



PARCO NAZIONALE MINIERE DELL'AMIATA

RISORSE MINERARIE E RICERCA NEL TERRITORIO DEL PARCO

Daniele Rappuoli *direttore*

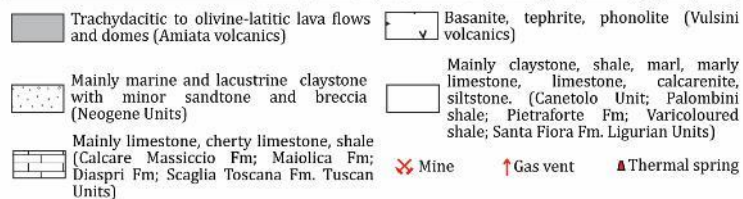
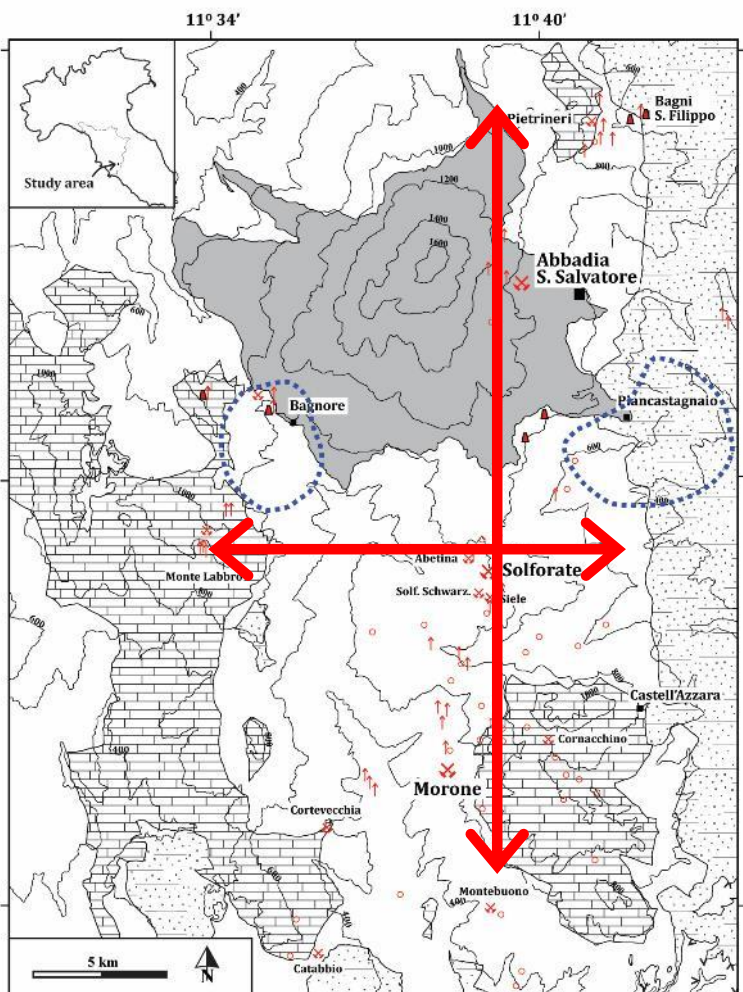
XX riunione REMI-ISPRA – Roma 15 dicembre 2025

contenuti intervento

1. introduzione delle caratteristiche geologico-minerarie del Parco e di aree geotermiche simili
2. ricerche scientifiche di tipo giacimentologico effettuate ed in corso nel territorio del Parco attraverso convenzioni con Enti di ricerca
3. vecchie miniere e patrimonio minerario
4. prospettive future

il sistema geotermico Amiantino

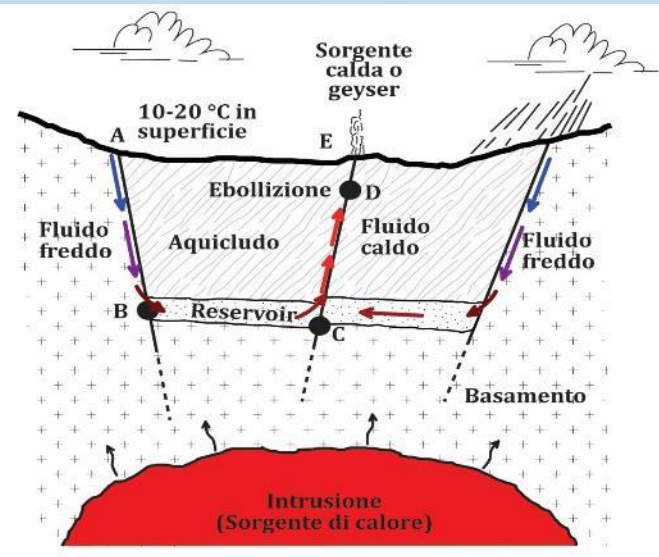
- Il Monte Amiata contiene l'omonimo sistema geotermico, che rappresenta la seconda risorsa geotermica del Paese
- Due serbatoi a “vapore umido” ed a profondità diverse
 - Temperature: 200-300 °C e P fino a 20 bar
 - Sfruttamento: dal 1958
 - Profondità: c. 3000 m e 500-1000 m
 - Composizione del fluido geotermico: clorurato-sodico;
 - pH del fluido geotermico: 6.78 – 8.31 (a 300-350 °C)
 - Cinque centrali geotermiche: 121 MWe (al 2016)
- Sorgenti calde
- 14 giacimenti (storici) a Hg ($\pm$ Sb) ed almeno 20 mineralizzazioni subeconomiche all'interno di un ristretto intervallo del territorio in direzione N-S ed E-W.
- Terzo distretto mercurifero mondiale in termini di produzione totale di Hg (c. 117.000 t).



il sistema geotermico Amiantino

PROCESSI

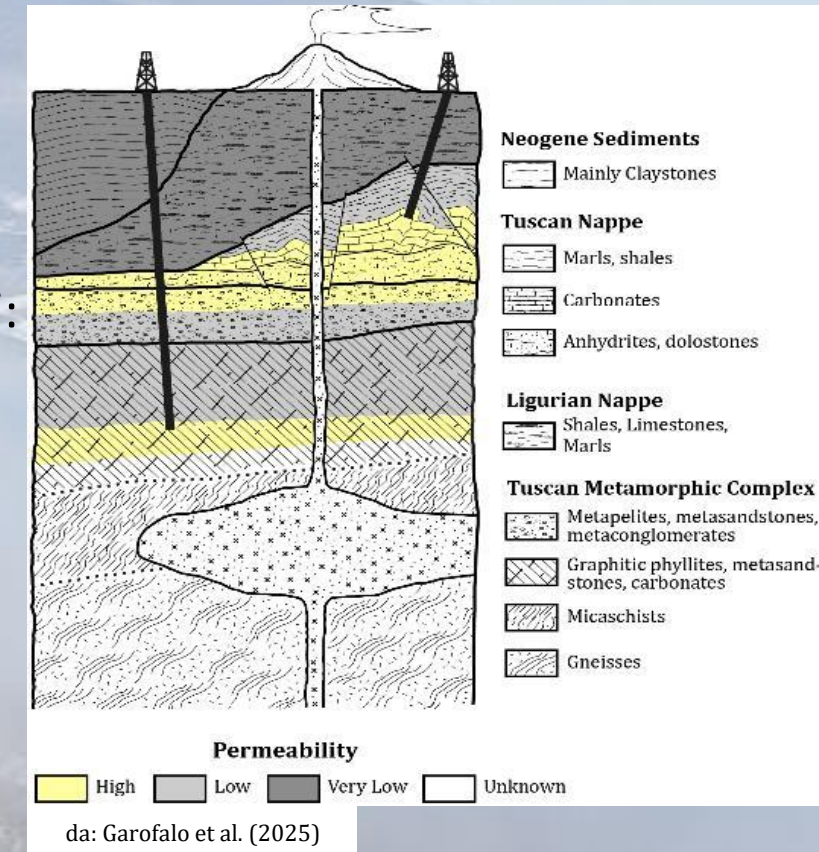
- a) Infiltrazione efficace (A-B);
- b) Ricarica del reservoir;
- c) Riscaldamento fluido geotermico nel reservoir (B-C);
- d) Circolazione convettiva (A-B-C-D), ma ebollizione (D) e recapito (E) in superficie



modificato da: Barbier (1997)

Per essere efficiente, un sistema geotermico ha bisogno di questi elementi:

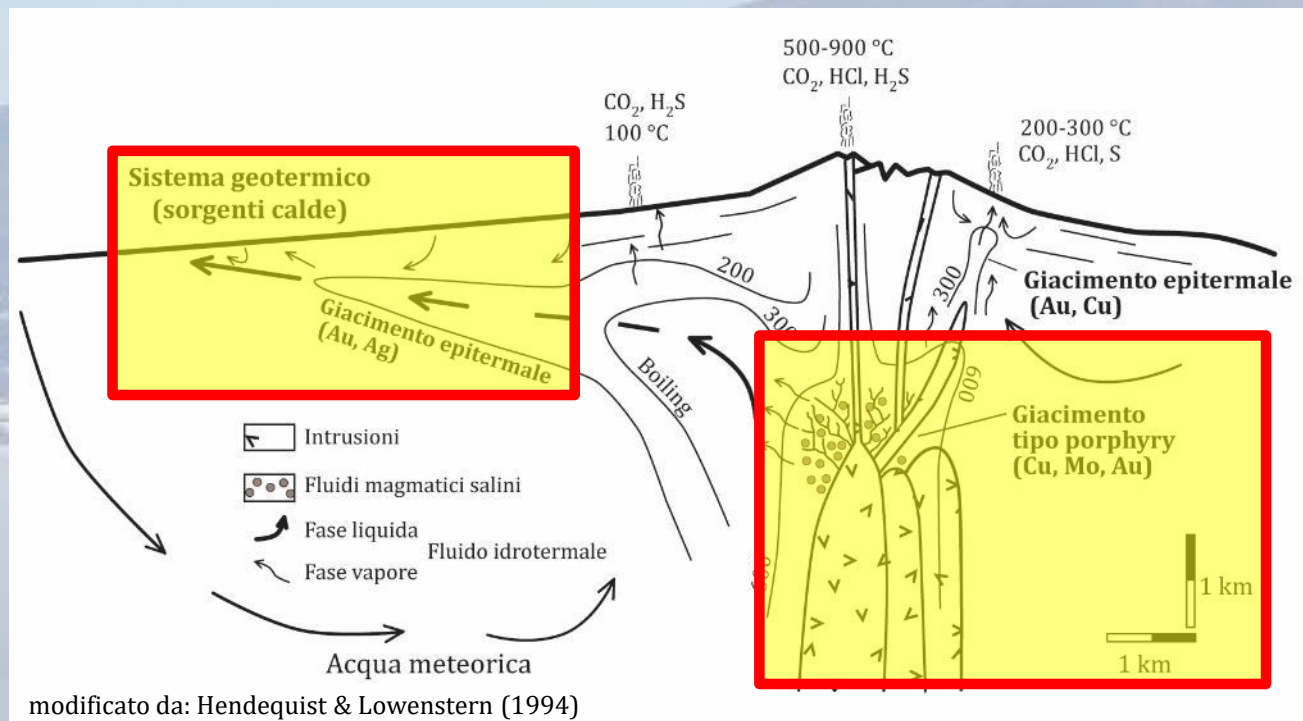
- **Sorgente di calore** - Intrusione posta a c. 5-7 km profondità;
- **Rocce serbatoio** - della serie Toscana (Tuscan Nappe) e del basamento metamorfico (Tuscan Metamorphic Complex);
- **Bacino di ricarica** - Mt. Rotondo ed i suoi c. 6 106 m³/anno di pioggia (Cataldi, 1967);
- **Sistemi di pieghe/fratture** - Definiti dall'esplorazione geotermica.



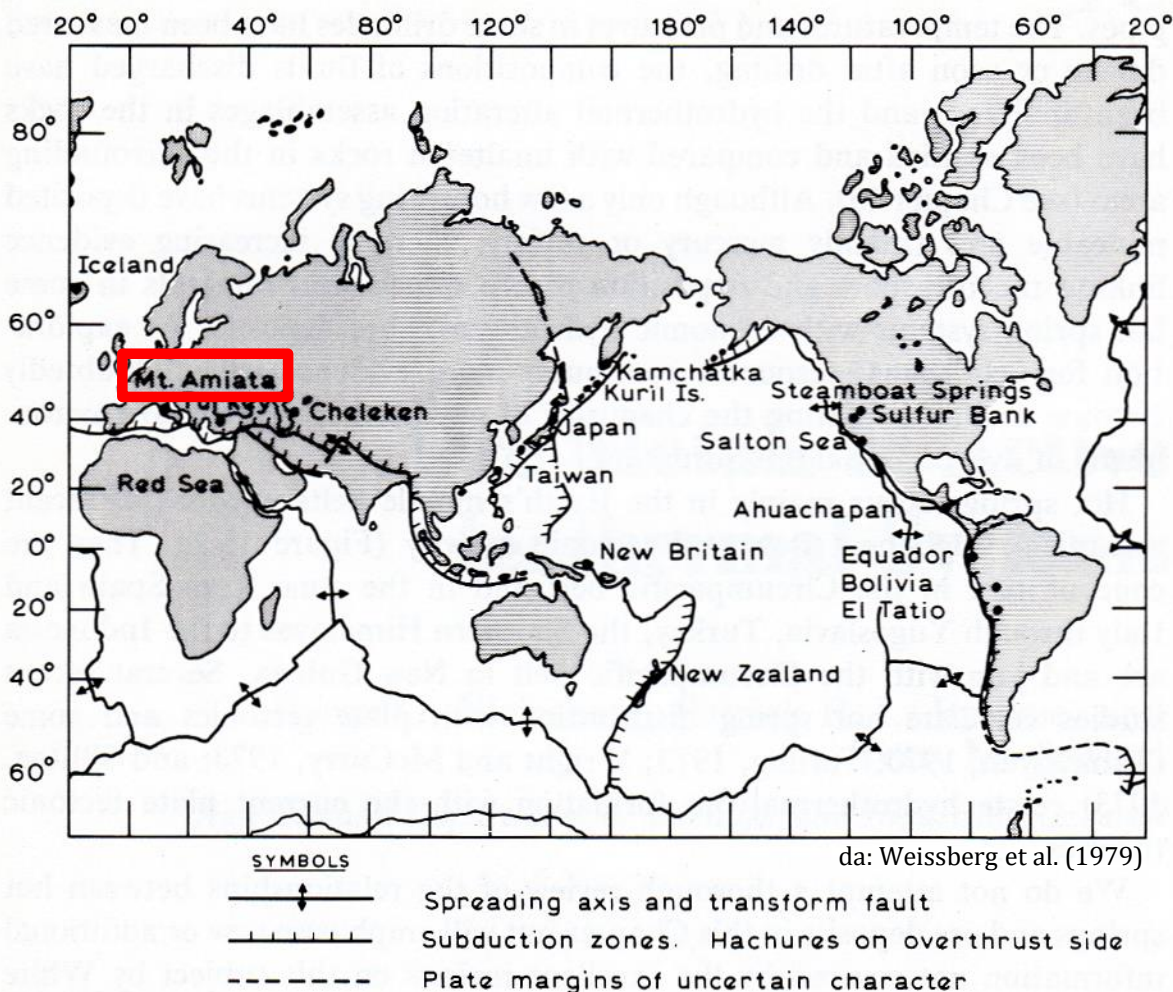
Campi geotermici e giacimenti minerari

Come tutti i sistemi geotermici, l'Amiata appartiene ad un sistema di tipo volcano-plutonico

- i giacimenti si trovano vicino a sorgenti calde superficiali (hot springs);
- hanno da sempre ospitato diverse commodity (Hg, As, Sb, Au, Ag);
- in alcune aree del mondo, i sistemi geotermici sono collegati ad altre tipologie giacimentologiche importanti ma profonde (giacimenti tipo porphyry-Cu-Mo).



Depositi da sorgenti calde



- I giacimenti più studiati sono quelli di zone di vulcanismo attuale;
- A causa dell'intensa esplorazione geotermica, di questi giacimenti sono note caratteristiche fondamentali: T-P formazione, composizione fluidi, interazione fluido-roccia;
- Commodity attuali (ordine d'importanza): Sb, Au, Ag;
- Esempi tipici: Mt. Amiata (I), Rotokawa (NZ); El Tatio (Cile); Isole Kurili (Russia); Arima Springs (J)

Progetti di ricerca passati ed in corso

Convenzione UniBologna Dip. Scienze Biologiche, Geologiche, Ambientali (2017-2020)

- ❑ Ricerca finalizzata alla caratterizzazione mineralogica-petrografica-geochemica di campioni provenienti dagli ex corpi minerari delle miniere dell'Amiata attraverso l'analisi multi-tecnica di Hg, As, Sb e altri elementi associati.

Accordo di Ricerca Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (2022-2023)

- ❑ Creazione di una banca dati georeferenziata:
 - a) località minerarie (sfruttate e sub-economiche) e loro caratteristiche giacimentologiche;
 - b) venute di gas e loro caratteristiche geochemiche;
 - c) località geotermiche e loro caratteristiche geologiche;
 - d) manifestazioni geotermiche-giacimentologiche di ogni tipo riscontrabile sul territorio;
 - e) testimonianze minerarie: gallerie, pozzi, ricerche, ed altre emergenze documentate

Convenzione CNR Istituto Geoscienze e Georisorse Firenze (2025-2026)

- ❑ rapporto tra la distribuzione spaziale delle risorse e l'evoluzione geologico-strutturale del sistema geotermico del Mt. Amiata (*in progress...*)

Pubblicazione recente sulla genesi dei 14 giacimenti amiatini

Mineralium Deposita
https://doi.org/10.1007/s00126-025-01382-8

ARTICLE

Genesis of the hot spring mercury deposits of the Mt. Amiata geothermal system (Italy) constrained by Hg and S isotope geochemistry

Paolo S. Garofalo¹ · Farshid Kiani¹ · Andrea Marchetti² · Lisa Lancellotti² · Orlando Vaselli^{3,4} · Simone Beccari⁵ · Gaetano Pedone⁶ · Daniele Rappuoli⁷

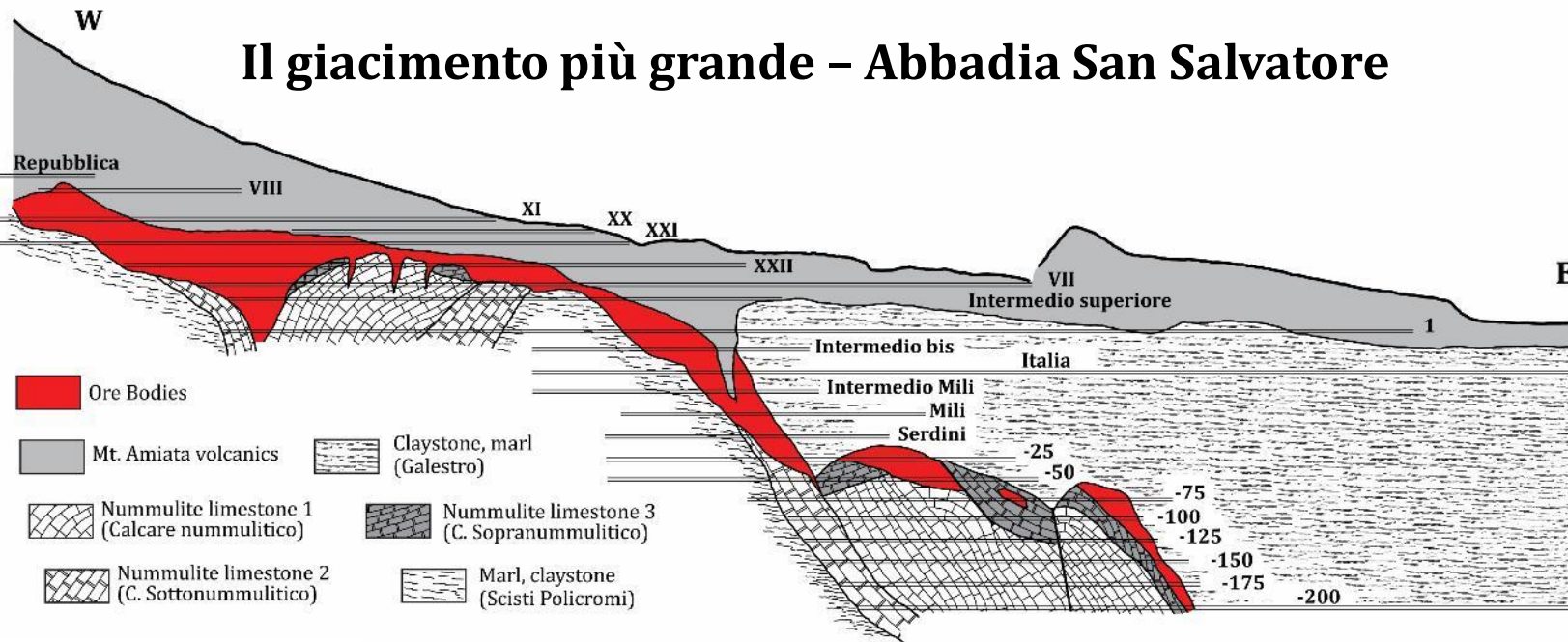
Received: 3 January 2025 / Accepted: 4 July 2025
© The Author(s) 2025

Caratterizzazione dei campioni provenienti dalle ex miniere

Caratteristiche generali dei giacimenti di Hg (±Sb) del Monte Amiata

Giacimento	Periodo di Attività	Tenore wt% Hg	Prod. (t) *	Roccia incassante
Abbadia S. Salvatore	1847-1982	0.4-1.5	58944	Calcarenite e calcilutite (Eocene)
Solforate Schwarzenberg	1852-1940			Calcarenite e calcilutite (Eocene)
Solforate	1883-1982	6	29972	Arenaria e calcilutite (Eocene)
Morone (Selvena)	1850-1982		6408	Anidrite, dolomia, calcare nero (Retico)
Siele	1846-1981	c. 8		Calcarenite e calcilutite (Eocene)
Abetina	1917-1982	0.6 – 1.2	4237	Calcarenite e calcilutite (Eocene)
Cornacchino	1872-1921	0.1-0.2	2515	Calcare e diaspri (Giurassico)
Cerreto Piano	1898-1971	0.3	2170	Arenaria (Pliocene)
Bagnore	1922-1976	0.2-0.5	1723	Arenaria (Cretaceo sup.; Pietraforte)
Bagni S. Filippo (Pietrineri)	1902-1979	0.3-0.5	517	Dolomia (Retico). Calcare (Giurassico inf)
Montebuono (Reto)	1872-1921	0.3-0.5	172	Arenaria (sovr Sopranummulitico)
Cortev ecchia	1898-1971		155	Calcare, (Sopranummul., Nummul., Sottonum, Eocene)
Catabbio	1888-1970	0.01-0.03	34	Marna e argillite (Galestro)
Monte Labbro	1919-1976	0.2-1.1		Calcare (Giurassico inf)

Il giacimento più grande – Abbadia San Salvatore



Modificato da: Forconi (2021)

Rocce ospiti

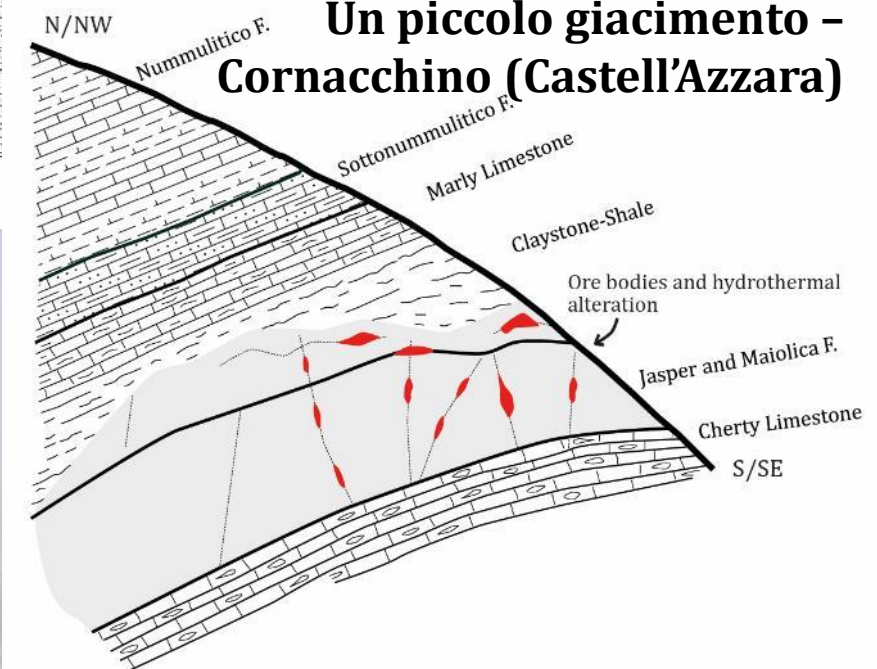
Diverse litologie sedimentarie:

- 1) Calcare a nummuliti con marne ed argilliti (Eocene);
- 2) Calcarei rossi con selce, scisti (Scisti Varicolori, Cretaceo-Eocene);
- 3) Diaspri e calcari marnosi (Triassico - Giurassico);
- 4) Calcarei selciferi (Triassico - Giurassico)

Corpi minerali

- Fratture e masse caotiche con cinabro imballate con la marcasite all'interno di argilla massiva.
- Reticoli di vene centimetriche.

Un piccolo giacimento – Cornacchino (Castell'Azzara)

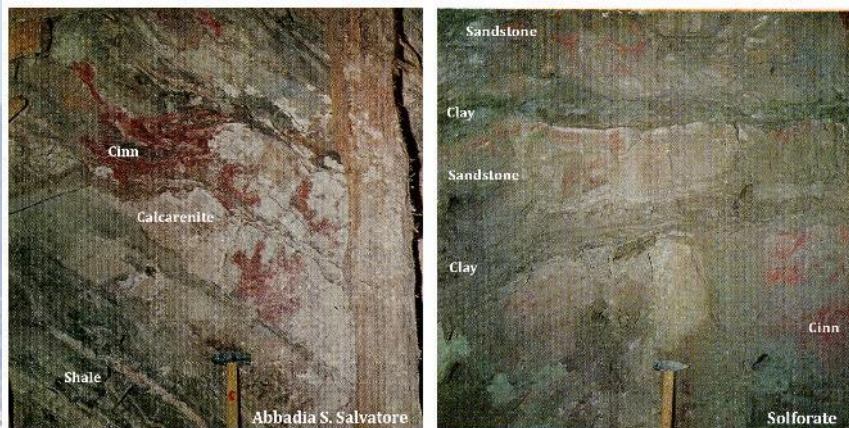


Corpi minerali: disseminazioni, stockwork, brecce e vene con cinabro (HgS), marcasite (FeS_2), e minore stibnina (Sb_2S_3).

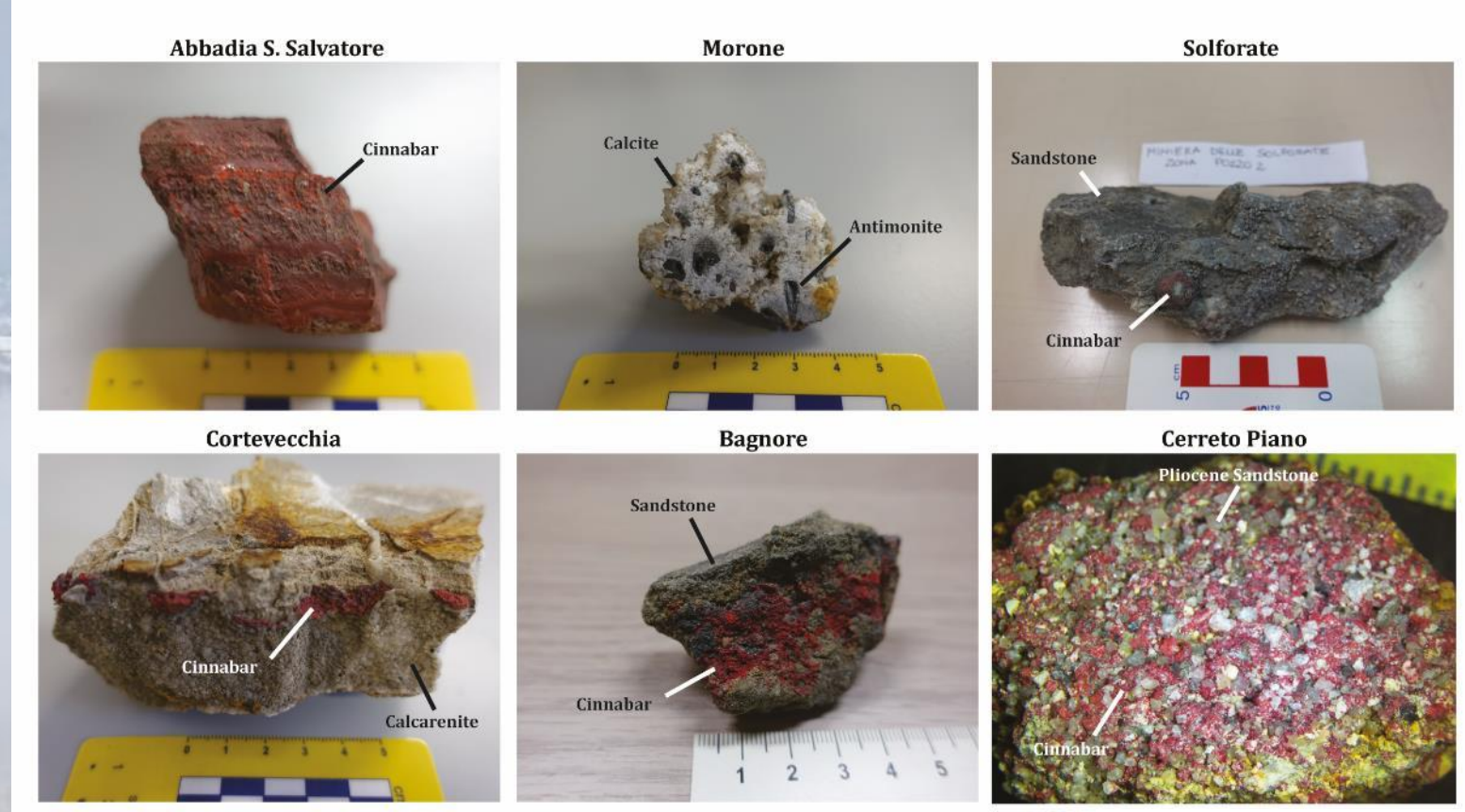
Ganga: calcite, silice amorfa (opale, calcedonio), quarzo, celestina, fluorite, gesso, zeoliti, dawsonite ($\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$)

Rocce ospiti: Litologie della serie Toscana e Liguridi.

Età dei giacimenti: dal tardo Pliocene (c. 4 Ma) ad oggi (vincoli sedimentari e geotermici).



da: Zucchetti (1964)

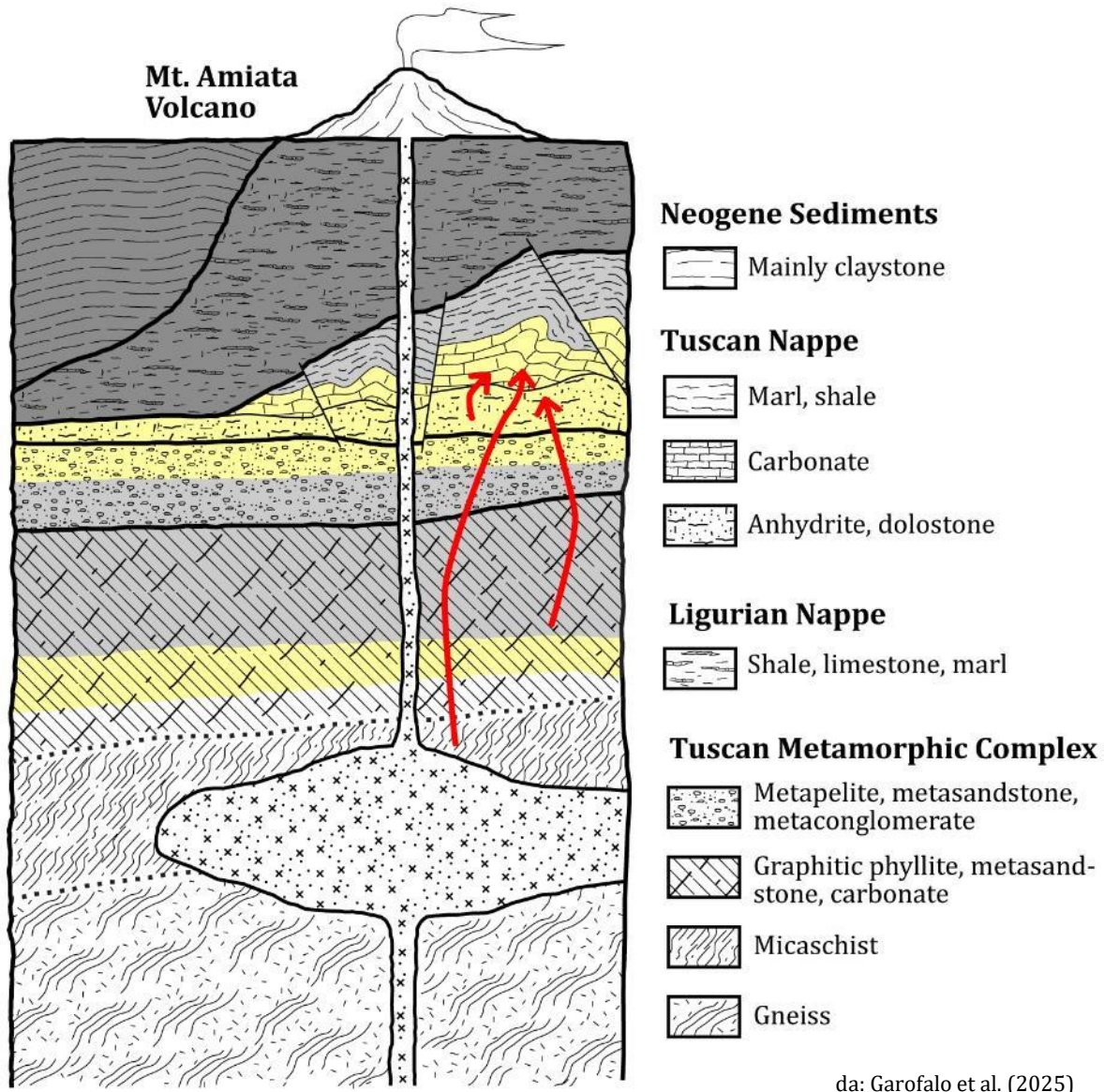


da: Garofalo et al. (2025)

Interpretazione nuovi dati isotopici (Hg, S)

Nei giacimenti hot spring del Mt. Amiata il Hg e lo S sono derivati da:

- a. sorgente magmatica;
- b. basamento metamorfico;
- c. sedimenti marini.



da: Garofalo et al. (2025)

Il censimento dei giacimenti del Parco

- ❑ **Creazione di una banca dati** di tipo geologico-giacimentologico che raccoglie tutto il patrimonio di conoscenza del Parco
 - Emergenze minerarie
 - Emergenze mineralogiche

- ❑ **Digitalizzazione della banca dati** per una fruizione digitale
 - Georeferenziazione

Il Parco in numeri

- **Area:** circa 90.000 ettari
- **12 Comuni coinvolti:** Abbadia S.S.; Arcidosso; Castel del Piano; Castell'Azzara; Castiglione d'Orcia; Cinigiano; Piancastagnaio; Radicofani; Roccalbegna; Santa Fiora; Seggiano; Semproniano
- **Attività mineraria:** 1846-1981. Quattro siti accessibili
- **Rilevanza economica:** Terzo distretto mercurifero mondiale
- **Patrimonio naturale**
- **Patrimonio archeologico-industriale**



Costruzione della banca dati

Dati topografici, geologici, geofisici, idrogeologici e giacimentologici raccolti da:

- tesi di LM (Dott.ssa L. Capitanio, UniBo);
- Geoportale GEOscopio (Regione Toscana);
- ARPAT;
- Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente - ISPRA;
- MISE - Inventario delle risorse geotermiche nazionali;
- Museo delle Miniere del Monte Amiata;
- Dati ENEL (Calamai et al. 1970).

**FASE PRELIMINARE
DI RACCOLTA E SELEZIONE
DEI DATI**

**FASE DI SUDDIVISIONE
DEI DATI SULLA BASE
DELLA LORO NATURA**

DATI DI PARTENZA



DATI RASTER



DATI VETTORIALI

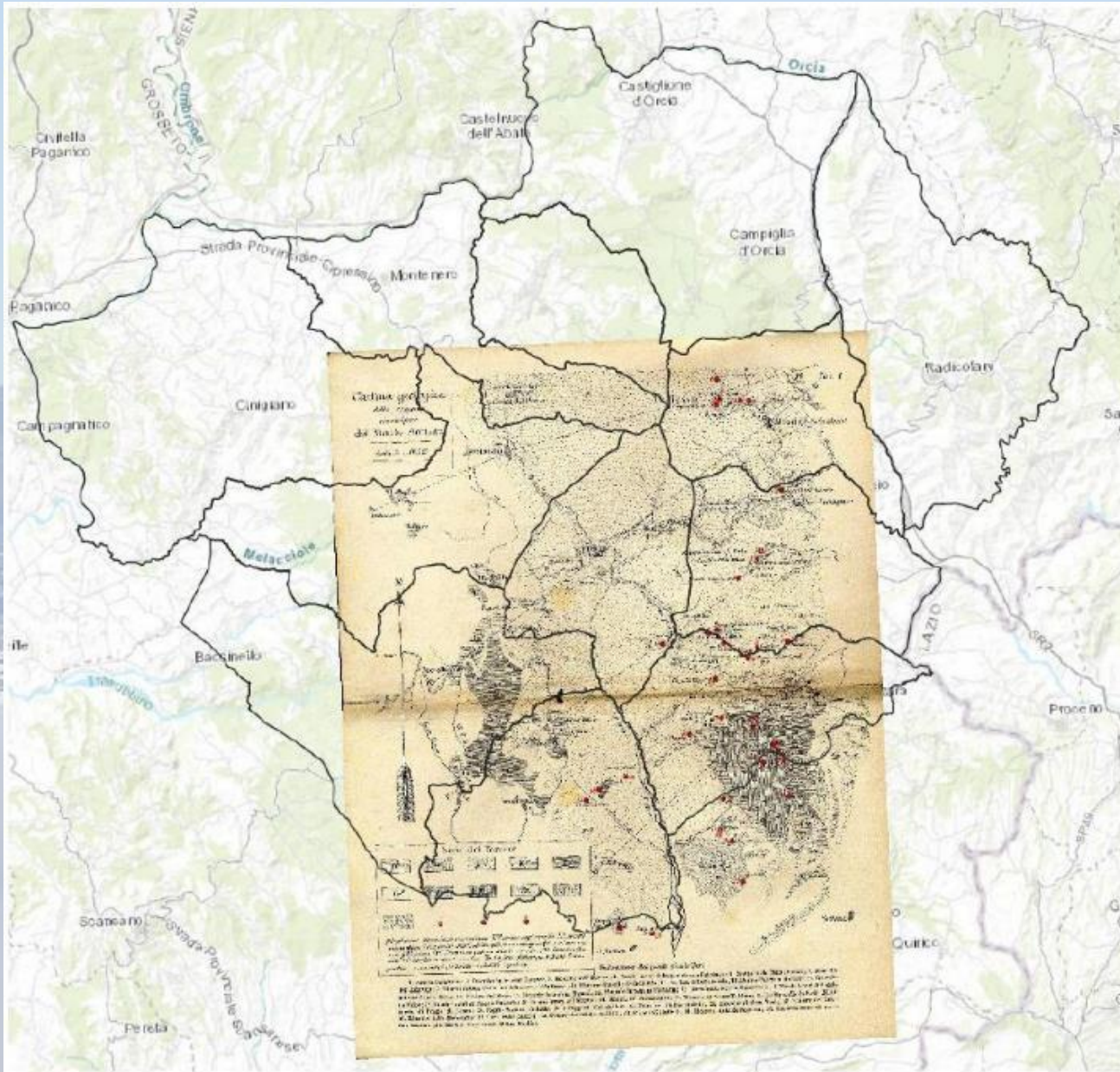


WEB MAP SERVICE (WMS)

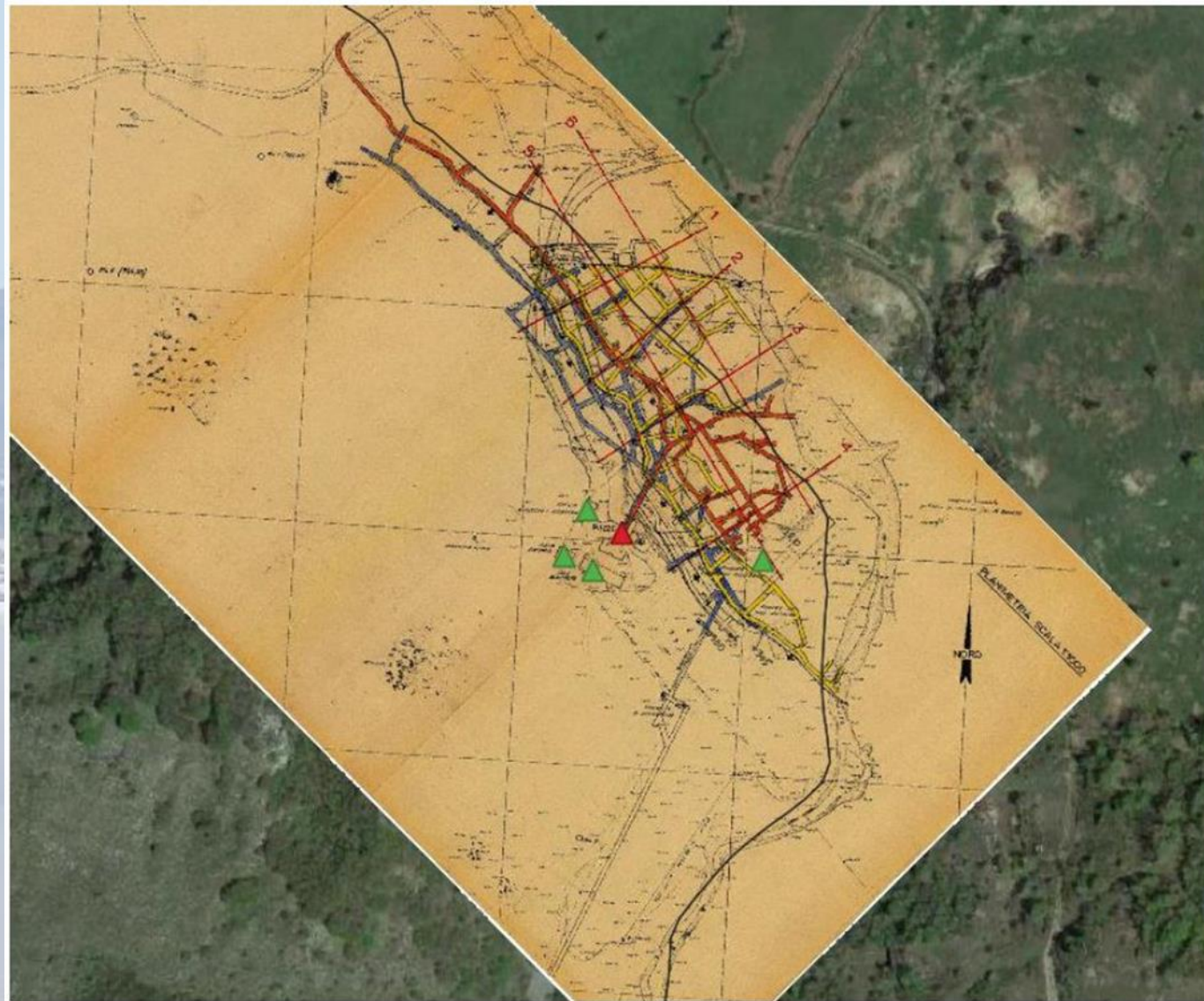
**DATI SUDDIVISI SULLA BASE DELLA LORO NATURA ED INSERITI IN
UNA BANCA DATI DIGITALE**

Georeferenziazione cartografia storica

**Carte storiche digitalizzate ed
orientate correttamente**



Mappatura di dettaglio delle miniere del Parco



Le mappe storiche delle miniere sono state collocate nella cartografia digitale regionale nella loro posizione corretta.

E' stata censita la posizione di edifici ed infrastrutture di queste miniere.

Emergenze storiche – censimento di dettaglio

Ciascuna mappa storica o dati infrastruttura è stata censita individualmente all'interno della banca in modo che in futuro altre informazioni o nuovi documenti possano essere inseriti nel censimento

	id	ANNO_PLAN	NOME_MIN	TIPOLOGIA	DESCRIZION	STATO_CONS	DOC
1	0	INCOGNITO	M. LABBRO	STO	Ufficio, magaz...	INCOGNITO	NULL
2	2	INCOGNITO	M. LABBRO	STO	Sala macchine	INCOGNITO	NULL
3	3	INCOGNITO	M. LABBRO	STO	Cabina elettrica	INCOGNITO	NULL
4	4	1961	M. LABBRO	GEO	Pozzo MLA 1	INCOGNITO	NULL
5	5	1967	CONCESSION...	STO	Edificio senza ...	INCOGNITO	NULL
6	6	INCOGNITO	MINIERA ABE...	STO	Legnaia	INCOGNITO	NULL
7	7	INCOGNITO	MINIERA ABE...	STO	Legnaia	INCOGNITO	NULL
8	8	INCOGNITO	MINIERA ABE...	STO	Legnaia	INCOGNITO	NULL
9	9	INCOGNITO	MINIERA ABE...	STO	Forni	INCOGNITO	NULL
10	10	INCOGNITO	MINIERA ABE...	STO	Forni	INCOGNITO	NULL

Possibili sviluppi futuri della banca dati



In futuro, il censimento fatto con questa banca dati potrebbe essere visualizzata in 3 dimensioni all'interno di nuove carte del territorio. Utilità: pianificazione del territorio, turismo, ...

Considerazioni sulle risorse minerarie/geotermiche amiatine

Sulla base del lavoro effettuato dai progetti finanziato dal Parco, si può affermare che:

- Il distretto amiatino è storicamente **caratterizzato da una notevole abbondanza di Hg** - una *commodity* non più sfruttata – e dalla **scarsità delle altre tipiche commodity geotermiche** come Sb, Au, Ag che si trovano in sistemi geotermici simili (Nuova Zelanda, USA occidentali, ecc.);
- L'attuale livello di studio delle risorse minerarie del Parco è da inquadrare nel contesto delle **analisi documentali e di benchmark** che permetteranno di ridefinire nel prossimo futuro il **sistema di valori economici e culturali del Parco**, e quindi la programmazione delle attività;
- L'attuale livello di conoscenza giacimentologica dell'area del Parco **non è compatibile con una strategia di esplorazione mineraria di tipo industriale**.



Grazie per l'attenzione

Conoscere il tuo pianeta è un passo verso il proteggerlo.

JACQUES-YVES COUSTEAU



parcoamiata.com



segreteria@parcoamiata.com

direttore@parcoamiata.com