essere coinvolti

1) Le istituzioni

Il Programma si attua su due livelli gestionali e territoriali diversi e complementari, da una parte la programmazione ed il finanziamento della ricerca, con la gestione centralizzata dei dati, anche in funzione della trasmissione alla CE, dall'altra l'azione vera e propria di esplorazione mineraria di base e acquisizione dei dati nei territori identificati. Oltre agli stakeholder afferenti all'apparato statale di riferimento è necessario un coinvolgimento attivo e fattivo degli organismi politici regionali e locali.
I Ministeri di riferimento del PNE (MASE e MIMIT) sono considerati come soggetti beneficiari del Programma, così come la Commissione Europea, di conseguenza si ritiene che non debbano essere inclusi nell'elenco degli stakeholder, a meno che gli stessi Ministeri non propongano come portatori di interesse le Direzioni non direttamente coinvolte nel PNE.
In prima analisi si ritiene possibile e utile il coinvolgimento di:

Istituzioni Centrali:
- Ministero degli affari esteri, per l'evidente connotazione geopolitiche legata alla ricerca di Materie Prime Critiche e per la gestione degli incontri, tramite Ambasciate, con i Servizi Geologici e con gli imprenditori extraeuropei
- Ministero per la protezione civile e le politiche del mare, per il possibile/sicuro interesse relativamente alle potenziali risorse minerarie sottomarine
- Ministero dell'Interno e Ministero della Difesa, per gli aspetti legati alla sicurezza nazionale negli approvvigionamenti minerari e per il possibile utilizzo delle MPC nell'ambito della difesa nazionale
- Enti parco nazionali nel caso in cui le aree di studio fossero prossime ai confini dei parchi

Organismi sovranazionali:
- JRC, sia relativamente al dialogo per costruire l'analogo italiano di RMIS sia per l'interesse nella realizzazione dei nuovi BREF sui minerali metalliferi
- UNECE, per l'applicazione del codice UNFC in Italia
- OECD
- EIT Raw materials

Istituzioni Regionali
- Giunte regionali ed assessorati all'ambiente, all'industria e ai beni culturali
- Uffici Regionali per le attività estrattive
- Agenzie regionali per la Protezione dell'Ambiente (SNPA)

- Enti parco regionali
- Comunità montane

In particolare, saranno convocati per essere informati del PNE e del Progetto URBES sui rifiuti estrattivi, gli Uffici Regionali per le Attività Estrattive raccolti da ISPRA nella rete RISG (Rete Italiana dei Servizi Geologici)

2) Industria ed imprenditoria

Il programma mira a fornire informazioni di base per favorire e facilitare investimenti sul territorio nazionale. Per quanto riguarda l'apparato imprenditoriale ed industriale le aziende di riferimento sono, di conseguenza, le aziende attive in campo minerario.
Mentre per il settore dei minerali industriali abbiamo diverse imprese nazionali di dimensioni anche importanti, in Italia esiste una **forte carenza di aziende per il settore dei minerali metalliferi** e per la loro coltivazione in sotterraneo. Anche se uno dei compiti del PNE è stimolare l'avvio e/o la crescita d'imprese anche nel settore dei metalli, al momento si ritiene di cercare di coinvolgere anche compagnie minerarie estere, alcune delle quali già operano sul territorio nazionale. Probabilmente più facile, anche per i diversi costi di investimento, sarà trovare aziende interessate alla possibile coltivazione dei rifiuti estrattivi, per i quali non è necessario il cospicuo know-how richiesto da una attività in sotterraneo, soprattutto se profonda.
Un altro ramo di aziende potenzialmente interessate sono quelle legate alla esplorazione mineraria vera e propria, in particolare per quanto riguarda le prospezioni geofisiche sia terrestri sia tramite sensori aero/eli/UAV trasportati. Alcune di queste sono già state contattate per la richiesta di preventivi nell'ambito delle attività previste dal PNE). La partecipazione di queste aziende, che potrebbero collaborare direttamente nelle attività, soprattutto nei prossimi anni è finalizzata sia alla interazione per il miglioramento dell'attività di ricerca sia alla formulazione di loro manifestazioni di interesse per il proseguo dell'attività.
In prima analisi, potrebbero essere convocati:

- Assorisorse, cioè l'associazione di categoria aderente a Confindustria, rappresenta circa 100 imprese italiane e straniere.
- OIMCE, Osservatorio Italiano Materie prime Critiche Energia
- Aziende nazionali operanti sui minerali industriali a cielo aperto e aziende estere operanti in Italia (es. Minerali Industriali, Polar, Soricom, Sibelco, Maffei sarda silicati, Mineraria di Boca, Clariant, Imerys, Holcim ecc..)
- Aziende nazionali operanti in sotterraneo (Italkali, Mineraria Gerrei)
- Aziende estere con permessi di ricerca attivi sul territorio nazionale (AltaMin, Energy Minerals, Cresta Minerals, Vulcan ecc)
- Aziende di rilevamento geofisico aero/eli trasportato (Excalibur, Emergo)
- Altre PMI nazionali operanti in campo geofisico e geochimico
- Aziende del riciclo potenzialmente interessate ai prodotti, in particolare da quelli ricavabili dai rifiuti estrattivi (Erion, FAAM, Iren ecc..)

3) Utenti del mondo scientifico, tecnico e della comunicazione

- accademia e istituti di ricerca in campo geologico, minerario, ingegneristico e ambientale (Università, CNR, ENEA, INGV, scuole minerarie)
- società scientifiche (SGI, SIMP, GABEC…)
- ordini e associazioni di professionisti (ANIM, CNG, AIPIM, Ordini regionali dei geologi e degli ingegneri)
- mass media (giornalisti tv, radio e carta stampata tradizionale e digitale)
- liberi professionisti (geologi, ingegneri, periti minerari)

4) Cittadini

- associazioni culturali e ambientaliste centrali e locali
- rappresentanze civiche
- cittadini residenti nelle aree interessate dal PNE

I criteri di scelta e di gestione dei portatori di interesse

Tra questi gruppi, la posizione di ciascun candidato stakeholder (istituzione, organizzazione, gruppo) sarà valutata sulla base dei seguenti criteri:

- Rilevanza e coinvolgimento del candidato interessato nei campi di interesse del PNE (ad esempio l'impatto significativo che possono avere altri Ministeri, oltre a MASE e MIMIT, nella definizione delle politiche nazionali in campo minerario e nella prioritizzazione dei campi di intervento o il ruolo delle aziende nazionali minerarie).
- Interesse ed affinità con i campi di azione del PNE dal punto di vista scientifico e tecnico, compresa i temi di salvaguardia ambientale
- Influenza dei candidati stakeholder sul PNE, intesa nella misura in cui il progetto incorpora le osservazioni e il feedback degli stakeholder, sulla base della loro autorità tecnico/scientifica, della loro posizione istituzionale e della rilevanza per l'assetto ambientale e territoriale

Sulla base di questi criteri sono stati individuati due livelli di interazione con gli stakeholder:

• **Stakeholder chiave:** il progetto mantiene costantemente informati gli stakeholder e ci si aspetta da loro un feedback per fornire consigli e suggerimenti sull'implementazione del progetto. Sebbene ci si impegni a integrare questo feedback per soddisfare le aspettative degli stakeholder, non vi è alcun obbligo di accettare tutti i suggerimenti.

• **Stakeholder ordinari:** il progetto mantiene costantemente informati gli stakeholder. Saranno intraprese azioni di diffusione, ma non è previsto alcun feedback

Per gestire efficacemente il coinvolgimento degli stakeholder, il PNE utilizzerà il Piano di Comunicazione e le strategie sopra identificate per comunicare le informazioni relative al progetto agli stakeholder chiave in modo proattivo e tempestivo. Sfruttando le informazioni fornite nel Piano di Comunicazione (come gruppi di stakeholder, elementi di comunicazione, scopo, metodo di comunicazione e frequenza), il progetto sarà in grado di aumentare il supporto e la visibilità da parte degli stakeholder per tutta la sua

durata. Gestire il coinvolgimento degli stakeholder contribuisce ad aumentare le probabilità di successo del PNE garantendo che gli stakeholder abbiano una chiara comprensione degli obiettivi, degli scopi, dei benefici e dei rischi del progetto.

La gestione del coinvolgimento degli stakeholder comporta due diversi livelli di azione:

- un'interazione "bidirezionale" con gli *stakeholder prioritari*, che stabilisca una comunicazione e un'interazione costanti tra il progetto e gli stakeholder (feedback informativo). Questa interazione consente l'implementazione di raccomandazioni e suggerimenti nel PNE.
- un'interazione "unidirezionale" con gli *stakeholder ordinari*, che prevede principalmente la diffusione e gli aggiornamenti come delineato in dettaglio nel Piano di Comunicazione (Deliverable 1.4). Saranno attivati molteplici canali di comunicazione a vari livelli, fornendo sia risorse specializzate che contenuti meno specializzati.