



***Consorzio Interuniversitario Nazionale
per l'Ingegneria delle Geo Risorse***

Creazione e sviluppo di una banca dati geologica- giacimentologica del Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.

Relazione conclusiva a cura del dott. Luca Castelli

luglio 2023

INDICE

1. PREMESSA.....	2
1.1 Scopo della relazione	2
1.2 Obiettivi del lavoro.....	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	4
3.1 Storia geologica e deformativa dell'area Amiatina.....	4
3.2 Risorse minerarie.....	5
4. METODO DI LAVORO E STRUTTURAZIONE DELLA BANCA DATI.....	6
4.1 Potenzialità di un software GIS	6
4.2 Scelta della piattaforma GIS	7
4.3 Fase preliminare di raccolta e selezione dei dati	8
4.4 Georeferenziazione della cartografia storica	9
4.5 Mappatura delle caratteristiche geologiche-giacimentologiche e territoriali	13
5. SVILUPPI FUTURI E POTENZIALITA' DELLA BANCA DATI.....	15
5.1 Ambienti virtuali 3D delle Miniere storiche dell'Amiata.	15
5.2 Sviluppo di un webGIS del Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.	16

1. PREMESSA

1.1 Scopo della relazione

La seguente relazione conclusiva ha come scopo di fornire una chiara e dettagliata sintesi dello sviluppo di una banca dati inerente il Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.

1.2 Obiettivi del lavoro

Il Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGeo) e il Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata hanno svolto e intendono svolgere studi e ricerche aventi ad oggetto le emergenze minerarie, geologiche, geotermiche, giacimentologiche e naturalistiche nel territorio del Parco.

In particolare, il CINIGeo è a conoscenza dell'esistenza di 14 miniere storiche di cinabro nella zona del Parco, oltre che di un numero di emergenze geologiche-giacimentologiche (mineralizzazioni sub-economiche non sfruttate, sorgenti termali, venute di gas) ed archivi minerari che testimoniano l'attività secolare di sfruttamento delle emergenze geotermiche-minerarie dell'area del Parco.

Il seguente lavoro, nell'ambito della suddetta attività di studio e ricerca, ha avuto come obiettivo principale la creazione di una banca dati di tipo geologico-giacimentologico dell'area, al fine di studiare e pubblicare i dati raccolti come patrimonio del Parco.

Più specificatamente, l'attività avviata ha permesso di creare questa banca dati attraverso una ricerca di archivio storico, la ricognizione sul campo delle emergenze minerarie e mineralogiche del Parco nonché la loro georeferenziazione attraverso l'utilizzo di un Sistema Informativo Geografico (GIS).

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di studio copre una superficie di circa 1095 Km² e racchiude i 12 comuni che formano il Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata come indicato nella figura n. 1.



Figura n. 1 – Inquadramento dell'area di studio; sono riportati i confini dei 12 comuni che costituiscono il territorio del Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.

L'area è delimitata a nord, est e ovest dai tre principali bacini sedimentari neogenici dell'area, denominati rispettivamente Bacino di Velona, Bacino di Siena-Radicofani e Bacino di Cinigiano-Baccinello. Il confine sud dell'area di studio è costituito dalla valle del Torrente Fiora.

L'area è dominata da una variabilità di strutture e litologie che rendono l'assetto disomogeneo, con la presenza di alti strutturali, rappresentati dalla dorsale di Castell'Azzara-M.te Elmo, la Rupe di Roccalbegna e Cellena, alternati ad aree di basso strutturale, che ospitano le valli dei torrenti Fiora, Paglia, Albegna e Vivo. Sull'area domina il Complesso Vulcanico del Monte Amiata, la cui vetta raggiunge i 1738m s.l.m. ed è costituito da depositi vulcanici pleistocenici che ospitano il più vasto acquifero potabile dell'area che alimenta i tre più importanti torrenti della zona.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

3.1 Storia geologica e deformativa dell'area Amiatina

L'ambito dell'Amiata si sviluppa con forme di rilievo collinari e montane che coronano e si integrano perfettamente con l'alto strutturale dell'edificio vulcanico del Monte Amiata, che ne domina l'estremità settentrionale. La storia dell'evoluzione dei rilievi si collega all'evoluzione geologica di questo settore dell'Appennino, la cui formazione ha inizio con la chiusura dell'oceano ligure-piemontese, iniziata nel Cretaceo inferiore.

I vari eventi sedimentari e tettonici, che si sono seguiti tra il Mesozoico e il Quaternario recente, hanno dato vita al corrugamento e al sollevamento della catena appenninica e plasmato le forme del territorio amiatino ridefinite in epoche recenti dai fattori esogeni.

I complessi geologici presenti nell'amiatino sono il risultato di fenomeni di sedimentazione e caratteristiche paleoambientali diverse (Domini Paleogeografici). In base ai rapporti di giacitura e alle caratteristiche delle rispettive successioni, essi provengono da tre domini che, circa 150 milioni di anni fa, si susseguivano da Ovest verso Est all'interno dell'oceano piemontese a partire dal Dominio ligure (ligure interno, ligure esterno e sub-ligure) e Dominio toscano.

Dopo la chiusura dell'oceano (avvenuta nell'Eocene) e la collisione continentale Europa - Africa, i domini hanno subito una compressione ed un seguente accavallamento dei terreni più occidentali su quelli orientali andando a formare l'ossatura principale della catena appenninica. Alle unità liguri e toscane si sovrappongono sia sedimenti di origine lacustre e marina di età mio - pliocenica legati alla formazione dei bacini durante la fase distensiva, sia rocce vulcaniche legate all'attività pleistocenica del monte Amiata. Alle estremità dell'ambito affiorano i sedimenti neogenici appartenenti ai bacini miocenici di Baccinello - Cinigiano, verso W/NW, e al margine occidentale dei bacini di Radicofani e del Paglia, verso est. A sud i rilievi collinari confinano con i sedimenti neogenici del bacino di Saturnia, situato all'estremità settentrionale del bacino dell'Albegna.

Il settore centro meridionale è dominato dai rilievi carbonatici del Monte Labbro e dell'alta valle dell'Albegna, mentre a sud-est il M. Civitella separa il cono vulcanico dell'Amiata dagli altipiani tufacei presenti tra Sorano, Sovana e Pitigliano. Le placche del M. Labbro sono costituite da calcareniti della Falda Toscana, che poggiano sulle formazioni marnose e argillitiche. L'assetto geologico e la tettonica dell'area ha favorito anche l'insorgere di particolari paesaggi geologici annoverabili nei paesaggi da frana e tutt'oggi in evoluzione. Le placche sono smembrate da fratture beanti e trincee dovute ad un sistema di faglie normali che creano una gradinata formatasi con il sollevamento post pliocenico della dorsale del M. Labbro, probabilmente connesso con la messa in posto della camera magmatica del M. Amiata.

L'area del M. Civitella, almeno dal Pliocene inferiore, era una dorsale che separava i bacini neoautoctoni del Paglia - Tevere e del Fiora - Albegna. In questa zona affiorano le successioni appartenenti alle Unità Liguri (Unità Ofiolitifera, di S. Fiora e di Canetolo) in contatto tramite una serie di faglie normali con la Falda Toscana completa in tutti i suoi termini.

Il rilievo è formato prevalentemente da calcareniti di Dudda e Montegrossi interessati da sistemi di faglie sub verticali. Queste hanno dato origine a piccole strutture tipo graben (trincee) dovute probabilmente allo scarico tensionale laterale determinato dall'erosione delle parti circostanti. Le dimensioni ridotte e il fondo privo di vegetazione degli avvallamenti alla alle quote maggiori evidenziano l'attività recente di tali strutture. Le scarpate si sono formate e tuttora sono interessate da frane per ribaltamento, causate dalla gravità e dall'apertura dei margini delle fratture. Alla base delle pareti si trovano potenti coltri detritiche che ricoprono le sottostanti formazioni degli scisti policromi (argilliti di Brolio) e i terreni

marnoso arenacei delle Unità Liguri. Qui numerosi fenomeni franosi di scivolamento e colamento provocano la rimobilizzazione dei suddetti detriti in diversi punti.

Al di sopra delle unità liguri e toscane è sovrainposto il complesso vulcanico dell'Amiata, sede anche del più importante acquifero idropotabile della Toscana meridionale. L'edificio vulcanico è considerato uno stratovulcano costituito da un sistema di colate e flussi (ignimbriti, reoignimbriti), e duomi di composizione da dacitica a trachitica depositatosi su un substrato di unità litostratigrafiche a dominanza argillosa e comportamento impermeabile che direttamente si sovrappone al Calcere Cavernoso della successione toscana. A livello locale tra le Liguridi e il Calcere Cavernoso si interpone la successione meso - cenozoica della Falda toscana. Il quadro strutturale del complesso vulcanico amiatino è condizionato da strutture crostali estensionali attive nel Pleistocene. Il modello tettonico prevede, nella toscana meridionale plio - pleistocenica, una tettonica estensionale espressa da sistemi di faglie normali ad alto angolo che frammentano l'edificio strutturale in blocchi rigidi come horst e graben. La deformazione delle vulcaniti dell'Amiata è principalmente di carattere fragile. È stata descritta come una struttura centrale sub-circolare di collasso controllata da faglie vulcano-tettoniche arcuate che interferiscono con i sistemi di faglia regionali.

3.2 Risorse minerarie

Il distretto minerario del Monte Amiata presenta una evidente associazione spaziale e genetica con l'omonimo sistema vulcano-plutonico. Per decenni, lo sfruttamento delle risorse minerarie presenti nell'area del Monte Amiata ha permesso la crescita di una fiorente attività economica. I principali minerali coltivati nella zona sono il cinabro e l'antimonite, o stibina, ma si hanno notizie di coltivazione di altri minerali quali siderite, marcasite, realgar, orpimento, dawsonite e zolfo.

Il cinabro (HgS) è il più importante ed abbondante minerale industriale di mercurio. È un solfuro appartenente al sistema trigonale caratterizzato da un legame covalente. I cristalli sono molto rari e generalmente si trova sotto forma di masse microcristalline o terrose di colore scarlatto in vene, incrostazioni o impregnazioni.

I principali depositi metalliferi della Toscana meridionale, che rappresentano i maggiori depositi di Hg e Sb, sono associati a due unità geologiche caratteristiche e ad un controllo strutturale dovuto alle strutture tettoniche estensionali tardo appenniniche. La prima unità geologica ove si rinvengono le mineralizzazioni è costituita da metasedimenti silicoclastici paleozoici associati a rocce evaporitiche, la seconda, invece, è costituita dalle rocce magmatiche della Provincia Magmatica Toscana.

Alcuni autori in passato hanno collegato tra loro i depositi di Hg±Sb della Toscana meridionale, implicando un comune processo minerogenetico ed una sorgente di fluido. Tuttavia, Hg e Sb si trovano raramente insieme in quantità economiche, sebbene ciascuno sia presente come anomalie geochemiche nei depositi dell'altro metallo.

I depositi di Sb mostrano un'associazione privilegiata con il contatto tettonico tra le formazioni triassiche toscane (Calcere cavernoso) e il sovrastante flysch ligure mentre i depositi di Hg sono ospitati da una varietà di rocce di età compresa tra Triassico e Quaternario, appartenenti sia alle formazioni Toscane e Liguri che ai sedimenti post-orogenici del Neogene e alle giovani rocce vulcaniche del vulcano del M.te Amiata.

La mineralizzazione a mercurio si trova sotto forma di vene, impregnazioni diffuse o sostituzioni massicce di notevoli dimensioni nella roccia incassa. Tra i minerali accessori si trovano solfuri, con pirite e/o marcasite sempre presenti e localmente abbondanti; quantità minori di solfuri di As (realgar e orpimento) sono abbastanza comuni; la antimonite è scarsa (ad esempio, a Morone, dove appartiene a un evento mineralizzante precedente al cinabro); la calcopirite è segnalata alle miniere di Bagnore e Solforate; i solfuri di Ni (millerite e

vaesite) sono segnalati nelle miniere di Bagnore e Siele.

Nell'area amiatina sono presenti 14 miniere, in attività fino al 1982; si hanno notizie di coltivazione nell'area a partire dall'epoca etrusca, grazie a ritrovamenti di antichi cunicoli e reperti alla ripresa dei lavori di coltivazione ad inizio Ottocento. Durante la storia estrattiva, nel bacino mercurifero del Monte Amiata sono state estratte 3.101.500 bombole (o flask1), corrispondenti a circa 117.000 tonnellate di mercurio, per un valore (calcolato al prezzo di mercato del gennaio 2010) pari a 1.5 miliardi di dollari americani.

4. METODO DI LAVORO E STRUTTURAZIONE DELLA BANCA DATI

4.1 Potenzialità di un software GIS

Un sistema informativo geografico identificato con la sigla GIS (Geographical Information System) è un sistema informatico che permette l'acquisizione, la memorizzazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (in quanto per essi è possibile stabilire una precisa localizzazione sulla superficie terrestre) e da eventi che esistono e si verificano sul territorio.

Più in particolare i sistemi GIS sono costituiti da una serie di software in grado di trattare, analizzare e visualizzare dati e informazioni in qualche modo legati al territorio, associando a ciascun elemento geografico georeferenziato (attraverso un processo analitico con il quale un oggetto viene posizionato su una carta secondo un dato sistema di coordinate), una o più informazioni di tipo alfanumerico.

Inoltre si tratta di uno strumento completo ed efficiente, appositamente concepito sia per una precisa conoscenza del territorio, sia per il trattamento e l'analisi delle informazioni associate agli oggetti (punti, linee, superfici) georeferenziati, cioè riferiti a elementi o eventi presenti in una determinata porzione di superficie terrestre di posizione spaziale nota.

Una caratteristica sostanziale di un GIS è la capacità, come accennato poco sopra, di georeferenziare le informazioni, cioè di attribuire a ogni elemento informativo le sue coordinate spaziali relative a un opportuno sistema di riferimento (Gauss-Boaga, UTM ecc.) in cui realmente è collocato l'oggetto.

Gli obiettivi generali dei sistemi informativi geografici sono essenzialmente di creare modelli, simulare tendenze, predisporre scenari e, allo stesso tempo, di visualizzare i risultati.

Le realizzazioni più frequenti dei GIS si possono classificare in due tipologie principali di sistemi:

- per la gestione di beni e risorse, come reti tecnologiche, catasti, dati patrimoniali ecc.;
- per la pianificazione territoriale e il sostegno alle decisioni connesse alla gestione del territorio, come stesura di piani urbanistici, valutazioni di impatto ambientale ecc.

Un sistema GIS, tuttavia, non è un sistema decisionale automatico, ma piuttosto un efficace strumento per interrogare, analizzare e visualizzare dati a supporto del processo decisionale.

I sistemi GIS lavorano sulla base di due diversi modelli o tecniche di rappresentazione del territorio: il modello raster e il modello vettoriale. Con la tecnica raster (immagini) il territorio viene rappresentato attraverso una matrice di celle di forma quadrata dette pixel. A ciascun pixel sono associate le informazioni relative a ciò che esso rappresenta sul territorio. Questo modello di rappresentazione si presta bene a gestire sistemi basati su immagini satellitari o immagini ottenute tramite scanner di cartografia tradizionale.

La tecnica vettoriale è utilizzata per descrivere elementi e manifestazioni di tipo «discontinuo». Con questa tecnica il territorio viene rappresentato utilizzando gli elementi propri della cartografia numerica (punti, linee o segmenti, aree). I dati vettoriali hanno tre

proprietà fondamentali:

- geometria: rappresentazione cartografica degli oggetti come la loro forma e la loro posizione;
- topologia: relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione ecc.);
- informazioni: connesse ai dati (numerici, testuali ecc.) associati a ogni oggetto e in genere usate per rappresentare dati «discreti»

I sistemi GIS registrano le informazioni in una struttura a più livelli informativi (o tematici) detti layer, ciascuno contenente un singolo tematismo e visualizzati sullo schermo geometricamente da punti, linee o aree.

Sfruttando l'organizzazione a layer, i sistemi GIS posseggono la capacità di effettuare l'analisi delle relazioni spaziali tra gli attributi (informazioni collegate al dato geografico) del database e il collegamento di questi con la parte cartografica, quindi di rappresentare un modello del territorio.

Un sistema GIS, in sintesi, rende disponibili le seguenti funzionalità di base:

- archiviazione di dati provenienti da fonti e tecniche diversificate previa loro trasformazione e omogeneizzazione;
- organizzazione dei dati acquisiti e memorizzazione dei loro attributi grafici, topologici e alfanumerici;
- selezione e ricerca spaziale di oggetti mediante interrogazioni sulle loro componenti geometriche e/o alfanumeriche;
- disponibilità di operatori per elaborazioni e analisi spaziali sul database, con la possibilità di generazione di ulteriori nuove informazioni a partire da quelle memorizzate;
- visualizzazione delle informazioni e produzione di elaborati in uscita;
- generazione di modelli digitali del terreno (DTM).

Per garantire l'efficienza dei sistemi GIS è necessaria una generale uniformazione dell'organizzazione dei dati e il riferimento a un medesimo sistema di riferimento cartografico. Inoltre la descrizione delle informazioni connesse alle entità geometriche deve essere codificata, cioè basata su termini e simbologie convenzionalmente adottati, in modo che non sia necessario, nell'interscambio di database prodotti da enti diversi, ricorrere a una ricodifica dei termini e dei simboli utilizzati.

4.2 Scelta della piattaforma GIS

Esistono diverse soluzioni di GIS sul mercato, alcune di esse con licenza a pagamento e altri progetti Open Source che mettono a disposizione un software interamente libero e modulare.

Per la realizzazione della banca dati per il Parco Nazionale e Museo delle Miniere del Monte Amiata è stato scelto QGIS (fino al 2013 noto come Quantum GIS) un'applicazione desktop GIS open source che permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali. Attualmente è il software GIS open source più diffuso al mondo.

Essendo distribuito come pacchetto Open Source, il codice sorgente di QGIS è liberamente messo a disposizione dagli sviluppatori e può essere scaricato e modificato. Il cuore di QGIS è scritto in C++ e supporta pienamente Python 3. Questo permette la sua riprogrammazione per rispondere a specifiche esigenze. Per aumentare le funzionalità e la compatibilità possono altresì essere compilati dei plugin in Python, piccole estensioni caricate al momento del lancio del programma che ne estendono le funzioni.

In particolare la banca dati è stata sviluppata con la versione di QGIS 3.16.11 “Hannover” rilasciata a ottobre 2020; pertanto si consiglia, sul PC in cui verrà utilizzato principalmente il progetto GIS, di installare o di aggiornare all’ultima versione di QGIS disponibile in modo da potere leggere il progetto GIS sviluppato.

4.3 Fase preliminare di raccolta e selezione dei dati

L’obiettivo di questo lavoro, come già introdotto, è stato quello di creare un database digitale che comprenda un numero di dati geologici-giacimentologici di letteratura sufficientemente dettagliati sul distretto cinabrifero del M.te Amiata.

La fase preliminare per la creazione di questa banca dati è stata la raccolta di tutti i dati e le informazioni topografiche, geologiche, geofisiche, idrogeologiche e giacimentologiche reperibili inerente l’area di studio. Una porzione consistente dei dati di partenza è stata ottenuta da un’attenta selezione dei dati disponibili provenienti dal progetto GIS inerente il lavoro di tesi della Dott.ssa Lara Capitanio. Inoltre, parte del materiale utilizzato per costruire il dataset è stato reperito dal Geoportale GEOscopio della Regione Toscana e da altre fonti quali ARPAT, dal Geoportale Nazionale del Ministero dell’Ambiente ISPRA e dall’Inventario delle risorse geotermiche nazionali – MISE.

Infine, si sono anche raccolti i dati provenienti dagli archivi del Museo delle Miniere del Monte Amiata e quelli provenienti dalla campagna di esplorazione geotermica pubblicati da Calamai et alii (1970).

Il dataset è stato costruito cercando di organizzare i dati in maniera logica, come indicato nella figura n. 2, suddividendoli per prima cosa, in base alla natura dei dati stessi, essenzialmente dati raster, vettoriali in base al tipo di geometria di ogni file vettoriale (punti, linee o poligoni) e web map service (WMS).

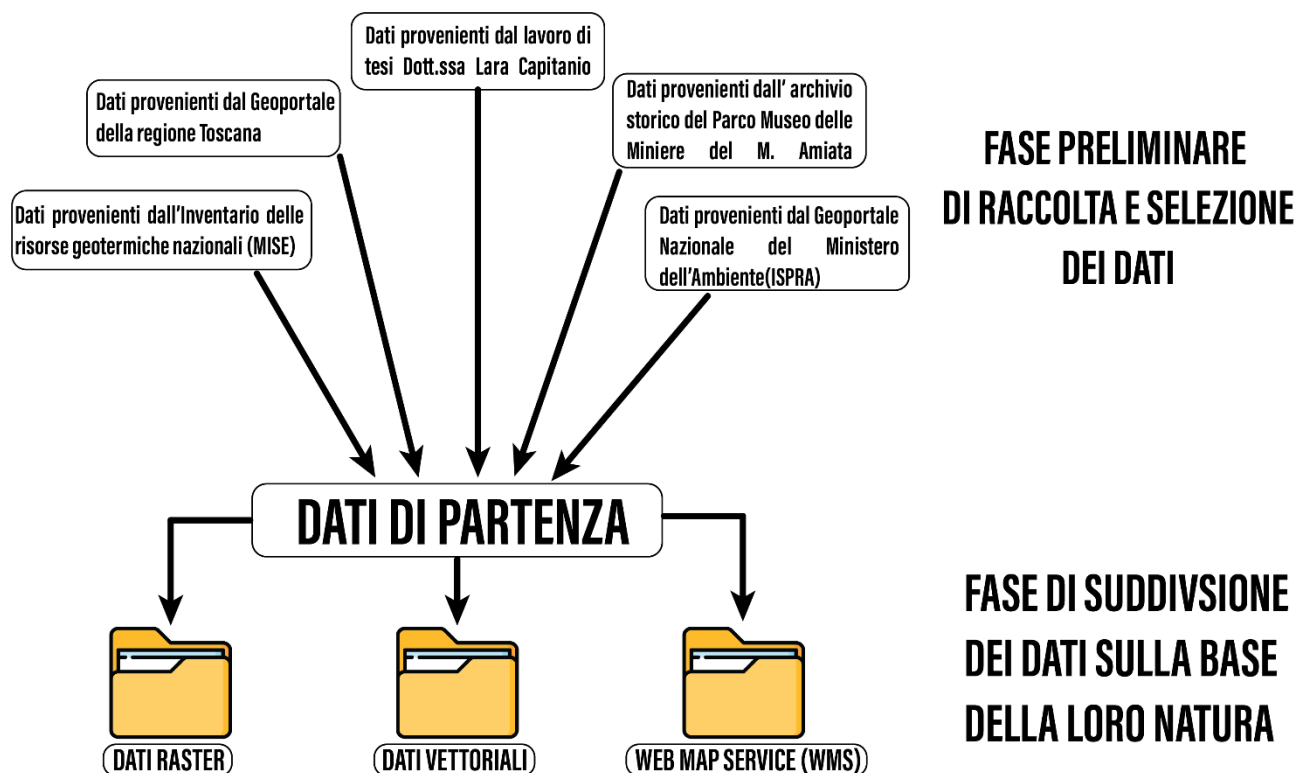


Figura n. 2 – Schema concettuale delle prime fasi di strutturazione della banca dati.

4.4 Georeferenziazione della cartografia storica

La seconda fase di lavoro si è incentrata sulla georeferenziazione della cartografia storica desunta dall'analisi dell'archivio del Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata e dal DataBase Geologico Minerario (DBGM), realizzato dal Centro di GeoTecnologie dell'Universita di Siena.

Tutte le immagini acquisite sono state prima trattate mediante programma di grafica per l'editing di immagini. In particolare, questa operazione è stata necessaria per ottenere tutti file con estensione .PNG con trasparenza di fondo in modo che l'algoritmo di georeferenziazione scelto, in fase di rotazione delle carte, non creasse bande nere di "NO DATA" come indicato nella figura n. 3.

Nella figura n. 4 invece è riportato un esempio di immagine correttamente georeferenzata in cui sfruttando un'immagine PNG con sfondo trasparente non compaiono le bande visibili nella figura n. 3.



Figura n. 3 – Esempio di georeferenziazione errata in cui l'algoritmo di georeferenziazione imposta con valori nulli le aree attorno all'immagine creando l'artefatto di bande nere sgradevoli.

Purtroppo, bisogna segnalare che alcuni file provenienti dal DBGM non possiedono una risoluzione ottimale e in fase di georeferenziazione la qualità dell'immagine è calata ulteriormente rendendo spesso difficoltosa la lettura delle informazioni geologiche e giacimentologiche.

La georeferenziazione di tutte le immagini è stata eseguita mediante punti di controllo selezionati manualmente attraverso l'analisi sistematica della carta storica con le evidenze territoriali quali la presenza di edifici o strade principali riconoscibili come indicato nella figura n. 5 e n. 6; questi punti "noti" sono stati sfruttati e utilizzati dal georeferenziatore interno al software QGIS.

Sono disponibili diversi algoritmi di trasformazione, che dipendono dal tipo e dalla qualità dei dati in ingresso, dalla natura e dalla quantità di distorsione geometrica che si è disposti a introdurre nel risultato finale, e dal numero di punti di controllo a terra (GCP).



Figura n. 4 – Esempio di immagine correttamente georeferenzata; come si può osservare rispetto all'immagine in figura n. 3 le bande nere non vengono introdotte rendendo molto più gradevole la vista complessiva del raster.

Attualmente, con l'ultima versione di QGIS sono disponibili le seguenti tipologie di trasformazione:

L'algoritmo **Lineare** non trasforma effettivamente i pixel raster permettendo il posizionamento (traslazione) dell'immagine e il ridimensionamento uniforme ma non la rotazione o altre trasformazioni. È il più adatto se l'immagine di partenza è una mappa raster di buona qualità, in un SR (sistema di riferimento) noto. Sono necessari almeno 2 GCP.

La trasformazione **Helmert** permette la traslazione ma anche la rotazione. È particolarmente utile se il raster di partenza è una mappa locale di buona qualità o un'immagine aerea ortorettificata, ma non allineata con la griglia del SR. Sono necessari almeno 2 GCP.

L'algoritmo **Polinomiale 1** permette una trasformazione con un "taglio uniforme". Le linee rette rimangono diritte (cioè, i punti collineari rimangono collineari) e le linee parallele rimangono parallele. Questo è particolarmente utile per la georeferenziazione di cartogrammi di dati. Sono necessari almeno 3 GCP.

Gli algoritmi **Polinomiale 2-3** usano polinomi di 2° o 3° grado invece di una semplice trasformazione lineare affine. Questi algoritmi permettono di tenere conto della curvatura o di altre deformazioni sistematiche dell'immagine, per esempio mappe fotografiche con bordi curvi. Sono richiesti almeno 6 GCP.

Gli angoli e la scala locale non sono conservati o trattati uniformemente in tutta l'immagine. In particolare, le linee rette possono diventare curve, e ci può essere una distorsione significativa introdotta ai bordi o lontano da qualsiasi GCP derivante dall'estrapolazione dei polinomi adattati a dati troppo lontani.

L'algoritmo **Proiettivo** generalizza il polinomio in un modo diverso, permettendo trasformazioni che rappresentano una proiezione centrale tra 2 piani non paralleli, l'immagine e il quadro della mappa. Le linee dritte rimangono dritte, ma il parallelismo non è conservato e la scala dell'immagine varia costantemente con il cambiamento di prospettiva. Questo tipo di trasformazione è più utile per georeferenziare fotografie angolate (piuttosto che scansioni piane) di mappe di buona qualità, o immagini aeree oblique. È richiesto un minimo di 4 GCP.

Infine, l'algoritmo **Thin Plate Spline (TPS)** o «rubber sheet foglio di gomma» sfrutta polinomi multipli locali per far corrispondere i GCP specificati, con una curvatura complessiva della superficie minimizzata. Le aree lontane dai GCP saranno spostate nel risultato per adattarsi alla corrispondenza dei GCP, ma per il resto saranno deformate localmente al minimo. Il TPS è molto utile per la georeferenziazione di mappe danneggiate, deformate, o comunque leggermente imprecise, o di immagini aeree poco ortorettificate. È anche utile per la georeferenziazione approssimativa e la riproiezione implicita di mappe con tipo di proiezione o parametri sconosciuti. Tecnicamente richiede un minimo di 10 GCP.

L'algoritmo utilizzato per il trattamento delle immagini è stato il metodo Helmert e quello proiettivo a seconda della qualità dell'immagine di partenza e dalla tipologia di scansione.



Figura n. 5 – Esempio di immagine georeferenziata. Si può apprezzare l'ottimo grado di sovrapposizione tra la carta georeferenziata e il servizio WMS (WebMapService) del catasto. Il rettangolo in nero indica uno zoom riportato nella figura n. X.

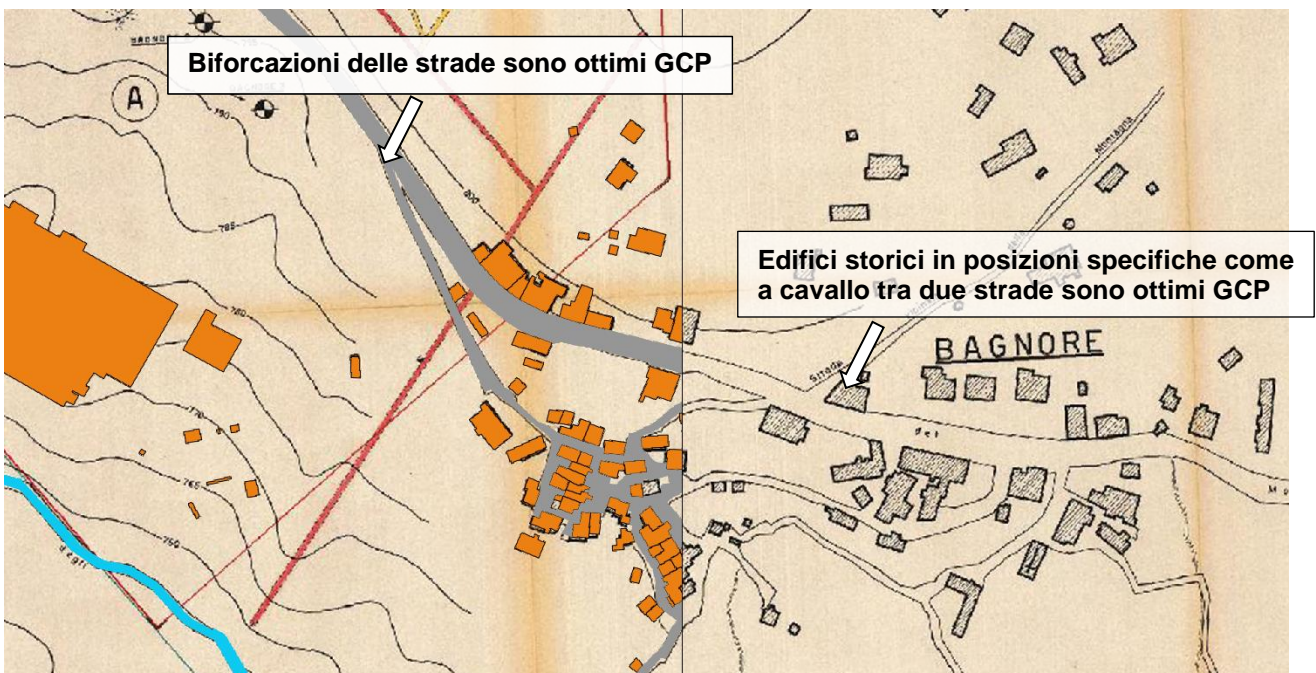


Figura n. 6 – Particolare della figura n. 5 in cui sono indicati (dalle frecce in bianco) un esempio di punti di controllo da utilizzati durante la fase di georeferenziazione.

4.5 Mappatura delle caratteristiche geologiche-giacimentologiche e territoriali

La terza fase ed ultima fase di realizzazione della banca dati è stata la mappatura degli elementi caratteristici desunti dalla cartografia storica. In particolare, come indicato nella figura n. 7, è stato creato un file vettoriale puntuale specifico denominato “Evidenze storiche.shp” nel quale sono state inserite la posizione delle varie emergenze geologiche-giacimentologiche nonché la presenza di edifici o infrastrutture legate alle vecchie miniere.

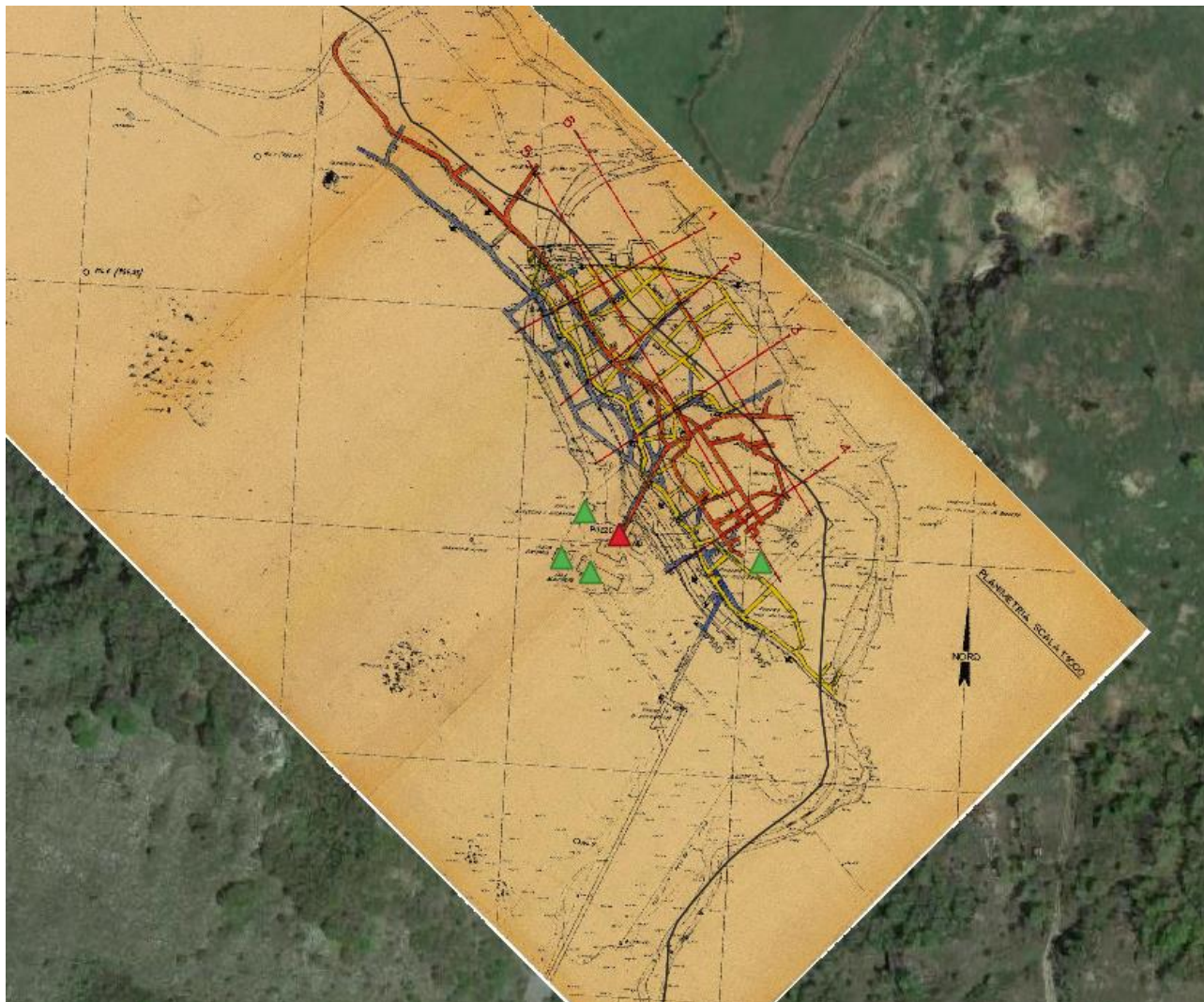


Figura n. 7 – Esempio di mappatura delle vecchie infrastrutture legate alla miniera di M. Labbro; i triangoli rappresentano il vettore “Evidenze storiche.shp”.

È stata predisposta una tabella attributi nella quale è possibile descrivere le varie tipologie di caratteristiche geologiche-giacimentologiche o evidenze territoriali in fase di inserimento. Nella figura n. 8 è riportata la struttura di tale database mentre nella tabella n. 1 è riportata la descrizione dei vari campi.

Questa procedura richiederà una continua fase di verifica tra ciò che viene mappato attraverso l’analisi della cartografia storica georeferenziata e quello che realmente è ancora presente o visibile sul territorio. In questo senso la banca dati diventa, come introdotto nel cap. 4.1, un vero e proprio strumento per la pianificazione territoriale del Parco.

	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

Figura n. 8 – Stralcio della tabella attributi relativa allo shapefile puntuale “Emergenze storiche”.

Tabella n. 1 – Descrizione dei campi inerenti la tabella attributi relativa allo shapefile “Evidenze storiche”

Campo tabella attributi	Tipo	Descrizione
Id	Numero intero	Identificativo univoco progressivo dell'emergenza mappata.
ANNO_PLAN	Testo	In questo campo contiene l'anno della planimetria/carta storica in cui è stato mappato l' i-esimo punto.
NOME_MIN	Testo	Campo contenente il nome della miniera in cui è contenuto i-esimo punto mappato
TIPOLOGIA	Testo	Codice testuale per indicare la tipologia di emergenza mappata. STO= Storica. GEO= Geologica.
DESCRIZION	Testo	Stringa di testo contenente una breve descrizione dell'emergenza mappata.
STATO_CONS	Testo	Stringa di testo contenente una breve descrizione dell'emergenza mappata.
DOC	Allegato	Campo in cui è possibile inserire una connessione ad un allegato esterno: un file testuale, un'immagine o un PDF.

5. SVILUPPI FUTURI E POTENZIALITA' DELLA BANCA DATI.

La creazione delle “fondamenta” della banca dati sono state illustrate nei paragrafi precedenti; in questo ultimo capitolo, invece, viene fornita una panoramica delle future potenzialità che può avere la banca dati per il Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.

5.1 Ambienti virtuali 3D delle Miniere storiche dell'Amiata.

Il primo sviluppo diretto è la ricostruzione schematica dell'andamento delle gallerie inerente le miniere storiche dell'Amiata. Basandosi sulla cartografia storica è possibile sfruttare degli elementi vettoriali che descrivono i vari livelli di sviluppo della miniera in questione. Queste poi possono essere rappresentate in maniera 3D attraverso un *plugin* di QGIS che permette la restituzione tridimensionale di layer di tipo raster e vettoriali come indicato nella figura n. 9 e n. 10.



Figura n. 9 – Esempio di rappresentazione 3D dell'area di Bagnore.

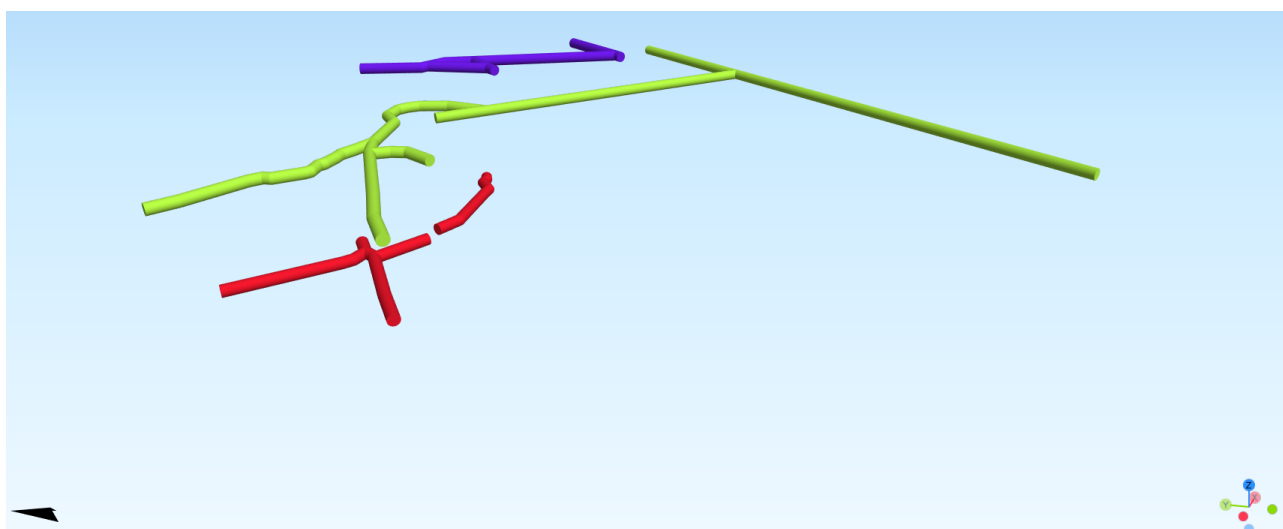


Figura n. 10 – Visualizzazione delle gallerie relative alla miniera di Bagnore. Ogni colore rappresenta un livello differente.

5.2 Sviluppo di un webGIS del Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.

Un secondo ed utile sviluppo futuro della banca dati è la sua trasformazione in un webGIS interattivo accessibile a tutti. Questo è reso possibile attraverso un plugin installabile all'interno di Qgis che permette di generare una pagina html in cui ogni layer contenuto all'interno del progetto GIS viene convertito un livello interrogabile con un singolo click. Nella figura n. 11 è riportato un esempio di prova rudimentale del Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata formato da 4 livelli: due puntuali e due lineari.

Come riportato nella figura n. 11, interrogando un singolo elemento di un livello puntuale, ad esempio quello relativo ai Pozzi geotermici, la tabella attributi dello shapefile viene convertita in un box informativo in cui è possibile consultare le principali informazioni geologiche.

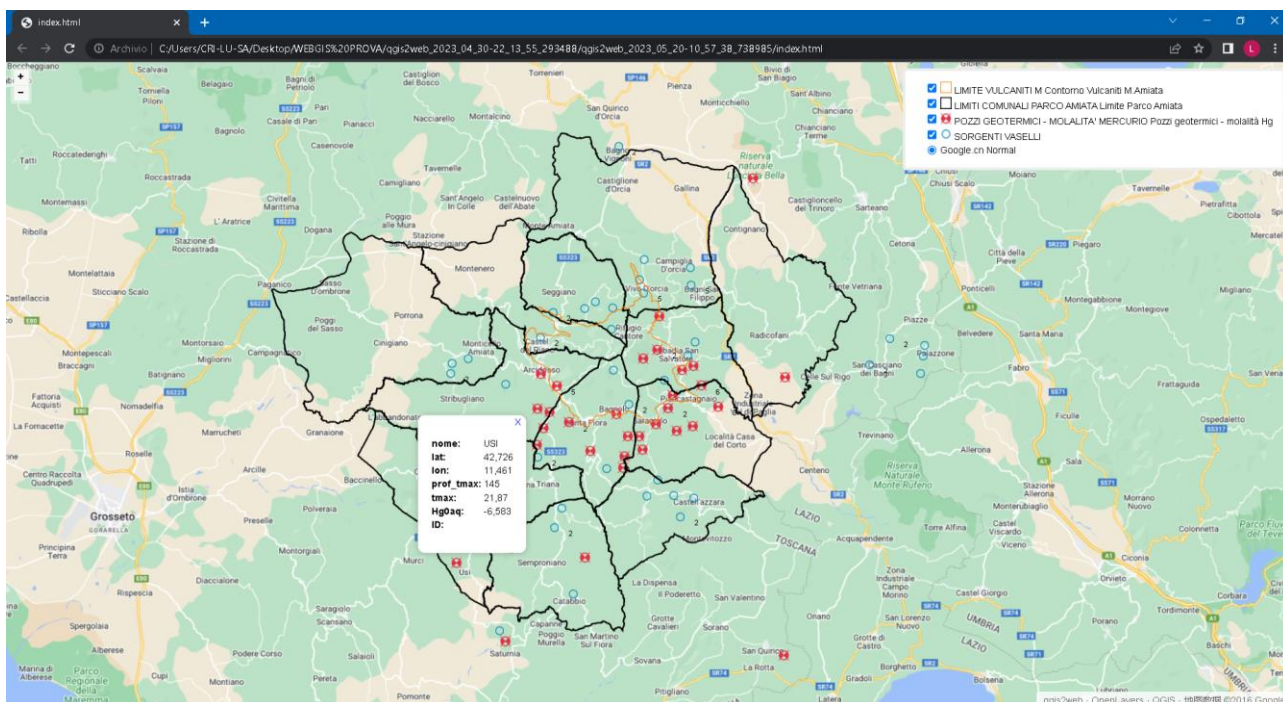


Figura n. 11 – Esempio rudimentale di un webGIS inerente il Parco Nazionale Museo delle Miniere del Monte Amiata.