UNIVERSITÀ DI PAVIA

Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Direttore: Prof. S. Seno

Corso di Laurea Magistrale in

Geoscienze per lo Sviluppo Sostenibile

Analisi congiunta dei dati di superficie e di sottosuolo e possibili correlazioni tra litologie affioranti e misure elettromagnetiche (AEM) nell'area compresa tra Villanuova sul Clisi e Clibbio (Foglio CARG Salò_100)

Relatore:

Prof. Giovanni Toscani

Correlatore

Dott. Samuele Pezzoli

Tesi di Laurea Magistrale

in Geoscienze per lo Sviluppo Sostenibile

di MARTINA REBUZZI

matr. 564233

Anno Accademico 2025/26

Sommario

1. RIASSUNTO 4
2. INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI 5
2.1 IL PROGETTO CARG 5
2.2 IL FOGLIO SALO' 7
2.3 AEM: AIRBORNE ELECTROMAGNETIC 11
2.3.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO 13
2.3.2 ELABORAZIONE E INVERSIONE DATI 13
2.4 AREA OGGETTO DI RILEVAMENTO 16
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 18
3.1 GEODINAMICA 18
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO 21
3.3 CARTOGRAFIA GEOLOGICA PRECEDENTE 24
3.4 LEGENDA 26
4. METODI 37
4.1 RILEVAMENTO E DIGITALIZZAZIONE DEI DATI 37
5. RISULTATI 41
5.1 CARTA E SEZIONI 41
5.2 ANALISI STRUTTURALE 45
5.3 SEZIONI AEM: confronto dati AEM e litologia 48
6. DISCUSSIONE 57
6.1 TABELLA RISSUNTIVA E DATI A CONFRONTO 78
7. CONCLUSIONI 81
8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 84

1. RIASSUNTO

All'interno di questo elaborato di tesi è stata rilevata e cartografata l'area che comprende i monti Selvapiana e Magno, nella zona compresa tra Villanuova sul Clisi e Clibbio, località situate in provincia di Brescia nel vicino entroterra della sponda occidentale del Lago di Garda.

Questo studio si inserisce all'interno del progetto di cartografia geologica per la realizzazione del foglio CARG Salò_100 in corso di realizzazione presso il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente.

L'elaborato introduce e descrive l'area di studio, i principali eventi geodinamici che hanno causato l'attuale struttura, riporta la cartografia geologica già esistente e ha come risultato finale (Allegato 1) la produzione della "Carta geologica di M. Magno e M. Selvapiana compresi nella zona tra Villanuova sul Clisi e Clibbio" in scala 1:10.000 corredata da legenda e da tre sezioni geologiche che descrivono le strutture rilevati.

La seconda parte della tesi mira a trovare una relazione tra i valori dei dati AEM e la litologia delle formazioni geologiche affioranti nell'area. L'obiettivo di questo lavoro è quello di individuare un range di colori tipici per ciascuna formazione geologica, da utilizzare per l'interpretazione di strutture e geometrie nel sottosuolo evidenziate dai dati AEM telerilevati. A tal fine, sono state inizialmente realizzate sezioni geologiche in aree dove una formazione affiorante era coincidente con una linea di volo AEM, per stabilire dei range di valori di resistività caratteristici della formazione geologica.

I valori di resistività rilevati sulle singole formazioni sono stati poi confrontati con i valori rilevati su altre tre sezioni geologiche aventi orientazioni e lunghezze diverse, costruite all'interno dell'area oggetto di studio e passanti per zone caratterizzate dalla presenza di roccia affiorante e da aree dove la formazione affiorante è stata derivata da interpretazione. L'obiettivo della tesi era infatti di verificare se fosse possibile dedurre la litologia presente in una certa area derivandola, almeno in prima approssimazione, dai valori di resistività.

Il risultato di questa tesi è che è possibile stabilire dei range di valori di resistività caratteristici delle diverse formazioni; tuttavia, queste misure ed i range di valori individuati presentano incertezze e aspetti ancora da analizzare ed approfondire. Sono stati rilevati casi in cui formazioni differenti, composte da rocce litologicamente differenti, presentano dei valori di resistività molto simili, mentre in altri casi a parità di formazione affiorante i range di valori di resistività erano estremamente ampi. È probabile che ciò avvenga in situazioni in cui la presenza di strutture geologiche fragili o l'intensa fratturazione favoriscano la circolazione di fluidi ed acque meteoriche che alterano notevolmente il valore di resistività "tipico" di una formazione impedendo, quindi, di ricostruire univocamente la presenza di una data formazione geologica basandosi unicamente sui dati di resistività acquisiti con la tecnica dell'AEM.

2. INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Questa tesi si prefigge di analizzare congiuntamente dati di superficie e dati elettromagnetici di sottosuolo (AEM) col fine di capire e definire la risposta che viene data da formazioni geologiche differenti ma con caratteristiche litologiche simili. Operativamente ciò ha comportato la realizzazione di una nuova carta geologica e l'analisi di dati AEM all'interno dell'area di studio scelta.

La tesi si inserisce in un progetto di cartografia geologica attivo presso il DSTA (Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente) di rilevamento geologico del foglio CARG Salò 100 e di un dottorato di ricerca (dott. Samuele Pezzoli) che ha come fine la ricostruzione strutturale e deposizionale dell'architettura geologica nella congiunzione fra il Sudalpino e la Pianura Padana (nell'area del Lago di Garda), per individuare i contributi di tettonica e clima nella distribuzione attuale degli acquiferi sotterranei.

2.1 IL PROGETTO CARG

Il Progetto CARG (Cartografia Geologica e Geotematica) rappresenta il programma nazionale di rilevamento, l'aggiornamento e l'archiviazione sistematica dei dati geologici del territorio italiano alla scala 1: 50.000, coordinato dall'ISPRA. Il progetto si prefigge di realizzare una cartografia geologica omogenea su tutto il territorio nazionale associata ad una banca dati digitale multidisciplinare a supporto delle attività scientifiche, tecniche e decisionali.

A partire dagli anni '80 è emersa in Italia la necessità di disporre di una cartografia geologica moderna, più dettagliata e soprattutto omogenea su tutto il territorio nazionale. Tale esigenza deriva dall'obsolescenza della precedente cartografia ufficiale alla scala 1:100.000, realizzata prevalentemente durante la prima metà del XX secolo e non più idonea alle crescenti necessità applicative.

Come riportato sul sito ufficiale di ISPRA (CARG-Gate - Home), il progetto CARG nasce con l'obiettivo di superare questi limiti, attraverso la produzione di una nuova cartografia geologica nazionale suddivisa in 634 fogli in scala 1: 50.000, basata su criteri metodologici condivisi e su standard aggiornati.

Un obiettivo importante del Progetto CARG riguarda la standardizzazione dei criteri di rilevamento e rappresentazione, al fine di garantire l'omogeneità dei vari fogli geologici su scala nazionale. Questo permette di confrontare e integrare i dati attraverso sistemi informativi territoriali complessi (ISPRA, 2018).

Il progetto contribuisce inoltre in maniera significativa alla valutazione e mitigazione delle pericolosità geologiche, fornendo dati essenziali per l'analisi dei rischi naturali, quali frane, subsidenza e sismicità.

In questo senso, il CARG si configura come un elemento chiave nelle strategie di prevenzione e riduzione del rischio idrogeologico (ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, 2022).

Secondo i dati più recenti forniti da ISPRA, risultano finanziati circa 400 fogli di cui una parte è già stata completata e pubblicata (circa 214 fogli), mentre numerosi sono in fase di avanzamento, con attività che includono la preparazione per la stampa, il rilevamento in corso e le fasi iniziali di avvio (Fig. 1). Nel complesso, la copertura del territorio nazionale può essere stimata intorno al 63%, evidenziando come il progetto sia ancora lontano dal completamento, ma in progressivo sviluppo. (ISPRA, 2025)

Un elemento caratterizzante del progetto è la sua articolata struttura che prevede la collaborazione tra diversi enti e soggetti: il coordinamento è infatti affidato ad ISPRA, mentre la realizzazione operativa coinvolge Regioni, Università ed enti di ricerca come il CNR e atre strutture tecniche specializzate. Le attività sono regolate da convenzioni specifiche che definiscono: ruoli, responsabilità e modalità di finanziamento, legando le diverse tranche di lavoro e cronoprogrammi molto dettagliati.

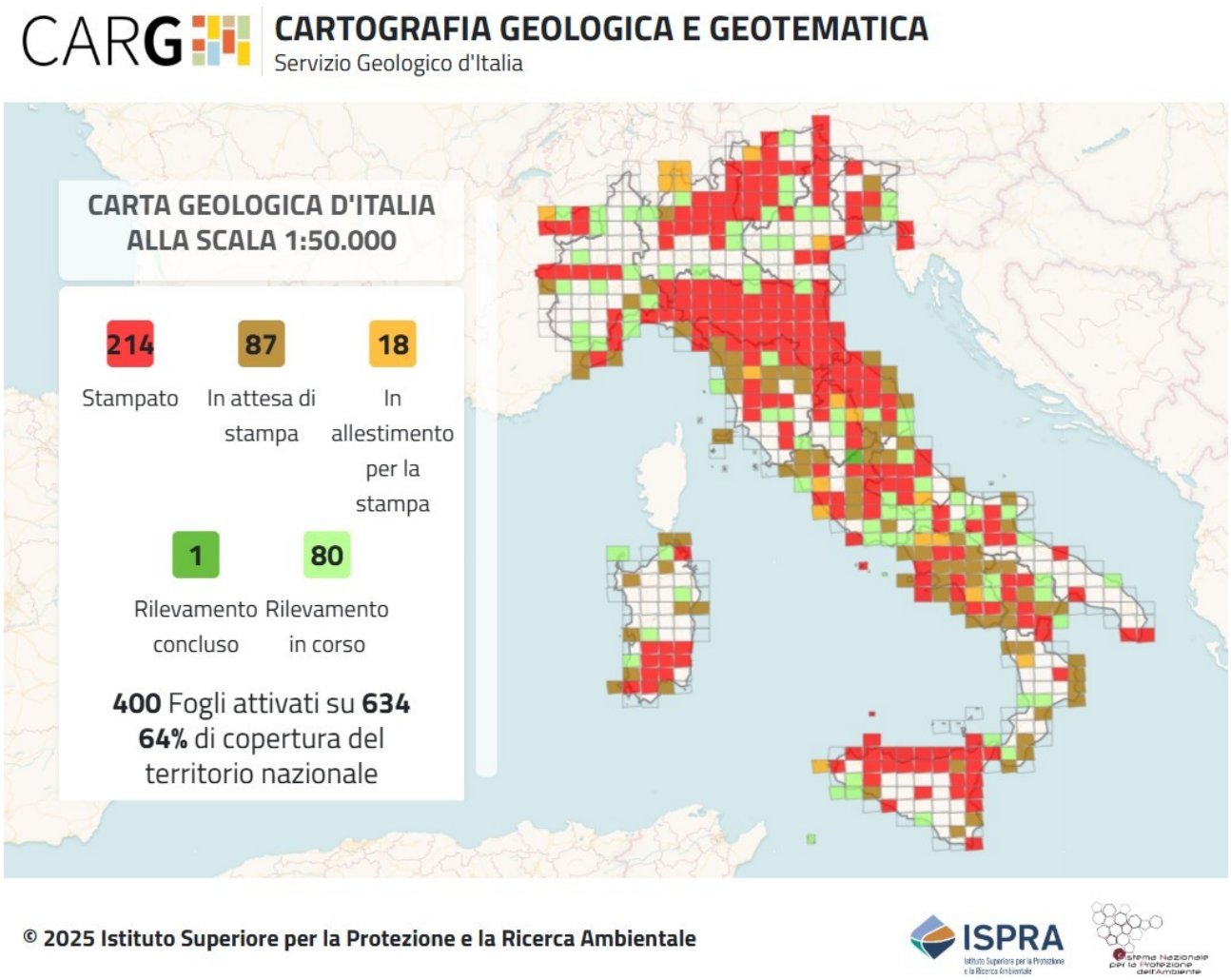


Figura 1: Stato di avanzamento del Progetto CARG – Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000. La mappa mostra la distribuzione dei fogli geologici sul territorio nazionale e il relativo stato di realizzazione. Al momento della consultazione risultano 400 fogli attivati su 634, corrispondenti a una copertura del 63% del territorio.

Fonte: ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, Progetto CARG – Cartografia Geologica e Geotematica. (ISPRA, n.d.) [aggiornato al 18 luglio 2026]

2.2 IL FOGLIO SALO'

Il foglio 100 "Salò" (Fig. 2-3) prevede la realizzazione del foglio geologico alla scala 1: 50.000 sia delle aree emerse che di quelle sommerse del Lago di Garda, nonché del foglio geologico di sottosuolo di specifiche aree.

Il foglio è situato nel settore occidentale del Lago di Garda, in provincia di Brescia, e comprende parte della Riviera Bresciana e delle aree collinari e montuose dell'entroterra gardesano. Il territorio ricade nel margine meridionale delle Prealpi Bresciane e presenta una notevole variabilità morfologica, passando dalle prime colline a nord della Pianura Padana ai rilievi alpini ed alle sponde dei bacini del Lago di Garda e Lago d'Idro.

Assumendo informazioni dalle note illustrative dei fogli CARG Brescia e Iseo (Cassinis et al., 2011; Norini et al., 2025), si è riscontrato che dal punto di vista geologico, l'area è il risultato dell'evoluzione del margine meridionale delle Alpi Meridionali, caratterizzato da una potente successione composta da carbonati depositatisi prima dell'attivazione del rifting giurassico, depositi sin-rift, sedimentazione pelagica (post rift), successioni terrigene legate all'orogenesi alpina e, infine, da depositi marini e continentali plio-pleistocenici, questi ultimi legati all'alternanza di diverse fasi climatiche durante il pleistocene e ai processi geomorfologici.

Nel Mesozoico, in particolare durante il Triassico superiore che corrisponde al periodo pre-rift, si sono deposte successioni carbonatiche appartenenti ad ambienti diversi: durante il periodo tra il Carnico superiore e il Norico l'ambiente deposizionale era quello di piattaforma carbonatica interna caratterizzata da acque molto basse che hanno favorito la deposizione di dolomie e dolomie calcare, in particolare della formazione della Dolomia Principale; successivamente, nel Retico, si assiste ad un'evoluzione del sistema deposizionale che risulta essere fortemente influenzato dalle oscillazioni del livello marino e dalla tettonica associata alle prime fasi del rifting della Tetide, in questo ambiente ha origine la formazione del Calcare di Zu.

Durante il Giurassico inferiore la piattaforma raggiunge il massimo sviluppo e si ha la deposizione della Corna. Dal Sinemuriano e per tutto il Giurassico inferiore e medio, l'area inizia ad essere interessata da tettonica estensionale che frammenta la piattaforma in un'alternanza di alti e bassi strutturali; si distinguono: il bacino Triumplino-Sebino, all'interno del quale si ha sedimentazione bacinale, l'Alto strutturale di Botticino, dove si riscontrano successioni ridotte e condensate. In particolare, la sedimentazione bacinale ha portato allo sviluppo della successione del Gruppo del Medolo, composta da depositi calcarei e marnosi associati a fenomeni di risedimentazione gravitativa, mentre in corrispondenza dell'alto strutturale si è messa in posto la successione del Corso, caratterizzata da bassi tassi di sedimentazione e livelli ricchi in ammoniti.

Un ulteriore fase di tettonica estensionale avvenuta tra il Toarciano e l'Aaleniano ha controllato la deposizione del Gruppo di Concesio, anch'esso costituito da una facies bacinale e da una di alto strutturale, ulteriore testimonianza dell'attività tettonica estensionale e del graduale riempimento dei bacini sedimentari.

Con la temporanea cessazione dell'attività tettonica, si riscontra una diffusa e abbondante sedimentazione pelagica, rappresentata dal Gruppo del Selcifero Lombardo, in seguito, si ha la deposizione della Maiolica, dovuta al sostanziale livellamento delle differenze paleobatimetriche ereditate dal rifting, e delle successioni marnoso-calcaree cretaciche (Scaglia Variegata e Scaglia Rossa). Con l'avvio dell'orogenesi alpina si ha anche l'inizio dell'apporto dei depositi terrigeni quali Scaglia Variegata Alpina e Scaglia Rossa, localmente interessata da intercalazioni torbiditiche che segnano la transizione ai primi sistemi flyschoidi come, ad esempio, la formazione del Flysch di Pontida.

Sull'area del foglio Salò, si riscontra la presenza di calcareniti appartenenti alla Formazione di Manerba, che rappresentano una sedimentazione marina locale avvenuta durante l'Oligocene. Successivamente, a causa della progressiva deformazione ed erosione legate all'evoluzione alpina, nel Miocene si ha una prevalente sedimentazione continentale, che nella zona del foglio Salò è rappresentata da conglomerati (Messiniano), intercalati poi da strati argillosi dovuti alla trasgressione del mare durante il Pliocene (Formazione del Colle di San Bartolomeo).

La successione quaternaria (Pleistocene), invece, come già accennato precedentemente, rappresenta l'evoluzione geomorfologica più recente dell'area, strettamente collegata alle oscillazioni climatiche del Pleistocene e all'evoluzione del ghiacciaio del Benaco e relative morene. I depositi sono la testimonianza dell'alternarsi di fasi glaciali e interglaciali, attraverso successioni fluvioglaciali, glaciali e fluviali attribuite a diversi supersistemi identificati nelle note illustrative dei Fogli Iseo e Brescia (Cassinis et al., 2011; Norini et al., 2025); in particolare, l'ultimo massimo glaciale ha portato alla formazione degli anfiteatri morenici e delle principali piane fluvioglaciali dell'area mentre l'evoluzione olocenica è rappresentata da depositi alluvionali, detriti di versante, coltri loessiche e accumuli gravitativi che sono l'espressione dei processi geomorfologici che ancora oggi modellano il territorio.

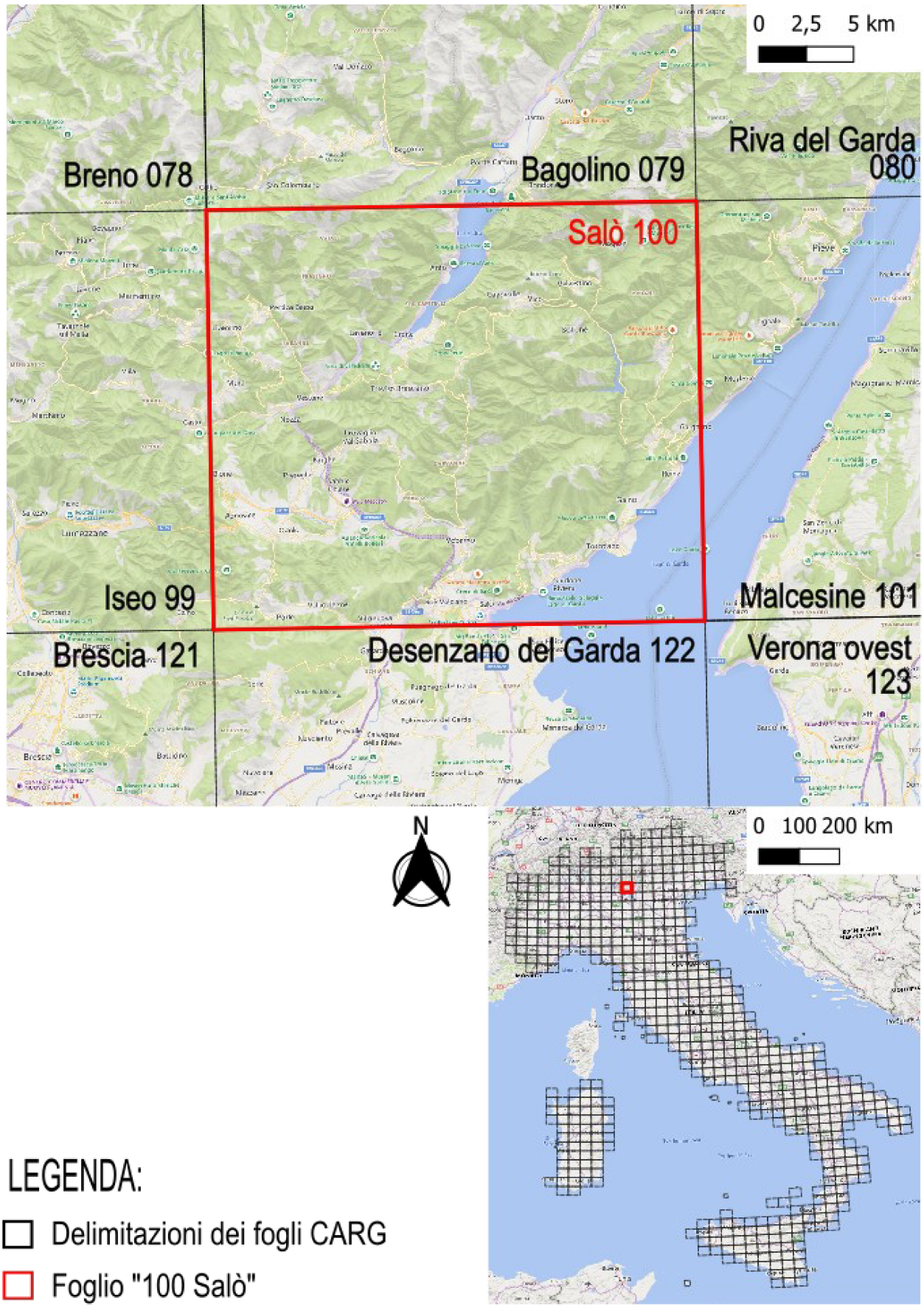


Figura 2: Inquadramento dell'area del Foglio Salò: la griglia rappresenta la suddivisione dei fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 nell'ambito del progetto ARG. Sono identificagli i fogli adiacenti: 078 Breno, 079 Bagolino, 099 Iseo, 121 Brescia e 122 Desenzano Del Garda; in rosso è evidenziato il "Foglio 100 Salò", oggetto del presente studio. Elaborazione dell'autore su base cartografica Bing Maps.

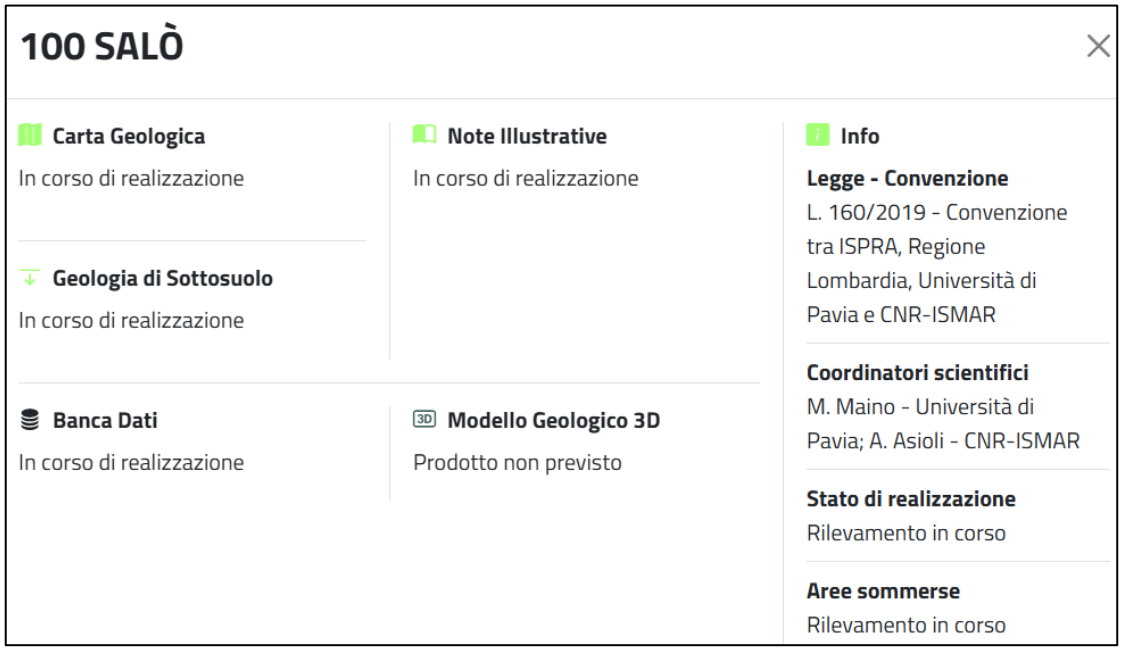


Figura 3: Scheda del Foglio 100 "Salò" del Progetto ACRG, riportante lo stato di avanzamento della Carta Geologica, delle note illustrative, della geologia del sottosuolo, della banca dati e le principali informazioni amministrative e scientifiche relative al foglio.
Fonte: ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, Progetto CARG – Foglio 100 Salò [Aggiornato al 18 luglio 2026]

2.3 AEM: AIRBORNE ELECTROMAGNETIC

L'Airborne Electromagnetics (AEM) è una tecnica di prospezione geofisica aerotrasportata che ha lo scopo di stabilire le proprietà elettriche del sottosuolo. Attualmente, questo metodo è considerato uno degli strumenti più efficaci nel capo dell'idrogeofisica e della modellazione idrogeologica grazie anche alla possibilità di acquisire velocemente un gran numero di misure distribuite su aree molto vaste. Infatti, come riportato da Meneghini e Viezzoli (2014), l'AEM consente di investigare superfici dell'ordine di interi bacini idrogeologici, mantenendo una densità di campionamento sufficientemente elevata per ricostruire la variabilità laterale e verticale delle strutture sepolte.

Il risultato principale di una prospezione AEM è rappresentato da un modello tridimensionale della resistività elettrica del sottosuolo, la quale viene espressa in ohm metro (Ωm). La resistività costituisce il reciproco della conducibilità elettrica e varia in base alla composizione mineralogica, alla tessitura, alla porosità, al contenuto d'acqua e alla salinità dei fluidi interstiziali. In ambito idrogeologico, questa proprietà può contribuire alla distinzione tra materiali relativamente resistivi, come sabbie e ghiaie contenenti acqua dolce, e materiali più conduttivi, come depositi argillosi e terreni saturi di acqua mineralizzata (Spagnoli, 2020).

È importante, tuttavia, sottolineare che la relazione tra resistività e caratteristiche idrogeologiche non sia univoca: uno stesso intervallo di resistività può essere associato a diverse litologie o condizioni di saturazione e salinità. Quindi, i dati AEM non forniscono direttamente né univocamente la natura litologica del sottosuolo, ma devono essere interpretati e calibrati mediante informazioni indipendenti, quali stratigrafie di pozzo, log stratigrafici, analisi idrometriche e dati geologici. Integrare questi dati rende possibile attribuire un significato idrostratigrafico ai modelli di resistività e di ridurre i problemi di non univocità dell'inversione geofisica (Minsley et al., 2020; Viezzoli and Menghini, 2014).

L'AEM fu inizialmente sviluppata per le esplorazioni minerarie e poi venne impiegata per risolvere problemi legati all'idrogeologia, tema che ha richiesto lo sviluppo e l'aggiornamento delle tecnologie utilizzate; si è quindi passati da sistemi installati su aeromobili a sistemi elettromagnetici trasportati da elicotteri, in particolare si parla di sistemi Helicopter Time-Domain Electromagnetic, HTEM (Spagnoli, 2020; Viezzoli and Menghini, 2014).

Nei sistemi trasportatiti da elicottero, il trasmettitore e il ricevitore sono installati su una struttura, definita frame, sospesa sotto il velivolo (Fig. 4). La velocità di volo ridotta, la minore distanza dal terreno e il controllo continuo della posizione, della quota e dell'inclinazione del sistema consentono di ottenere una migliore risoluzione delle strutture superficiali rispetto ai sistemi ad ala fissa.

La profondità effettiva di investigazione non è costante e dipende dal tipo di sistema, dal momento trasmittente, dalla resistività del sottosuolo, dalla quota di volo e dal rapporto tra segnale e rumore. Per applicazione idrogeologiche possono essere raggiunge profondità di investigazione nell'ordine di 200-300m, mentre in sistemi ad alta potenza, con condizioni favorevoli si possono raggiungere anche 500-600m di profondità (Menghini and Viezzoli, 2013; Viezzoli and Menghini, 2014).

Come riportato da Spagnoli (2020), i sistemi AEM possono operate in due diversi domini: quello della frequenza (FDEM), oppure quello del tempo (TDEM). Nei primi, il trasmettitore genera campi elettromagnetici sinusoidali continui a una o più frequenze e il ricevitore misura l'ampiezza e lo sfasamento del campo secondario rispetto a quello primario; i dati vengono poi normalizzati rispetto al campo primario ed espressi in ppm.

In genere le frequenze elevate danno misure più accurate delle porzioni superficiali mentre le basse frequenze riescono a fornire informazioni a maggiori profondità.

Nei sistemi TDEM, invece, viene analizzato il decadimento del segnale elettromagnetico successivo allo spegnimento della corrente. L'ampiezza dei dati può essere espressa come voltaggio normalizzato rispetto alla corrente trasmessa e alla geometria del sistema.

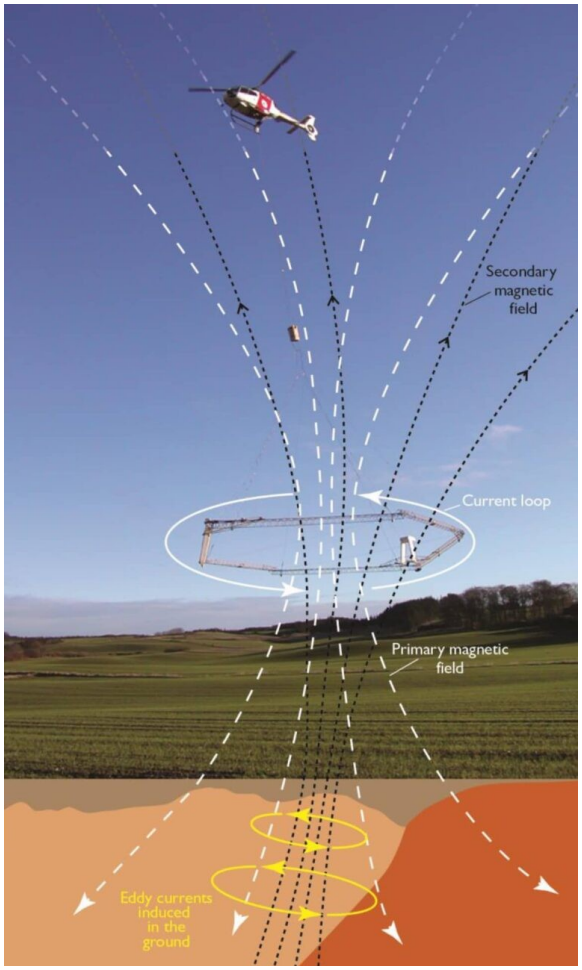


Figura 4: Schema della fase di acquisizione AEM mediante il sistema elitrasportato SkyTEM. Le traiettorie tratteggiate e gli anelli nel terreno costituiscono una rappresentazione shcematica della diffusione del campo e delle correnti indotte. Riportato da Viezzoli e Meneghini (2014) e modificato dall'autore.

2.3.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il funzionamento del metodo AEM si basa sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica; questo sistema comprende generalmente un circuito trasmittente e una bobina ricevente che, nei sistemi HTEM, sono montati sul frame sospeso sotto l'elicottero, insieme agli strumenti di navigazione, agli altimetri laser e ai sensori per misurare l'inclinazione del sistema. (Spagnoli, 2020).

Nei sistemi TDEM, il loop trasmittente è percorso da una corrente elettrica che crea il campo magnetico primario, la cui intensità può variare da 2 a oltre 100 A.

Al termine della fase di energizzazione (time-on), la corrente viene bruscamente interrotta (turn-off): questa variazione induce nel sottosuolo delle correnti elettriche secondarie che si propagano sia lateralmente che in profondità con geometrie simili ad "anelli di fumo" (Viezzoli and Menghini, 2014).

Il campo magnetico secondario è, invece, generato dalle correnti indotte; esso viene registrato durante il periodo in cui il trasmettitore è spento e questo permette di ridurre le interferenze con il campo primario (Spagnoli, 2020; Viezzoli and Menghini, 2014).

2.3.2 ELABORAZIONE E INVERSIONE DATI

I dati acquisiti durante il volo sono suddivisi in dati elettromagnetici e dati di navigazione; i primi comprendono le ampiezze misurate nei diversi gates o alle diverse frequenze, nonché le caratteristiche della corrente e della geometria del sistema, i secondi (dati di navigazione) includono posizione, quota e velocità di sorvolo e inclinazione del frame.

Prima di essere interpretati, i dati vengono sottoposti a una fase di processing, durante la quale si effettua la verifica e la correzione dei dati di navigazione, l'eliminazione dei segnali influenzati da strutture, lo stacking delle misure, l'applicazione di filtri e la rimozione dei dati con un rapporto segnale-rumore insufficiente. Queste correzioni sono particolarmente importanti nel campo dell'idrogeologia, dove i contrasti di resistività possono essere relativamente ridotti (Viezzoli and Menghini, 2014).

I dati processati vengono successivamente sottoposti a inversione geofisica, attraverso la quale si ottengono modelli di resistività in grado di riprodurre le osservazioni elettromagnetiche.

Il processo di inversione non sempre produce una rappresentazione unica e verosimile del sottosuolo in quanto il risultato finale dipende sia dai dati ottenuti che dalla parametrizzazione scelta, dal modello iniziale e dal tipo di regolarizzazione applicato. (Spagnoli, 2020).

Un importante aspetto da tenere in considerazione durante l'interpretazione dei risultati è la Depth of Investigation (DOI): questa misura non rappresenta una profondità massima che viene indagata dallo strumento ma bensì è la quota al di sotto della quale l'affidabilità del dato risulta bassa a causa del minor apporto di dati che sono anche influenzati dallo starting model (Spagnoli, 2020).

La profondità investigabile dipende dalla distribuzione della resistività nel sottosuolo, dal livello di rumore elettromagnetico, dal rapporto segnale-rumore e dalle caratteristiche del sistema di acquisizione; di conseguenza, uno stesso strumento può raggiungere differenti profondità in base alle caratteristiche del terreno da investigare (Viezzoli and Menghini, 2014).

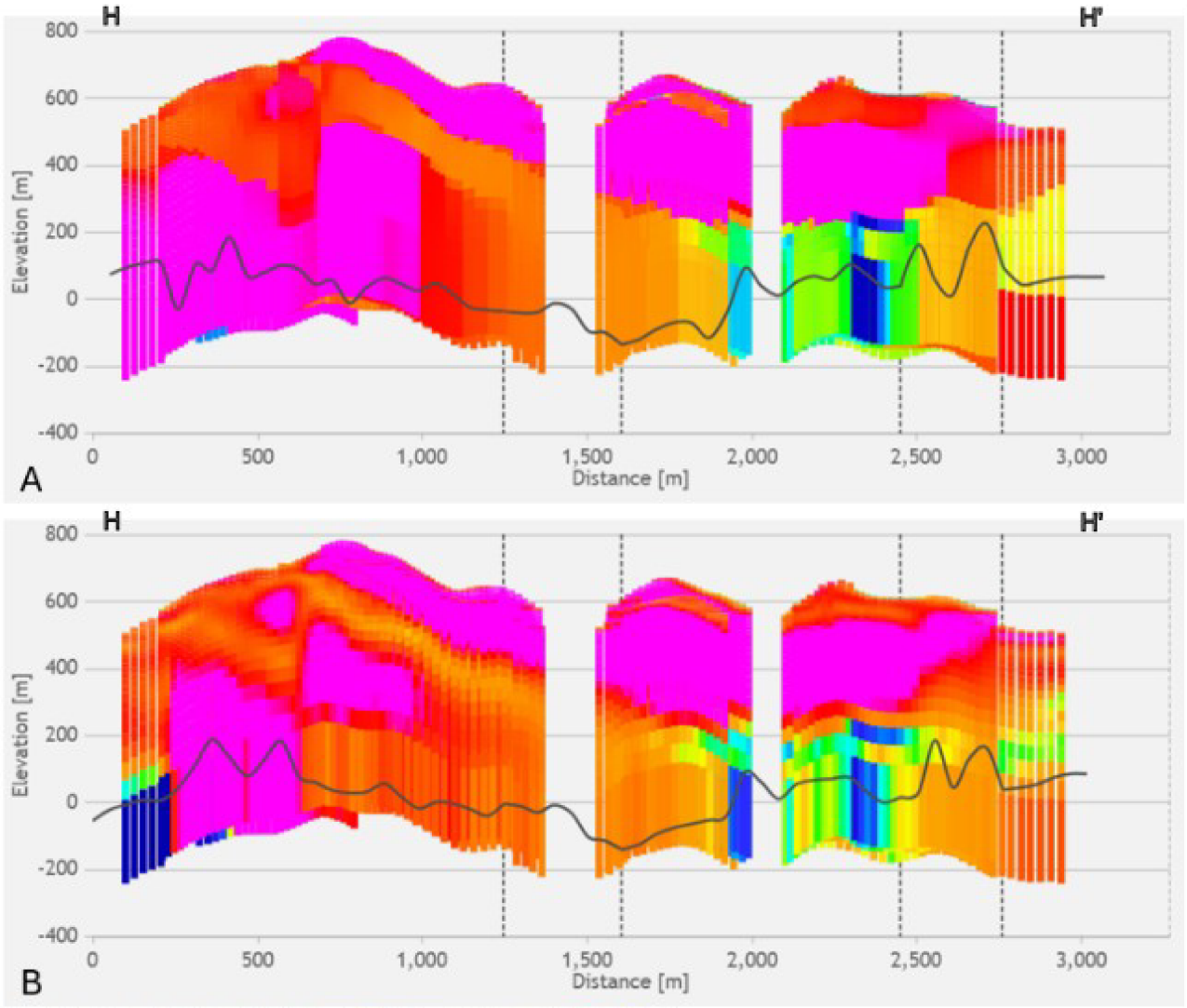
Come si può osservare confrontando gli studi di Spagnoli (2020), Viezzoli & Meneghini (2014) e l'articolo di Minsley et al. (2020), la profondità della DOI può variare anche in base al metodo di inversione utilizzato.

Esistono e vengono adottate principalmente due tipologie di inversione: la smooth e la sharp. La prima è stata progettata per produrre modelli nei quali la resistività varia in maniera graduale; in essa il sottosuolo viene suddiviso in un elevato numero di strati, i cui spessori aumentano in modo logaritmico con la profondità. L'inversione sharp, invece, è stata sviluppata per generare modelli maggiormente focalizzati e caratterizzati da transizioni più nette; anch'essa mantiene una suddivisione in più strati ma viene anche utilizzata una famiglia di stabilizzatori denominata Minimum Gradient Support, la quale ha il compito di concentrare le variazioni di resistività in un numero relativamente piccolo di intervalli. Questo, favorisce una rappresentazione più marcata e "a blocchi" rispetto a quella dell'inversione smooth.

In generale non esiste una strategia universalmente migliore, ma va adottata l'inversione più adatta alle caratteristiche geologiche dell'area indagata ai fini dell'indagine. L'inversione smooth risulta generalmente più adatta per indagare successioni sedimentarie e geometrie che presentano ampia continuità laterale e variazioni geometriche blande o graduali. L'inversione sharp risulta invece essere più efficace quando l'obiettivo è il riconoscimento di superfici e/o contatti relativamente netti, in particolare nelle formazioni profonde del bedrock.

Come si può osservare nella Fig. 5, dai dati elettromagnetici si possono estrarre delle sezioni di sottosuolo dove i vari colori rappresentano range di valori di resistività elettrica; in questo esempio è riportata una sezione appartenente all'area oggetto di questa tesi, rappresentata nel caso A con l'inversione sharp e nel caso B con l'inversione smooth, si possono così osservare le differenze grafiche che sono state precedentemente esposte.

Nella Fig. 5 i dati rappresentati non sono ancora stati ricalibrati in base alle diverse litologie presenti nel sottosuolo; questo procedimento è infatti il fulcro di questa tesi che ha lo scopo di capire se è possibile associare a determinati valori di resistività una data litologia precisa.



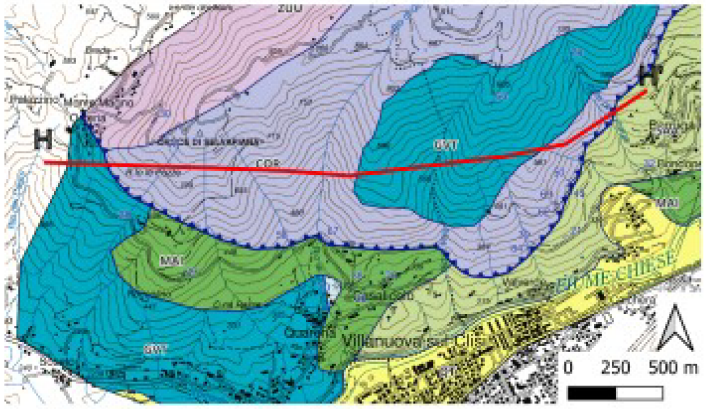


Figura 5: Confronto tra due strategie differenti di inversione applicate ad una sezione presente nell'area di studio: (A) modello di resistività ottenuto mediante l'inversione sharp, caratterizzato da variazioni più nette e da una rappresentazione a blocchi dei contrasti elettrici; (B) modello ottenuto mediante l'inversione smooth, nella quale le variazioni di resistività risultano più graduali e continue. In grigio e con uno spessore marcato è rappresentata la DOI. Entrambe le elaborazioni si riferiscono alla medesima sezione e sono utilizzate come esempio comparativo delle due tipologie di inversione. Elaborazione dell'autrice su dati forniti da A2A Brescia

2.4 AREA OGGETTO DI RILEVAMENTO

L'area oggetto di rilevamento e studio di questa tesi di trova all'interno dell'area del foglio Salò (Fig. 6). La zona copre una superficie pari a 19.98 chilometri quadrati ed è situata a nord del comune di Villanuova sul Clisi e si estende fino a Clibbio, mentre a est il confine è segnato dal comune di Vobarno e Roè Volciano.

Sono compresi diversi rilievi tra cui: il Monte Renico (886m s.l.m.), il Monte Acuto (745m s.l.m.), il Monte Selvapiana (966 s.l.m.) e il Monte Coro (753m s.l.m.), nonché il dosso Covolo (757m. s.l.m.). La maggior parte del confine dell'area è segnato dal Fiume Chiese; inoltre, all'interno della zona di rilevamento sono presenti corsi d'acqua minori perlopiù di carattere stagionale (Fig. 7).

Dal punto di vista geomorfologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di forme carsiche, tra cui doline e cavità ipogee, alcune delle quali documentate in letteratura speleologica (Alberti & Vailati, 1981).

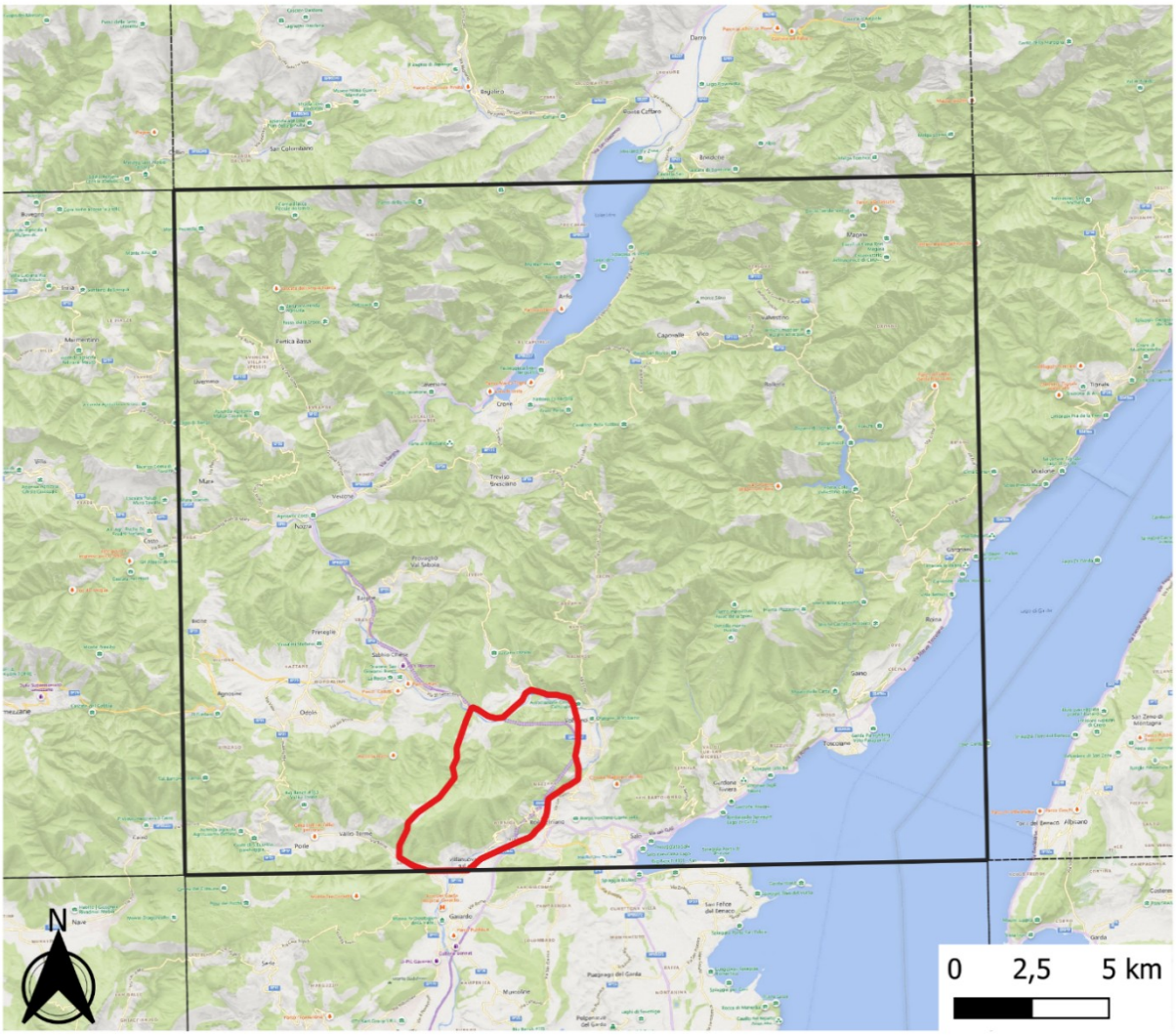


Figura 6: inquadramento dell'area di studio. La mappa, realizzata dall'autore utilizzando come base cartografica Bing Maps, mostra in nero il reticolo dei fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG) e in rosso il limite dell'area oggetto di rilevamento geologico e studio.

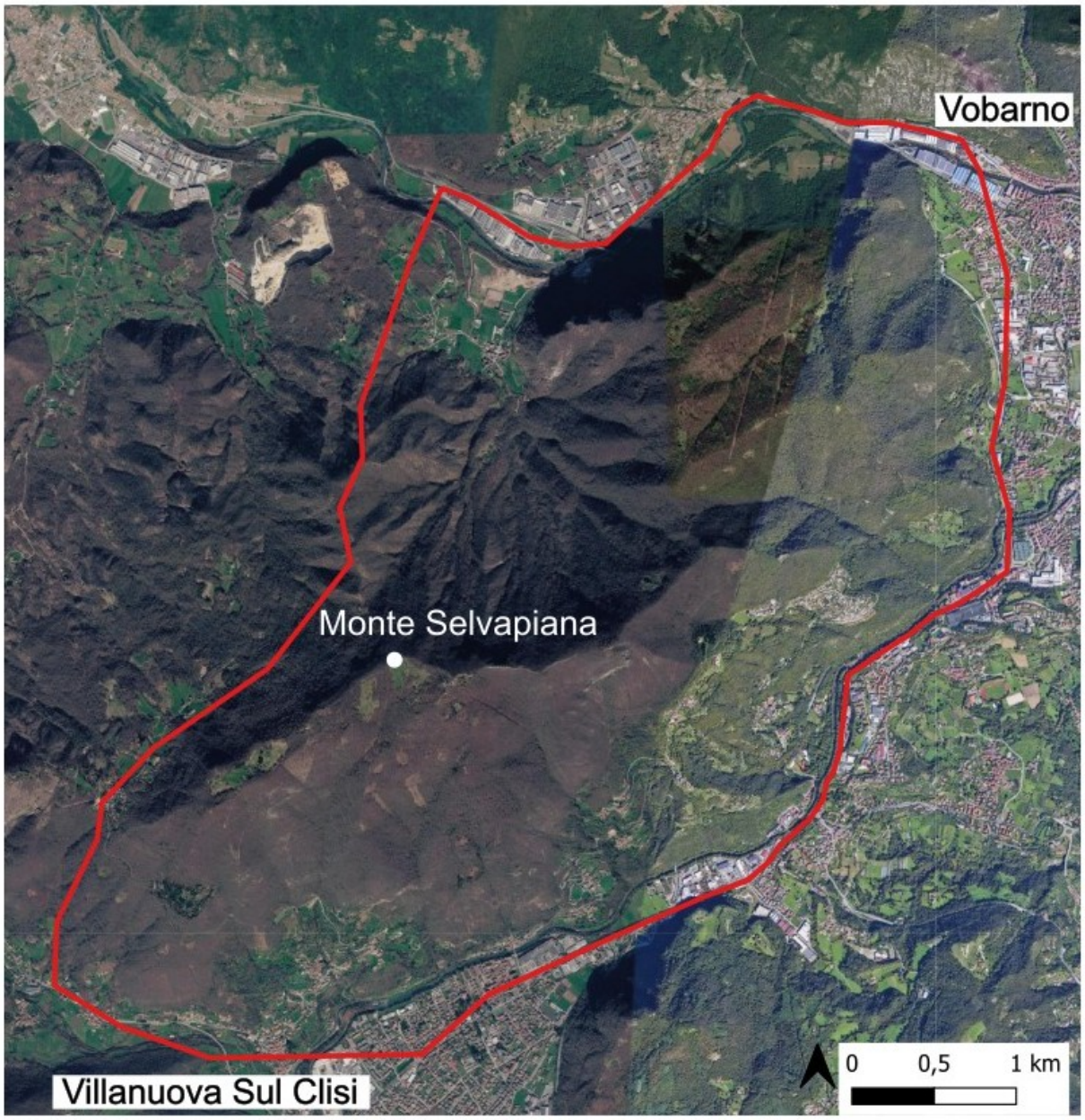


Figura 7: inquadramento dell'area di studio su immagine satellitare di Google Earth. Il contorno rosso delimita l'area oggetto del rilevamento geologico svolto durante il lavoro di campagna.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 GEODINAMICA

Tra il Carbonifero superiore e il Permiano inferiore, mentre prosegue la subduzione della PaleoTetide al di sotto del margine eurasiatico, inizia l'apertura del nuovo oceano NeoTetide. Questo processo ha origine a est dell'Australia e si propaga progressivamente verso il Mediterraneo orientale, come documentato dai pattern di subsidenza osservati lungo il margine meridionale del nuovo bacino oceanico. L'apertura della NeoTetide è strettamente associata al distacco del margine settentrionale del Gondwana, questo ha dato inizio alla deriva del continente verso nord in direzione dell'Eurasia (Stampfli and Borel, 2002).

Gli autori interpretano la separazione dei blocchi cimmerici come una conseguenza diretta dell'aumento delle forze di *slab pull* generate dalla subduzione della dorsale medio-oceanica della PaleoTetide al di sotto del margine eurasiatico. Il rollback della placca in subduzione ha poi determinato l'apertura di numerosi bacini di retroarco lungo il margine dell'Eurasia, contribuendo al definitivo collasso dell'orogene Varisico.

Nel Triassico medio si assiste al passaggio da un regime collisionale ad uno estensionale seguito, nel Giurassico inferiore, da un'ulteriore evoluzione strettamente legata alla frammentazione della Pangea: l'apertura dell'Oceano Atlantico centrale ha determinato un progressivo spostamento dell'Africa verso est rispetto all''Europa che ha portato all'apertura della Tetide Alpina sviluppatasi come un ampio bacino di tipo *pull-apart* (Coward and Dietrich, 1989).

Durante questo lasso di tempo (Norico-Giurassico inf.), si sono sviluppati sistemi di faglie normali listriche ed ha avuto inizio il progressivo assottigliamento della crosta continentale appartenente al margine Sudalpino, il quale è la testimonianza del passaggio da una fare di rifting continentale ad una di drifting (Bertotti et al., 1993).

Nel Lias medio, la deformazione estensionale si è spostata progressivamente verso ovest, fino ad arrivare ad avere la definitiva separazione crostale e l'inizio del formarsi di nuova crosta oceanica, avvenuta non oltre 157 Ma fa (Bertotti et al., 1993).

Il nuovo oceano, orientato approssimativamente NNE-SSW, è delimitato lateralmente da importanti sistemi di faglie trasformi, con il margine europeo-iberico a ovest e il promontorio adriatico dell'Africa a est; questa configurazione ha determinato l'assetto strutturale che caratterizza ancora oggi l'arco alpino. La Tetide Alpina costituisce la prosecuzione orientale dell'Atlantico centrale, poiché tra Africa ed Europa non si svilupparono altri domini oceanici durante il Giurassico (Stampfli and Borel, 2002).

A partire dal Cretacico il regime cinematico tra la placca africana ed europea diventa progressivamente convergente, ha così inizio l'orogenesi alpina e la progressiva chiusura della Tetide Alpina. Questo processo ha inizio con la subduzione che continua con la collisione continentale tra Adria ed Europa e culmina nella formazione della catena alpina (Bertotti et al., 1993).

L'orogenesi alpina è articolata in due principali fasi: la prima, Eoalpina, ha avuto luogo durante il Cretacico, ha preceduto la collisione continentale vera e propria e ha interessato anche il margine europeo, dove si sono sviluppate strutture compressive. La seconda fase corrisponde alla collisione continentale alpina, quando la completa subduzione della litosfera oceanica ha determinato la collisione tra il promontorio adriatico della placca africana e il margine europeo; questo evento ha provocato l'impilamento delle falde tettoniche, il marcato ispessimento della crosta e la definitiva edificazione della catena alpina, conferendole gran parte dell'assetto strutturale che ancora oggi osserviamo (Coward and Dietrich, 1989).

L'assetto strutturale delle Alpi conserva ancora oggi l'eredità dell'evoluzione mesozoica: il margine passivo adriatico è rappresentato dai domini Austroalpino e Sudalpino (appartenenti alla placca africana), mentre il margine europeo comprende i domini Pennidico (crosta oceanica della Tetide Alpina) ed Elvetico (copertura sedimentaria e parte del basamento del margine europeo). Inoltre, il contatto principale tra questi domini coincide con la sutura alpina, lungo la quale sono preservati lembi di ofioliti e unità metamorfiche testimonianza della chiusura dell'oceano tetideo durante l'orogenesi alpina (Dal Piaz et al., 2003; Scrocca, 2003).

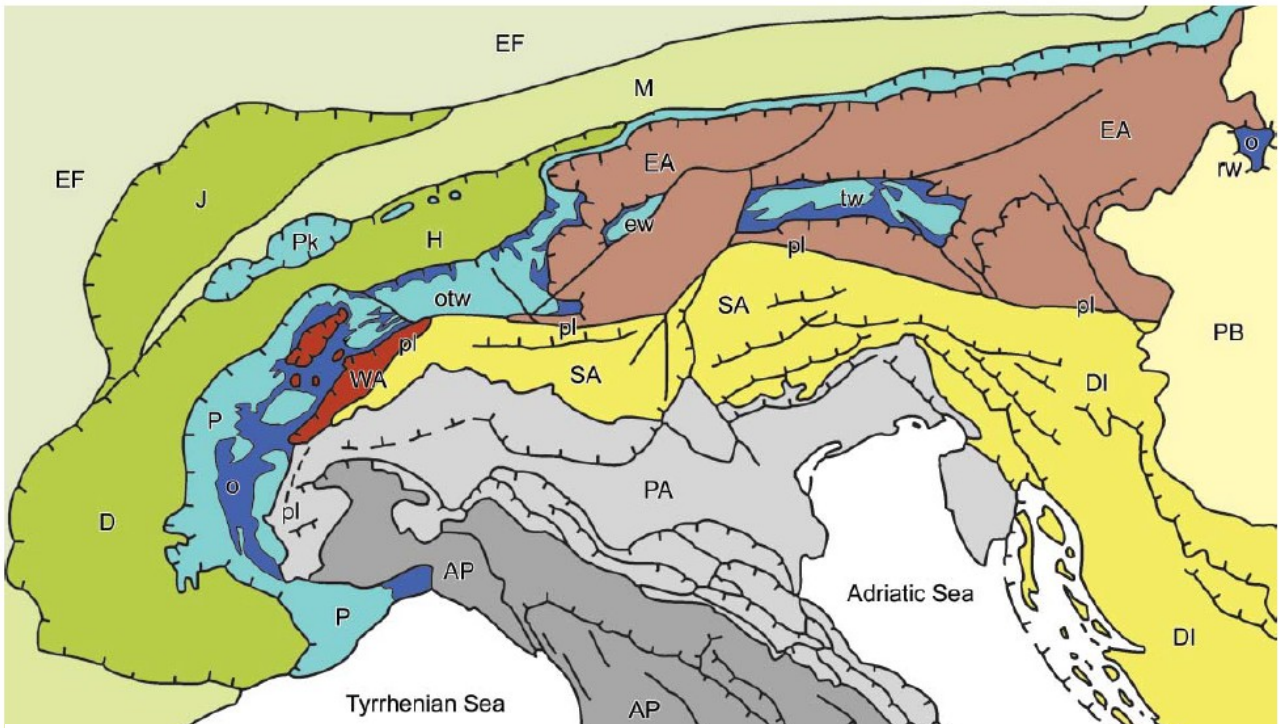


Figura 8: Cintura collisionale a vergenza europea: i) Austroalpino occidentale (WA) e orientale (EA); ii) dominio Pennidico: falde continentali e ofiolitiche (o) nell'arco alpino occidentale (P) e finestre tettoniche (otw: Ossola-Ticino; tx: Tauri; rw: Rechnitz); klippen pralpine (Pk); iii) dominio Elvetico-Delfinese (H-D); iv) avanfossa della Molassa (M); v) carena del Giura (J). (2) Alpi Meridionali (SA), delimitate a nord dal lineamento Periadriatico (pl). Bacino Pannonico (PB), avanpaese europeo (EF) e padano-adriatico (PA), e catene a pieghe e sovrascorrimenti dinarica (DI) e appenninica (AP). Immagine tratta da Dal Piaz et al., 2003.

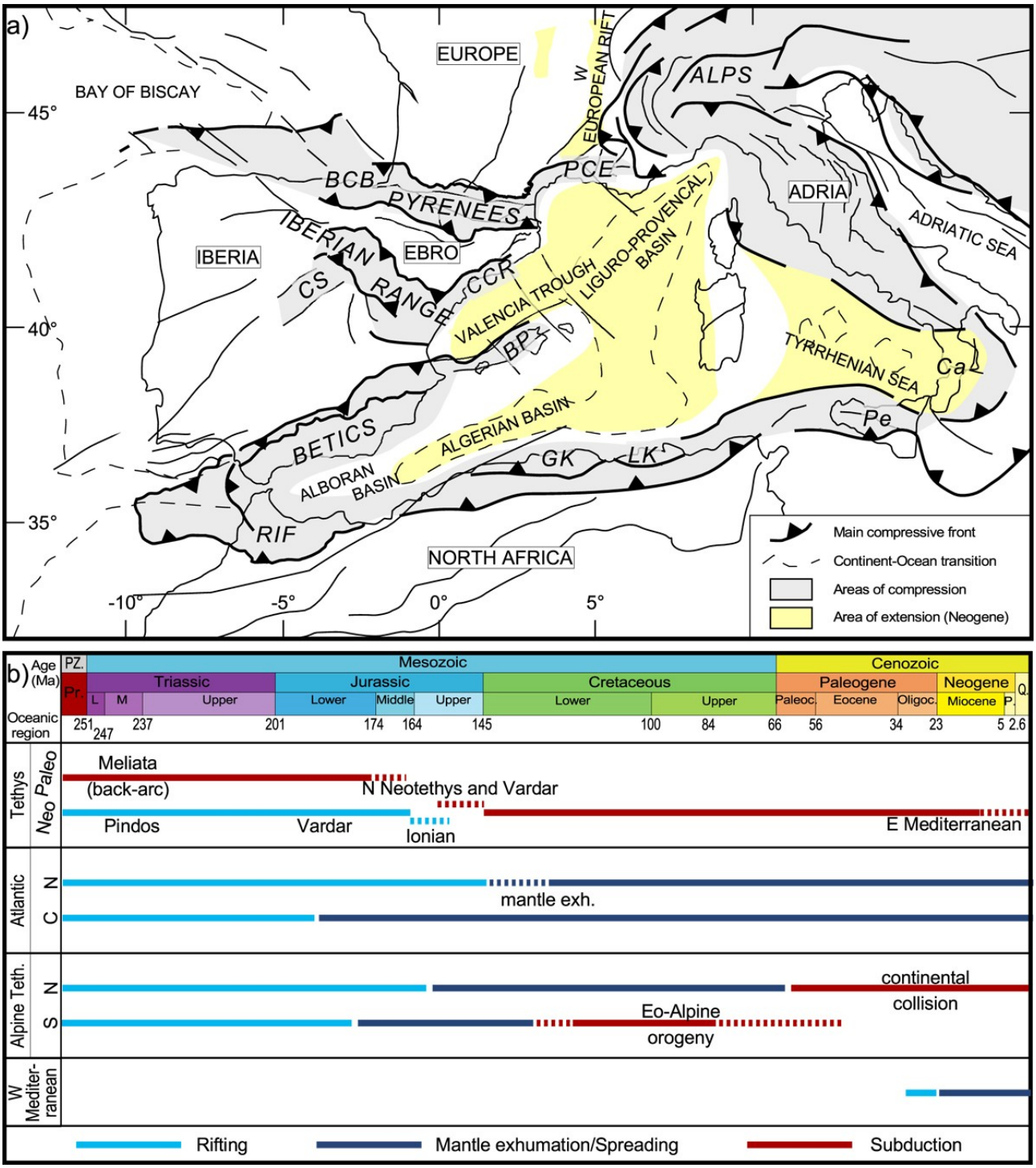


Figura 9: ***(a)*** *Carta strutturale del* ***Mediterraneo occidentale*** *che mostra le principali placche tettoniche e le aree deformate. In* ***grigio*** *sono indicate le aree deformate durante la compressione alpina; in* ***giallo*** *le aree interessate dall'estensione neogenica (Rift dell'Europa occidentale e apertura del bacino oceanico liguro-provenzale).* ***BCB****: Bacino Basco-Cantabrico;* ***BP****: Promontorio delle Baleari;* ***Ca****: Calabria;* ***CCR****: Catena Costiera Catalana;* ***CS****: Sistema Centrale;* ***GK****: Grandi Cabilie;* ***LK****: Piccole Cabilie;* ***PCE****: Provenza;* ***Pe****: Peloritani.* ***(b)*** *Schema geodinamico dei domini oceanici del* ***Mediterraneo occidentale*** *(Tetide occidentale e Atlantico settentrionale) a partire dal Permiano. In* ***azzurro chiaro*** *sono rappresentate le fasi di* ***rifting****; in* ***blu scuro*** *l'****esumazione del mantello*** *e l'****espansione del fondale oceanico (spreading)****; in* ***rosso*** *i processi di* ***subduzione.*** *Immagine tratta da Angrand and Mouthereau, 2021*

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio, localizzata nei pressi di Villanuova sul Clisi all'imbocco della Val Sabbia, si inserisce nel contesto geologico del Sudalpino bresciano. Questo settore è costituito da una successione sedimentaria di età prevalentemente mesozoica, la cui configurazione attuale è il risultato dell'evoluzione tettonica alpina.

L'assetto strutturale è caratterizzato da sistemi di pieghe, faglie inverse e sovrascorrimenti che riflettono la complessa storia deformativa delle Prealpi Bresciane.

La struttura del Sudalpino bresciano è il risultato dell'interazione tra due principali sistemi tettonici di età alpina, responsabili della messa in posto e dello sviluppo delle principali strutture regionali. Il primo è rappresentato dalla direttrice orobica (o triumplina), con orientazione variabile da E-W a ENE-WSW, alla quale sono associati sistemi di pieghe e sovrascorrimenti caratterizzati da un trasporto tettonico prevalente verso sud. Il secondo sistema è costituito dalla direttrice giudicariese, orientato NNE-SSW e considerata più giovane, alla quale è invece associato un trasporto tettonico verso il quadrante sud-orientale. L'interferenza tra questi due sistemi ha determinato il tipico assetto a scaglie tettoniche che caratterizza il Sudalpino e controlla la distribuzione delle principali strutture deformativa osservabili nelle Prealpi Bresciane (Schirolli, 2001; Schirolli and Brack, 2011).

Sulla base delle caratteristiche litologiche, dell'età delle successioni stratigrafiche e dello stile deformativo acquisito durante la compressione alpina, Schirolli (2001) distingue il territorio della provincia di Brescia in otto zone geologico-strutturali (Fig. 10 - 11), separate da importanti lineamenti tettonici regionali o da significative superfici stratigrafiche. In tale contesto, l'area di studio si sviluppa nel settore meridionale delle Prealpi Bresciane, in prossimità del limite tra la Zona VI e la Zona VII, rappresentando un'area di raccordo tra due domini geologico-strutturali caratterizzati da differenti assetti litologici e strutturali.

La Zona VI è caratterizzata dalla predominanza della Dolomia Principale (Norico), una successione carbonatica molto estesa che costituisce3 uno degli elementi strutturali più rilevanti delle Prealpi Bresciane. Le proprietà litologiche di questa unità le conferiscono un comportamento relativamente rigido durante la deformazione alpina, risultando coinvolta in importanti strutture compressive quali faglie inverse e sovrascorrimenti regionali. La Zona VII, invece, comprende prevalentemente le successioni sedimentarie giurassiche e cretaciche, che presentano uno stile deformativo differente, dominato da ampie pieghe anticlinali e sinclinali associate a sistemi di faglie inverse. Il passaggio tra questi due domini determina un'elevata complessità geologico-strutturale che possiamo ritrovare nell'area oggetto di questa tesi.

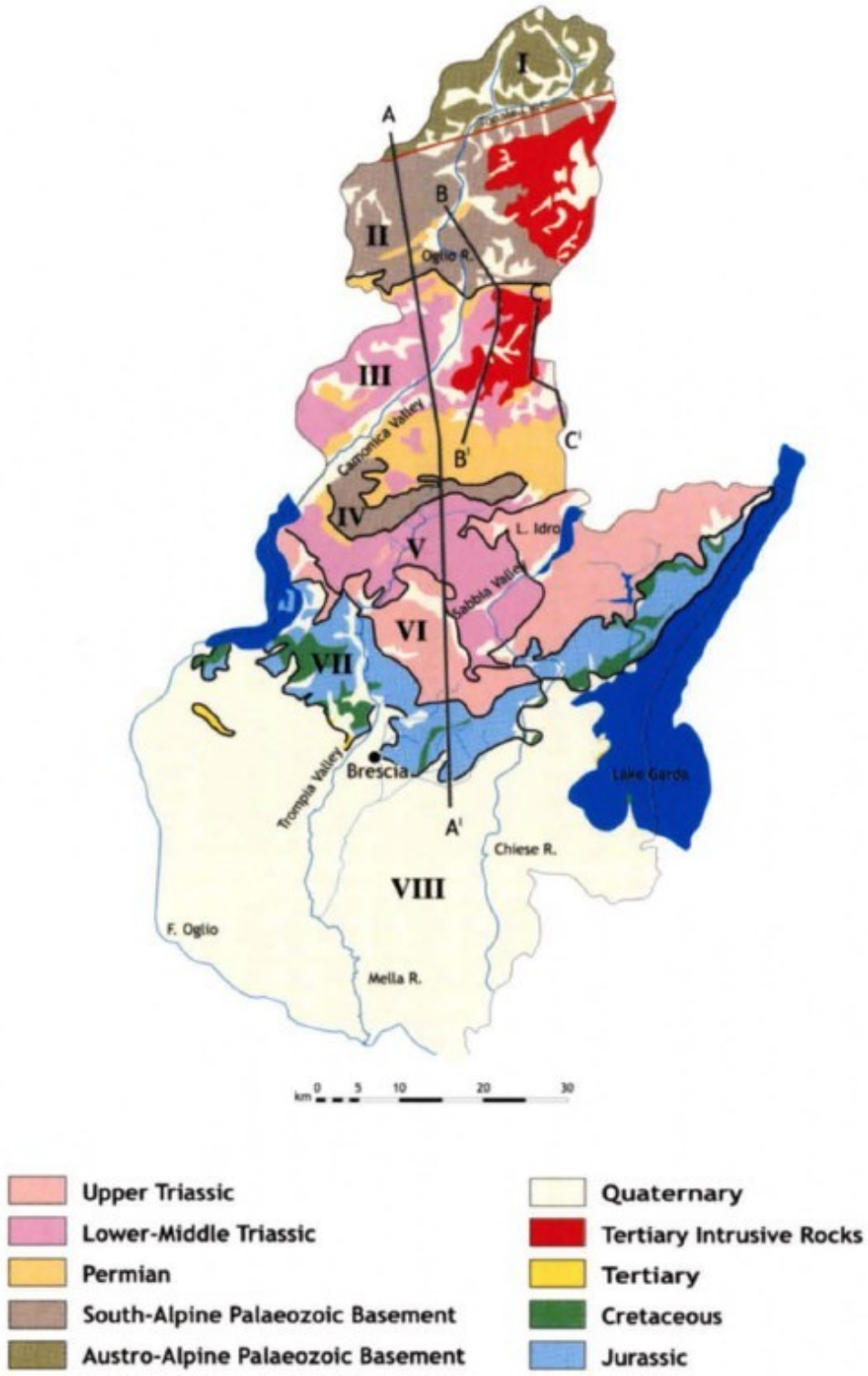


Figura 10: carta semplificata della Provincia di Brescia; i numeri romani si riferiscono alle diverse zone geologiche e strutturali di cui VI e VII sono citate nel testo. Modificata da Schirolli (2001).

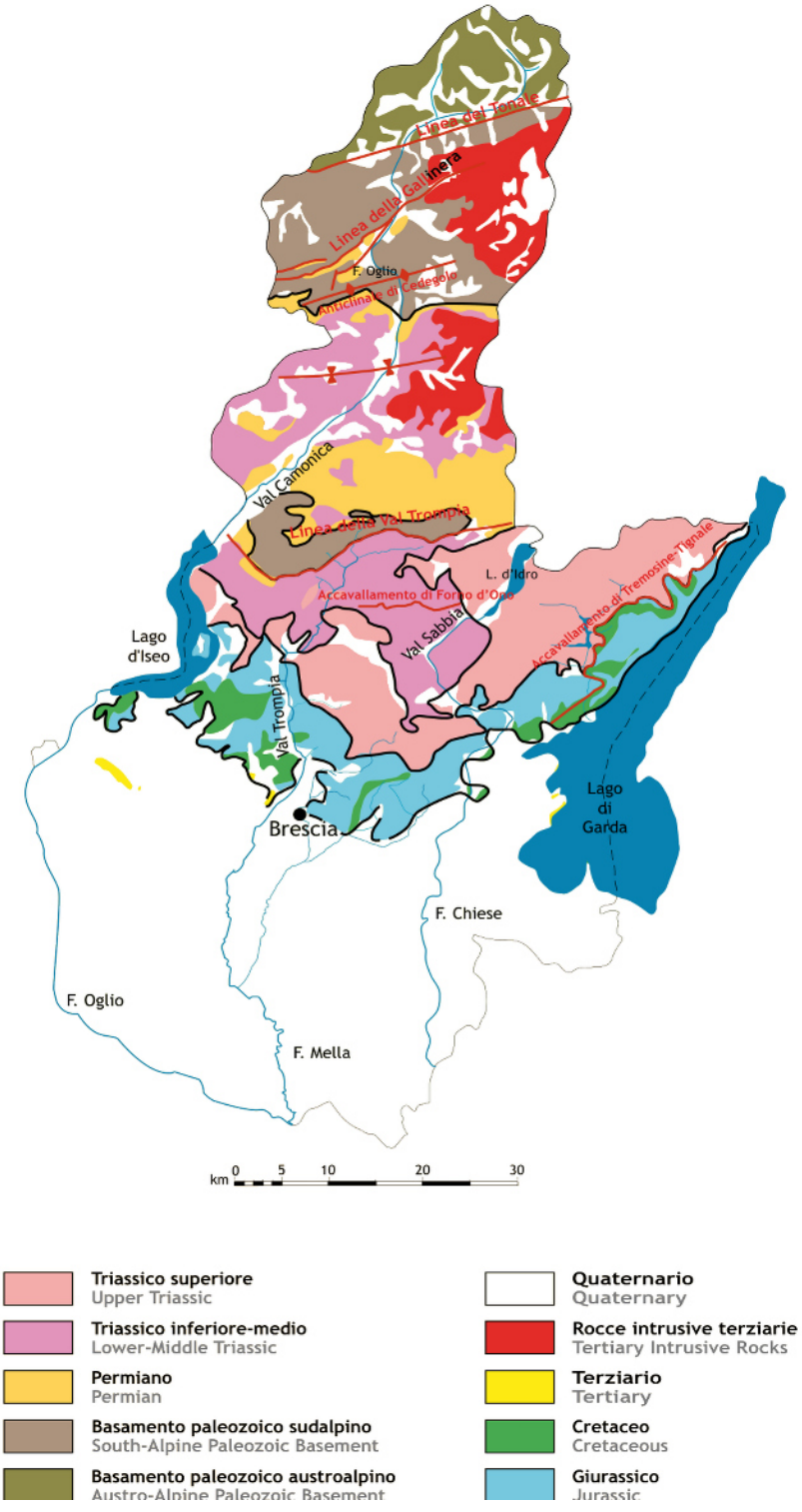


Figura 11: carta geologica semplificata della Provincia di Brescia, con l'indicazione delle principali unità geologiche e dei principali lineamenti tettonici regionali del Sudalpino bresciano. Figura modificata ed elaborata a partire da Schirolli e Brack (2011)

3.3 CARTOGRAFIA GEOLOGICA PRECEDENTE

La Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello, realizzata da Boni, Cassinis e Venzo nei primi anni Settanta, rappresenta il primo rilevamento geologico sistematico esteso all'intero settore delle Prealpi bresciane meridionali (Fig.12). Pubblicata alla scala 1:50.000 dall'Istituto di Geologia dell'Università di Pavia, essa ha costituito per diversi decenni il principale riferimento cartografico per la ricostruzione della stratigrafia e della tettonica dell'area. La carta è corredata di Note illustrative di legenda stratigrafica, nelle quali sono descritte le principali unità litostratigrafiche e le loro relazioni strutturali. Questa mappa costituisce ancora oggi un elemento di base da cui partire per i rilevamenti del Progetto CARG e per la realizzazione dei Fogli geologici alla scala 1:50.000 del Servizio Geologico d'Italia.

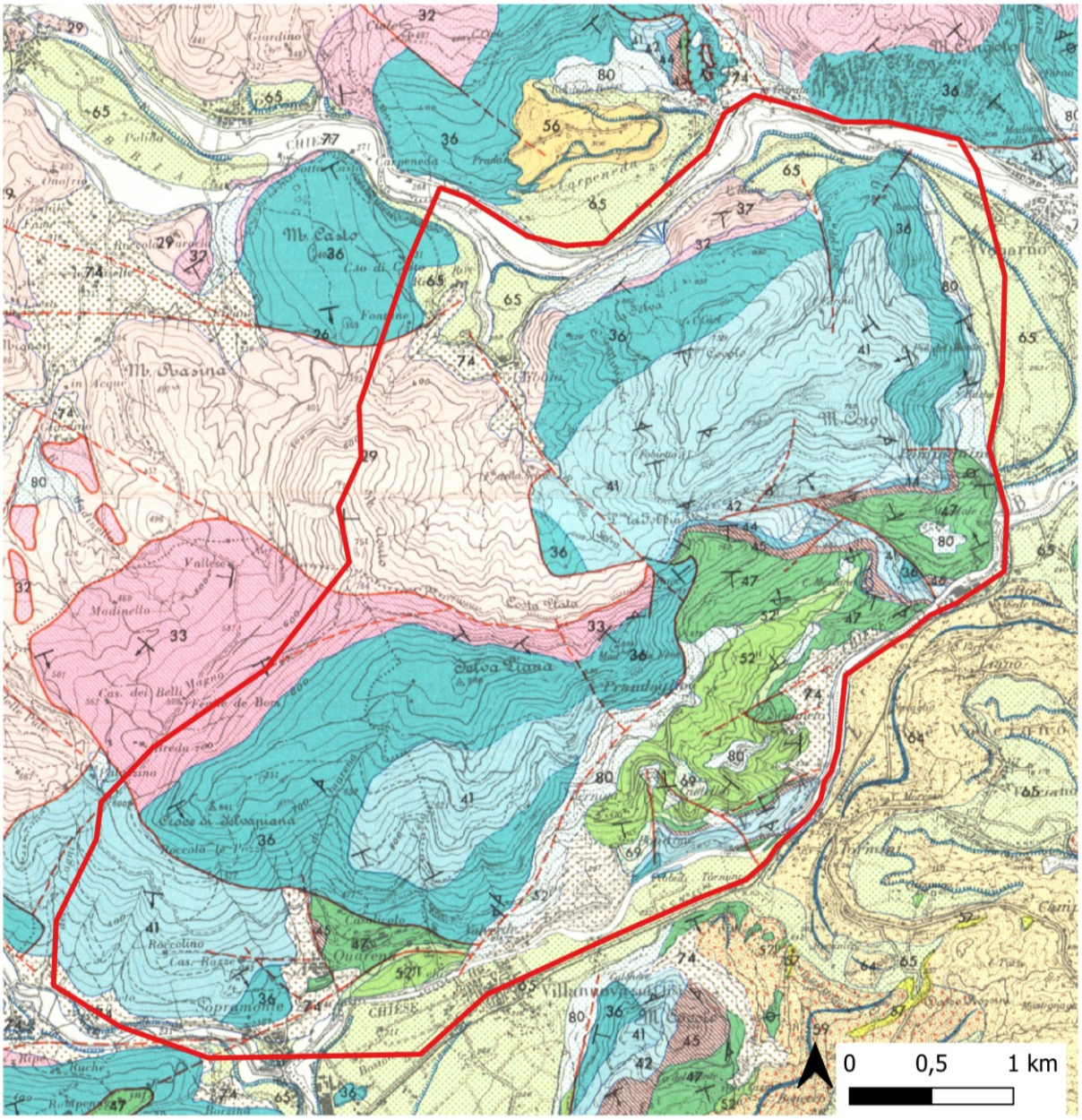


Figura 12: Estratto della Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello con indicazione dell'area oggetto del rilevamento (contorno rosso). Carta modificata da Boni, Cassinis e Venzo (1971), Carta Geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello, Istituto di Geologia dell'Università di Pavia.

La Carta geologica delle Prealpi Bresciane tra la Val Vrenda e il M. Pizzocolo, realizzata da Baroni, Bissolati e Vercesi e pubblicata alla scala 1:25.000, rappresenta un aggiornamento con maggior dettaglio della precedente cartografia geologica delle Prealpi bresciane (Fig. 13). Basata su rilevamenti alla scala 1:10.000 condotti nel corso di diversi anni, la carta introduce alcune modifiche alla cartografia esistente, consentendo una reinterpretazione della paleogeografia e un aggiornamento dell'assetto tettonico dell'area. Inoltre, rispetto alla cartografia precedente, distingue i diversi depositi quaternari e introduce nuovi elementi geomorfologici come ad esempio le forme carsiche, quelle glaciali, fluvioglaciali e scarpate di erosione fluviale.

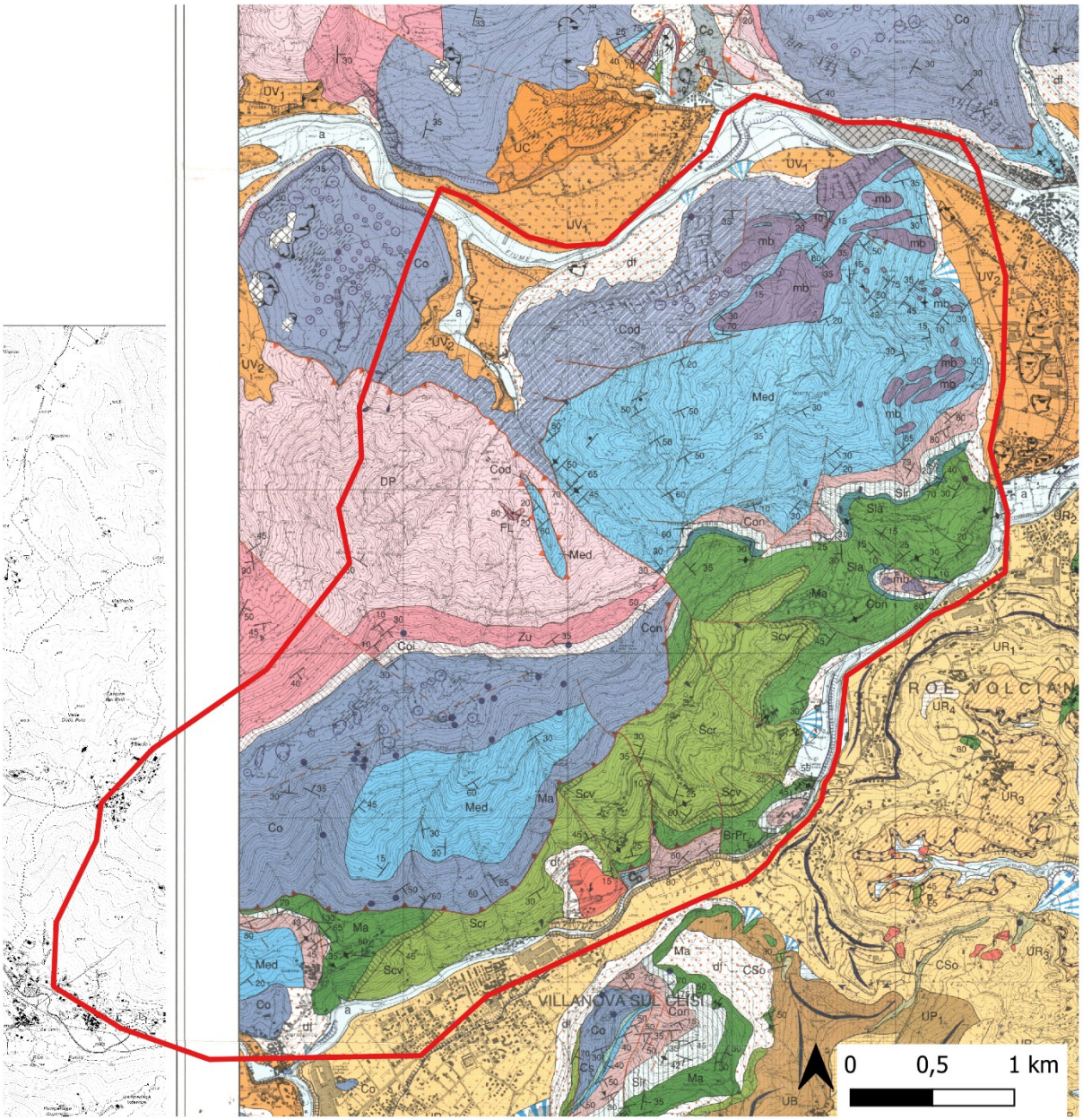


Figura 13: Inquadramento dell'area di studio sulla carta geologica delle Prealpi Bresciane tra la Val Vrenda e il Monte Pizzocolo. Il perimetro rosso identifica l'area interessata dal rilevamento geologico. Carta modificata da Baroni, C., Bissolati, G. & Vercesi, P.L. (1995), Carta geologica delle Prealpi Bresciane tra la Val Vrenda e il M. Pizzocolo, Atti Ticinesi di Scienze della Terra, 38.

3.4 LEGENDA

Di seguito sono descritte sinteticamente le principali unità litostratigrafiche affioranti nell'area di studio (Fig. 14), con l'obiettivo di fornire il quadro geologico di riferimento per le successive attività di rilevamento e interpretazione. Le descrizioni costituiscono una rielaborazione ed una sintesi delle informazioni contenute nelle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 dei Fogli 079 Bagolino, 099 Iseo e 121 Brescia, integrate con le informazioni riportate da Baroni e Vercesi (1955) per il settore delle Prealpi Bresciane (Bargossi et al., 2016; Baroni & Vercesi, 1995; Cassinis et al., 2011; Norini et al., 2025).

I contenuti sono stati sintetizzati e uniformati nello stile descrittivo, mantenendo gli aspetti litologici, stratigrafici, cronologici e paleoambientali ritenuti maggiormente significativi ai fini del presente lavoro.

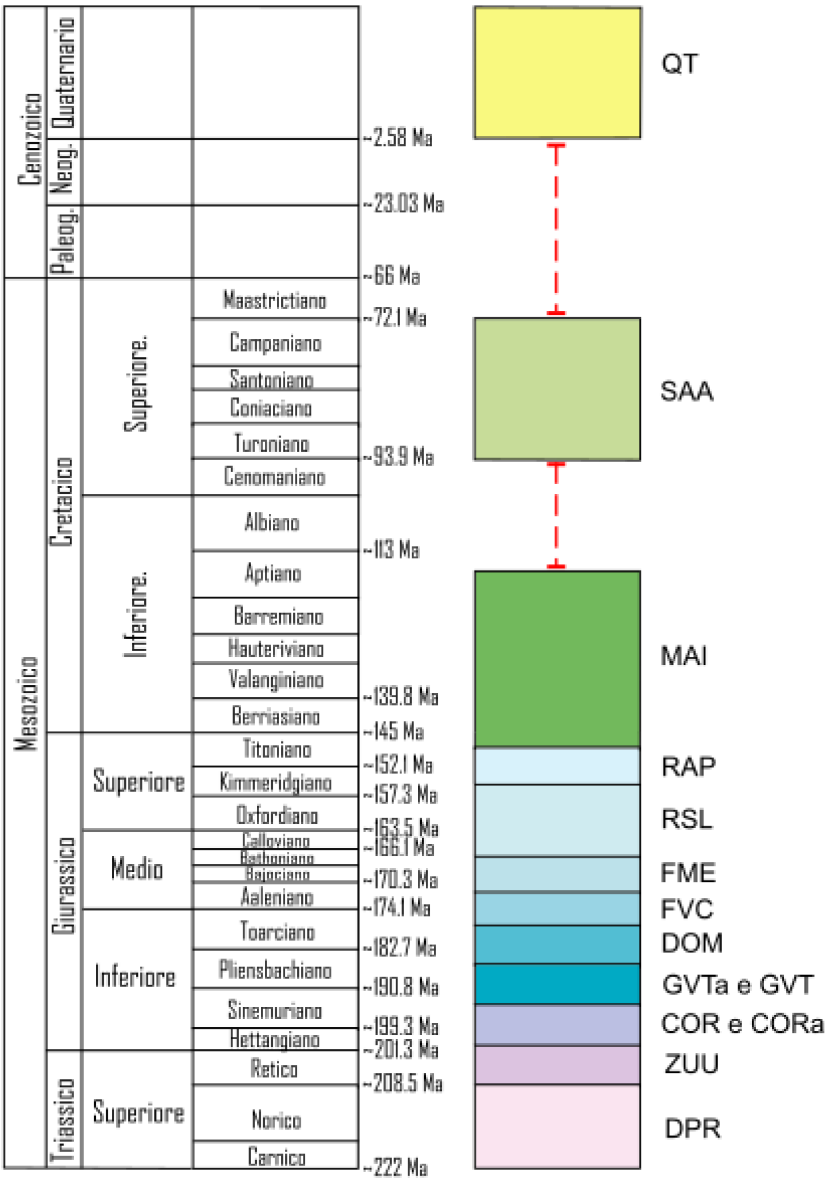


Figura 14: Legenda delle formazioni presenti nell'area oggetto di studio di questa tesi con correlazione alla tabella dei tempi geologici

DOLOMIA PRINCIPALE INDIFFERENZIATA (DPR)

(Carnico superiore-Norico)

Formazione composta da dolomie e dolomie calcaree, localmente formata da calcari dolomitici, di colore grigio chiaro, grigio-scuro o nocciola, generalmente rinvenuti in banchi da decimetrici a metrici, con tessitura da microcristallina a saccaroide (Fig. 15).

Lo spessore è molto variabile, passa da circa 100-150m nelle aree di alto strutturale fino a oltre 900-1000 metri nei principali depocentri.



Figura 15: Affioramento di Dolomia Principale Indifferenziata con evidente presenza faglie.

CALCARE DI ZU INDIFFERENZIATO(Zuu)

(Retico)

Successione costituita da calcari, calcari marnosi e subordinate marne, di colore variabile tra grigio, grigio-bruno o nerastro, generalmente ben stratificati, con livelli micritici e bioclastici alternati a livelli marnosi. La successione è organizzata in cicli regressivi (shallowing-upward), la porzione inferiore è prevalentemente calcareo-marnosa e la porzione superiore è caratterizzata da un progressivo aumento della componente carbonatica (Fig. 16).

Il contenuto fossilifero è generalmente abbondante e comprende bivalvi, brachiopodi, coralli coloniali e solitari localmente conservati in posizione di vita.

Lo spessore è fortemente variabile: da circa 200m ad oltre 1000m.

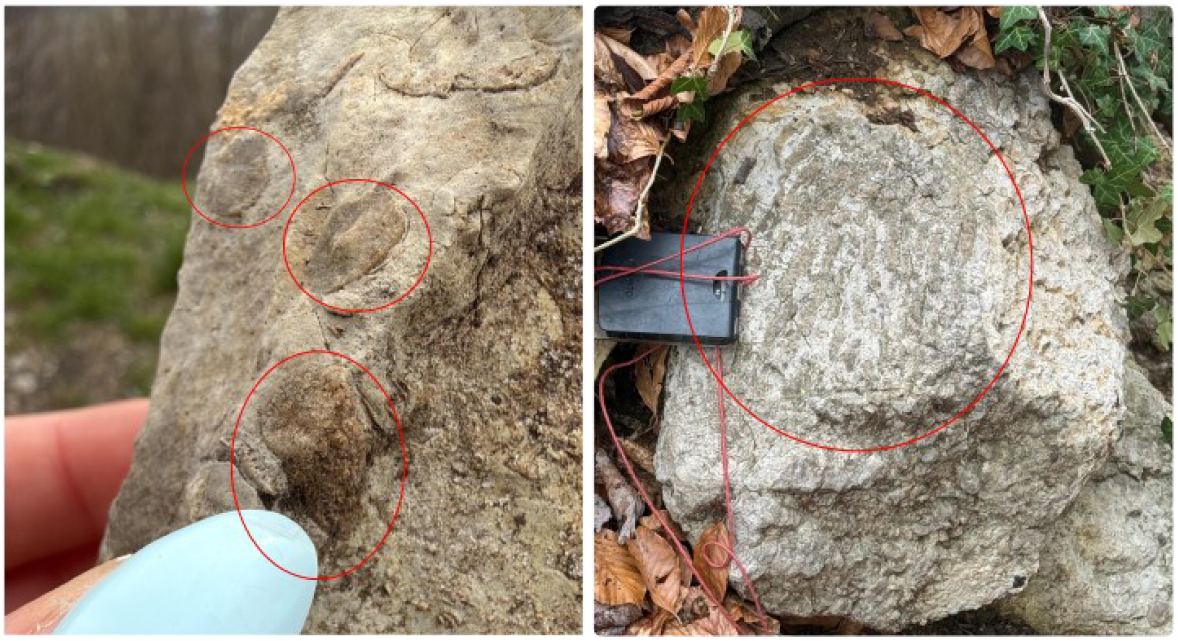


Figura 16: Calcare di Zu caratterizzato dalla presenza di fossili di coralli, con evidente variazione dimensionale: nella foto a sinistra i coralli presentano dimensioni ridotte, mentre nella foto a destra hanno dimensioni sensibilmente maggiori.

CORNA CALCAREA INDIFFERENZIATA(COR)

(Giurassico inferiore, più precisamente Hettangiano-Sinemuriano inferiore)

La formazione della Corna è litologicamente composta da calcari e subordinatamente dolomie, di colore bianco, avorio o nocciola chiaro, generalmente rinvenuti in banchi da metrici a plurimetrici e localmente massivi. La litofacies calcarea è costituita da calcari compatti a fratture concoide, con tessitura prevalentemente detritica (oolitica e pseudoolitica), ricchi in oncoliti, peloidi e bioclasti immersi in matrice micritica; sono frequenti vene di calcite e brecce monogeniche (Fig. 17).

L'unità è estremamente interessata da fenomeni di carsismo superficiale e profondo, con sviluppo di doline e cavità ipogee.

Lo spessore è fortemente variabile: passa da pochi metri fino a circa 300-400m.

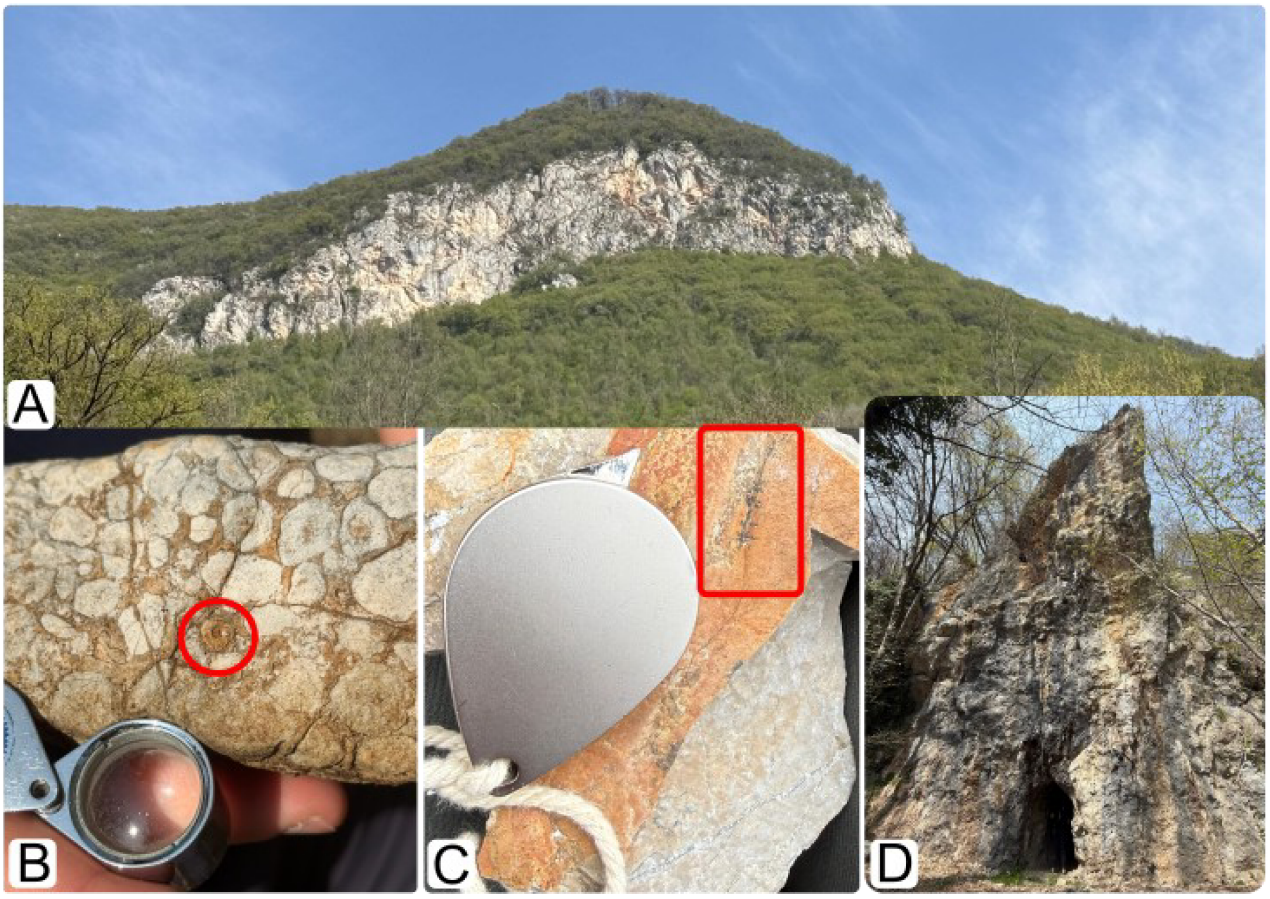


Figura 17: A. Una caratteristica della formazione della Corna Calcarea Indifferenziata è la sua tendenza a formare grandi pareti verticali di roccia di spessore metrico; B. Breccia monogenica di corna con dettaglio di un gasteropode; C. Frattura fresca di corna, sul campione è evidenziata la presenza di dendriti di manganese; D. Affioramento di Corna Calcarea Indifferenziata contenente la "Sorgente Galleria Villanuova" che si trova nell'area compresa tra il M. Selvapiana e il M. Renico.

CORNA DOLOMITIZZATA (CORa)

(Giurassico inferiore, più precisamente Hettangiano-Sinemuriano inferiore)

Successione costituita da dolomie e dolomie calcaree massive, da micro- a macrocristalline, di colore grigio chiaro o biancastro, caratterizzate da tessitura saccaroide e stratificazione generalmente poco evidente o completamente cancellata dalla dolomitizzazione secondaria. L'intensità della dolomitizzazione aumenta in corrispondenza delle principali zone di fratturazione e delle superfici tettoniche regionali (Fig. 18).

Lo spessore è variabile e raggiunge i valori massimi di circa 250m.



Figura 18: Nella foto di sinistra è possibile osservare un affioramento di Corna Dolomitizzata posizionato sul sentiero che collega il Santuario della Madonna della Neve al M. Selvapiana; nella foto di destra si osserva una foto di dettaglio della Corna Dolomitzzata a frattura fresca.

In questa tesi si è deciso di tenere la formazione della Corna Dolomitizzata e della Corna Calcarea Indifferenziata raggruppate in quest'ultima in corrispondenza del Monte Selvapiana, in quanto l'intensa alternanza delle due litologie non risultava poi visibile alla scala cartografica scelta (1:25.000).

FORMAZIONE DI GARDONE VAL TROMPIA: BRECCE BASALI (GVTa)

(Hettangiano superiore - Sinemuriano inferiore)

Successione costituita da brecce e megabrecce poligeniche, organizzate in corpi lenticolari o irregolari, sia clasto-sostenute che matrice-sostenute, intercalate ai livelli basali del Calcare di Gardone Val Trompia. I clasti sono composti prevalentemente da blocchi di Corna, di dimensioni variabili da decimetriche a plurimetriche, costituiti da calcari bianco-avorio o nocciola. La matrice è calcarenitica o calcisiltitica, di colore grigio (Fig. 19).

Lo spessore è fortemente variabile, passando da pochi metri fino a corpi lenticolari di spessore decametrico, localmente riuniti in ammassi di estensione chilometrica lungo i principali margini di scapata.



Figura 19: Brecce basali del Calcare di Gardone Val Trompia

FORMAZIONE DI GARDONE VAL TROMPIA (GVT)

(Hettangiano – Pliensbachiano inferiore (Carixiano))

La Formazione di Gardone Val Trompia è litologicamente costituita da calcari selciferi, calcari marnosi e marne, di colore variabile tra grigio, grigio-nocciola, organizzati in strati da decimetrici a metrici, generalmente ben stratificati. La formazione è costituita prevalentemente da calcilutiti e calcari marnosi emipelagici, con frequenti noduli e liste di selce di colore grigio-bluastro o brunastro. Lo spessore varia generalmente tra 400m e oltre 600m (Fig. 20).



Figura 20: a sinistra si osserva la presenza di noduli di selce all'interno della formazione di Gardone Val Trompia; sulla sinistra un affioramento lungo strada (da Quarzina verso Monte Magno) della formazione di Gardone Val Trompia dove è possibile osservare la variabilità nello spessore degli strati.

CALCARE DI DOMARO (DOM)

(Pliensbachiano inferiore - Toarciano inferiore)

Successione costituita da calcilutiti, calcari marnosi e subordinate marne, di colore grigio, grigio-plumbeo, beige o nocciola, organizzati in strati da centimetrici a metrici separati da regolari interstrati marnosi e marnosi-argillosi. La porzione inferiore è caratterizzata da calcari marnosi intensamente bioturbati, con frequenti noduli ferruginosi e sottili liste di selce grigio-bluastra, mentre la porzione superiore è costituita da calcilutiti debolmente marnose, meno selcifere e meno bioturbare, organizzate in banchi metrici separati da livelli marnosi; il contenuto fossilifero è abbondante.

Lo spessore è variabile e raggiunge i 300-500m nei principali depocentri bacinali e si riduce sensibilmente, fino a scomparire, in corrispondenza dei paleoalti strutturali.

FORMAZIONE DI VILLA CARCINA (FVC)

(Toarciano con possibile estensione della porzione sommitale all'Aaleniano inferiore)

Successione costituita da calcareniti e calciruditi selcifere, calcari marnosi e marne, organizzata in alternanze ritmiche di strati da medi a spessi. La formazione inizia con una porzione basale costituita da marne e marne calcaree varicolori (colore grigio-verdastro o rossastro), cui segue una successione dominata da calcareniti e calciruditi bruno-nocciola ricche di selce, organizzate in strati gradati e laminati di origine torbiditica, contenenti abbondanti bioclasti, ooidi e intraclasti carbonatici. Verso la sommità si ha prevalenza di livelli calcare-marnosi e sequenze torbiditiche incomplete.

Lo spessore varia generalmente tra 150 e 270m nei principali settori bacinali.

FORMAZIONE DEI CALCARI MEDOLOIDI (FME)

(Aaleniano - Bathoniano inferiore (?))

Successione costituita da calcilutiti, calcari marnosi e subordinate marne, di colore grigio, grigio-verde o localmente variegato, organizzata in strati da sottili a spessi separati da regolari interstrati marnosi. Nella porzione inferiore sono ancora presenti, con frequenza progressivamente decrescente, livelli calcarenitici e calcisiltitici torbiditici, corpi ruditici, depositi di slumping e pebbly mudstone intraformazionali, mentre la parte superiore è caratterizzata da calcari marnosi silicei variegati, ricchi di radiolari, lamellibranchi pelagici e belemniti isorientate.

Lo spessore varia generalmente tra 170 e 130m nei settori bacinali, riducendosi a circa 35m sui paleoalti strutturali.

RADIOLARITI DEL SELCIFERO LOMBARDO (RSL)

(Bathoniano inferiore - Kimmeridgiano inferiore)

Successione costituita da selci policrome e diaspri, di colore grigio-scuro, verde e rosso, organizzati in strati da 5 a 30cm separati da sottili interstrati marnoso-argillosi. La stratificazione è generalmente piano-parallela, localmente ondulata o pseudonodulare, ed è caratterizzata dalla tipica fratturazione prismatica della selce. Si distinguono una porzione inferiore a prevalenti selci verdi (ribbon facies) e una superiore dominata da selci rosse a stratificazione ondulata o mammellonare (knobby facies) (Fig 21). Il contenuto fossilifero è costituito prevalentemente da radiolari, associati a spicole di spugna, e lamellibranchi.

Lo spessore varia generalmente tra 20 e 100m, in funzione della paleomorfologia del bacino e di fenomeni locali di erosione o mancata sedimentazione.



Figura 21: A. Affioramento di Radiolariti del Selcifero Lombardo molto tettonizzato; B. Radiolariti tettonizzate

ROSSO AD APTICI (RAP)

(Kimmeridgiano superiore – Titoniano)

Successione costituita da calcari, calcari marnosi e marne silicee, di colore rosso vinaccia, localmente variegato con tonalità verdastre o bianco-avorio, organizzata in strati da sottili a medi, talvolta amalgamati, con frequenti lenti e liste di selce rossa, bruna o verde.

Il contenuto fossilifero è caratterizzato da abbondanti aptici, associati a belemniti, modelli interni di ammoniti, spicole di spugna e resti di crinoidi pelagici.

Lo spessore è generalmente variabile ed arriva fino a 30m.

MAIOLICA (MAI)

(Titoniano inferiore - Aptiano inferiore)

La successione della Maiolica è litologicamente costituita da calcilutiti e calcari micritici compatti, di colore bianco avorio o panna (localmente grigio-plumbei nella parte superiore), organizzati in strati da medi a sottili separati da sottoli strati marnoso-argillosi scuri (Fig. 22). I calcari presentano la tipica frattura concoide, abbondanti noduli, lenti e liste di selce, di colore grigio-nero. Sono frequenti superfici stilolitiche, impregnazioni dendritiche di ossidi di manganese e intense bioturbazioni. Alla base possono essere presenti depositi di slumping e brecce (Brecce di Pregasio – BrPr (Fig. 22°)).

Lo spessore è generalmente compreso tra 200 e 250m.

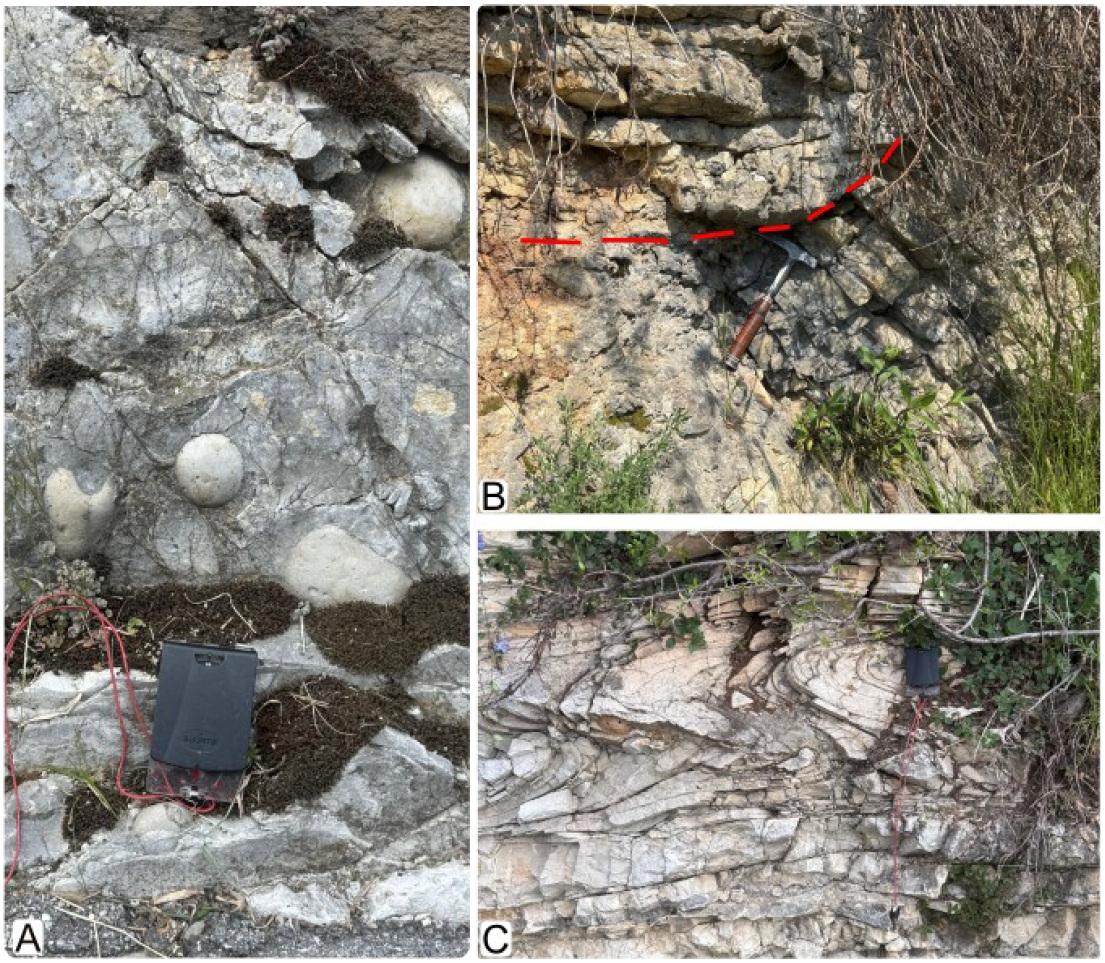


Figura 22: A. Presenza di ciottoli arrotondati di dimensioni centimetriche alla base della formazione della Maiolica; B. Strati di maiolica tagliati da un piccolo sovrascorrimento C. Slump sin-sedimentario riconoscibile grazie agli strati paralleli depositatisi prima e dopo l'evento.

SCAGLIA ROSSA (SAA)

(Turoniano – Campaniano)

Successione costituita da marne, marne calcaree e calcari marnosi, di colore rosso mattone o rosa salmone, localmente con sfumature grigiastre o biancastre, organizzata in strati da sottili a medi. I litotipi, da compatti a scagliosi, sono frequentemente bioturbati e possono presentare laminazione piano-parallela o debolmente ondulata. Nella porzione medio-inferiore sono localmente presenti intercalazioni di arenarie fini e calcareniti torbiditiche gradate e laminate, testimonianza di apporti terrigeni provenienti dai sistemi flyschoidi in sviluppo (Fig. 23).

Lo spessore affiorante supera generalmente 150m, mentre la potenza originaria non è determinabile a causa dell'erosione del tetto della successione.



Figura 23: A. Livello di arenaria più competente presente all'interno di un affioramento di Scaglia Rossa; B. Dettaglio granulometrico dello strato di arenaria presente nell'immagine A.; C. Affioramento di scaglia rossa in contatto con Scaglia di altra colorazione.

DEPOSITI QUATERNARI (QT)

Nell'area oggetto di studio di questa tesi, la maggior parte dei depositi quaternari è composta de depositi di versante, di dimensioni variabili, che possono essere conglomerati o brecce di versante, sia matrice-sostenuti che clasto-sostenuti, compositi da ciottoli poligenici. In molti casi è possibile osservare una gradazione dei ciottoli.

4. METODI

4.1 RILEVAMENTO E DIGITALIZZAZIONE DEI DATI

L'area di studio oggetto di questa tesi ha un'estensione pari a 19.98km^2 e l'attività di rilevamento è stata svolta nel periodo tra gennaio e giugno 2026, dalla sottoscritta e del Dottor Pezzoli Samuele, in collaborazione con altri rilevatori dell'Università di Pavia. Questa attività ha portato in primis alla creazione della carta degli affioramenti che è stata, insieme alla Carta geologica delle Prealpi Bresciane tra la Val Vrenda e il M. Pizzocolo (Baroni & Vercesi, 1995), la base per la creazione della carta geologica.

Per la carta degli affioramenti è stata utilizzata l'applicazione QFIELD: uno strumento open source, disponibile per dispositivi mobili sulla quale è possibile caricare progetti realizzati in QGIS modificabili a posteriori con dati geospaziali anche in modalità offline.

Il progetto QGIS viene inizialmente preparato inserendo carte topografiche georeferenziate e i diversi layer utili all'inserimento di dati su mappa come: formazioni, giaciture, strutture principali, punti di vario interesse (es. morfologico, strutturale, etc.). Una volta pronto, il progetto viene convertito per essere fruibile su QFIELD utilizzando il plugin QGIS "QFieldSync", che permette anche di trasferirlo su un cloud dedicato ("QFieldCloud") da cui è possibili visualizzare e scaricare il progetto.

La maggior parte dell'attività di mappatura è stata svolta nei mesi di marzo e aprile 2026. Il lavoro è stato organizzato con il fine di coprire il più completamente l'area di studio. Inizialmente è stata percorsa la strada che dal comune di Villanuova sul Clisi risale verso Monte Magno passando per Quarena, lungo la quale si è rilevata la presenza di un thrust che mette a contatto la formazione della Corna sovrascorsa sulla Maiolica (Fig. 24). Successivamente sono stati percorsi tutti i sentieri che si trovano nella parte orientale della carta che permettono di attraversale l'area di rilevamento con percorsi orientati N-S e E.W (Fig. 26). Si è poi passati a rilevare la zona centrale, inizialmente seguendo la strada verso Peracque per poi seguire i sentieri diretti vero il Santuario della Madonna della Neve (Fig. 25C) che ci hanno permesso di ricollegarci alla zona occidentale e di creare, quindi, una continuità delle zone rilevate. Gli affioramenti di maggiore qualità e continuità sono stati osservati prevalentemente lungo strada, dove la costruzione di infrastrutture, come la strada stessa, ha permesso una migliore esposizione del substrato roccioso. Lungo i sentieri, invece, è più difficile trovare affioramenti estesi e continui a causa della fitta copertura vegetale e della presenza di suoli e coperture. Questo spesso rende difficoltoso identificare con precisione la formazione geologica affiorante ed i suoi rapporti con le altre formazioni affioranti in zona.

L'attività di rilevamento si è conclusa nel mese di maggio 2026 e ha portato alla realizzazione della carta degli affioramenti poi utilizzata come punto di partenza per la produzione della carta geologica interpretativa dell'area oggetto di questa tesi.

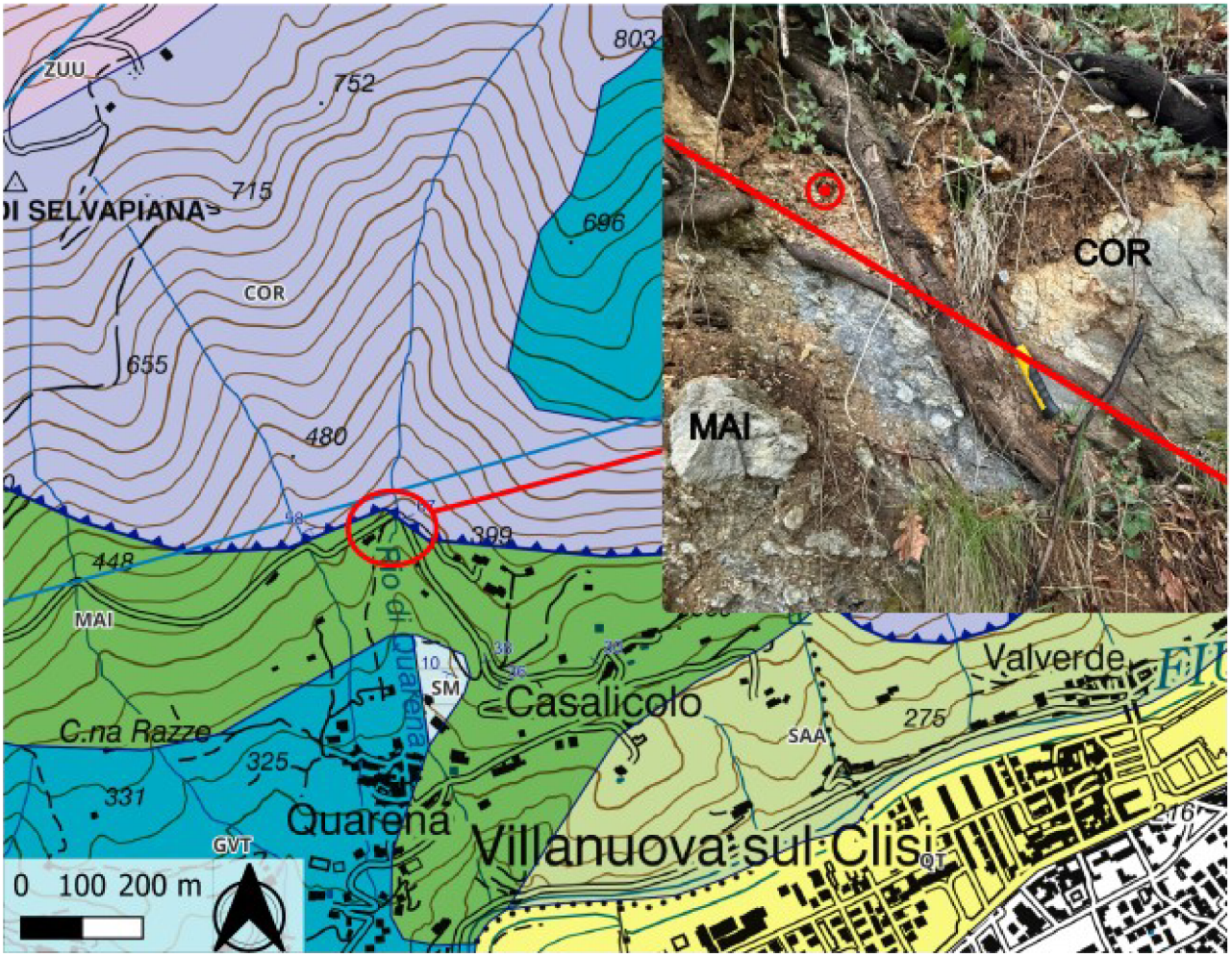


Figura 24: Stralcio della carta geologica realizzata nell'ambito del presente lavoro di tesi. Nella carta è indicata l'ubicazione del punto in cui affiora il contatto tettonico tra la Maiolica (MAI) e la Corna (COR) che si vede in foto.



Figura 25: Rappresentazione dell'ubicazione delle foto scattate dall'area oggetto di rilevamento; A. Croce di Selvapiana posta a 840m s.l.m. B. Vista del paesaggio dalla Croce di Selvapiana in direzione sud. C. Santuario della Madonna della Neve D. Morfologgia del paesaggio vista dalla strada che da Quarena porta verso Monte Magno in direzione sud-ovest; sullo sfondo sono riconoscibili i rilievi interessati dalle attività estrattive delle cave di Rosso di Botticino. E. Morfologia del paesaggio vista da Canneto in direzione sud-est;si osserva il Lago di Garda ed in particolare il Goldo di Salò.

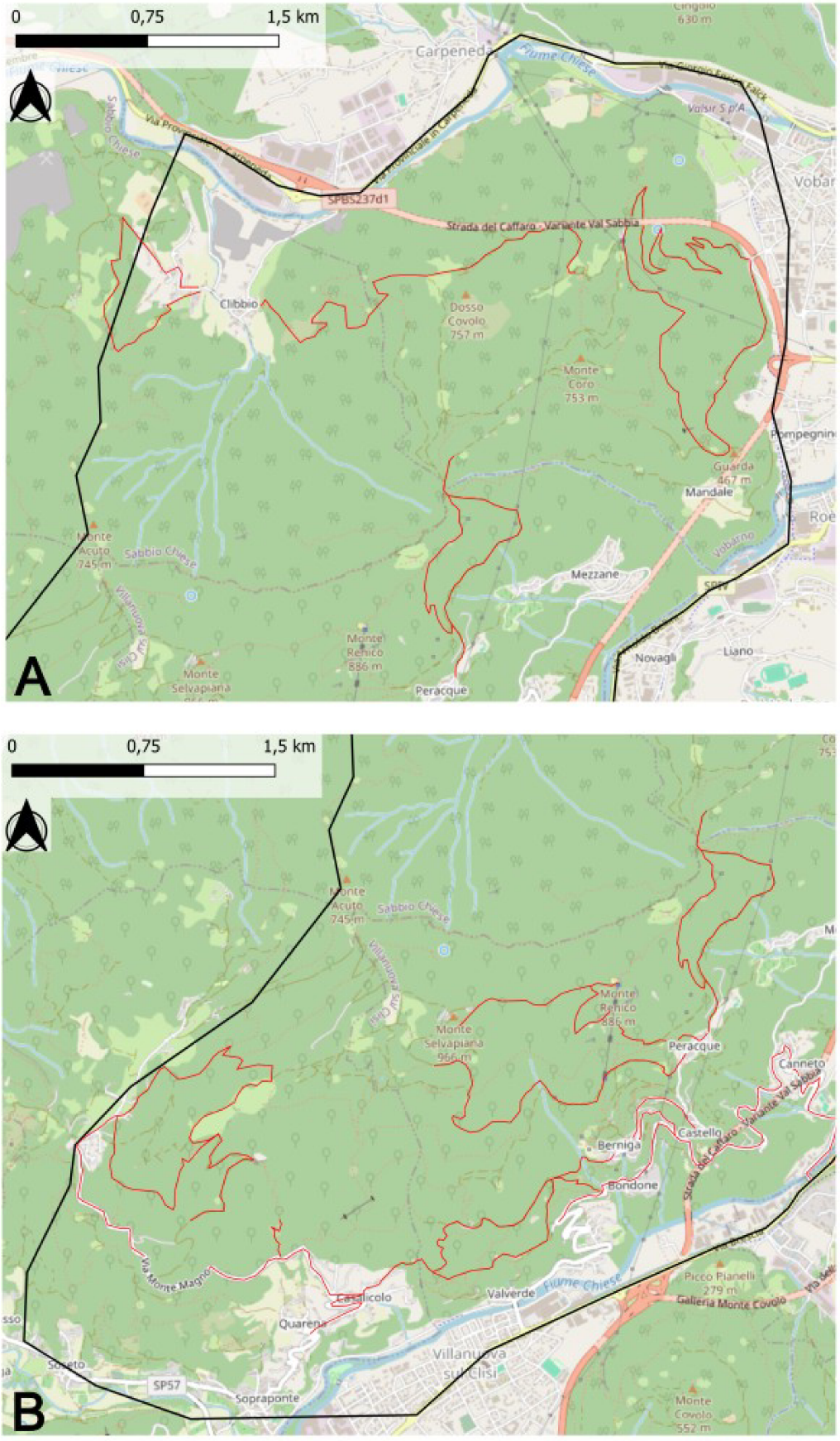


Figura 26: In rosso sono riportati i tracciati dei sentieri percorsi durante l'attività di rilevamento dell'area, rappresentati su base cartografica presa dall'applicazione OsmAnd. A. Parte settentrionale dell'area di studio; B. Parte meridionale dell'area di studio.

5. RISULTATI

5.1 CARTA E SEZIONI

Di seguito viene ripotato l'allegato 1: "Carta geologica di M. Magno e M. Selvapiana compresi nella zona tra Villanuova sul Clisi e Clibbio" adattato al formato della tesi.

La carta geologica allegata sarà prodotta in scala 1:10.000 e sarà corredata da: scala grafica, inquadramento dell'area oggetto di studio in relazione al foglio CARG Salò e al nord Italia, legenda delle diverse formazioni affioranti e della simbologia utilizzata (stile CARG) e tre sezioni geologiche aventi diversa orientazione il cui profilo topografico è stato estratto dal portale GeoCloud fornito da A2A per permettere una migliore sovrapposizione con le sezioni riportanti i dati di resistività.

La sezione FF' è stata tracciata da ovest a est, per un'estensione di 3.7 km, comprende le formazioni di Gardone Val Trompia, Maiolica, Corna Calcarea Indifferenziata e della Scaglia Rossa e intercetta sia contatti stratigrafici che tettonici (sovrascorrimento principale, nella parte occidentale con immersione verso est e nella parte orientale verso ovest).

La sezione GG' è stata appositamente tracciata con un'orientazione variabile: nel primo tratto presenta una direzione SW-NE, nella seconda parte intercetta più volte il contatto stratigrafico tra Corna Calcarea Indifferenziata e Calcare di Zu con direzione W-E e si conclude con un'orientazione S-E che interessa tutte le formazioni presenti nella parte settentrionale dell'area di studio. Questa sezione si estende planimetricamente per 7.7 km e mette in risalto sia i contatti stratigrafici tra le diverse formazioni presenti nell'area che l'evidente presenza del sovrascorrimento principale, che nella parte occidentale, al contatto tra Gardone Val Trompia e Corna indifferenziata è stato tagliato dalla linea di sezione all'incirca lungo lo strike motivo per cui si vede un'inclinazione apparente verso nord-est e vergenza sud-ovest. Lo stesso rapporto tra linea di sezione e strike della faglia si osserva nella parte centrale della carta, dove, al contatto tra Corna Indifferenziata e Maiolica, il sovrascorrimento si presenta con immersione verso S-W e vergenza N-E.

Infine, la sezione HH', è stata tracciata con orientazione pressoché da ovest a est, per una lunghezza di 2.3 km. In questo caso le formazioni interessate sono quella della Dolomia Principale e della Corna Dolomitizzata, che risultano entrambe essere formate da dolomia, anche in questo caso messe a contatto dal sovrascorrimento principale che, in quest'area risulta avere immersione verso ovest.

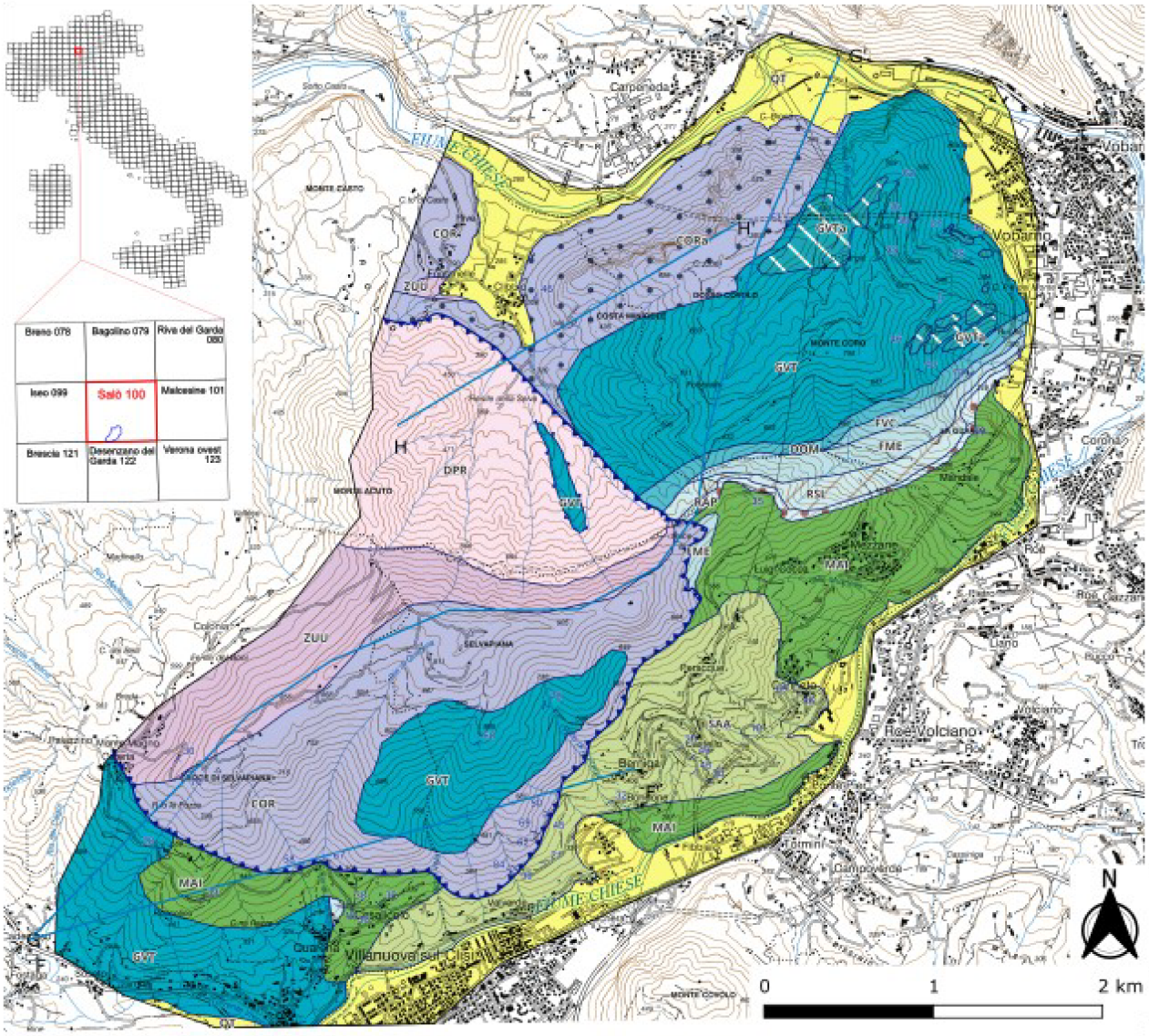


Figura 27: Carta geologica con inquadramento dell'area sia all'interno del foglio Salò 100 che in riferimento all'Italia

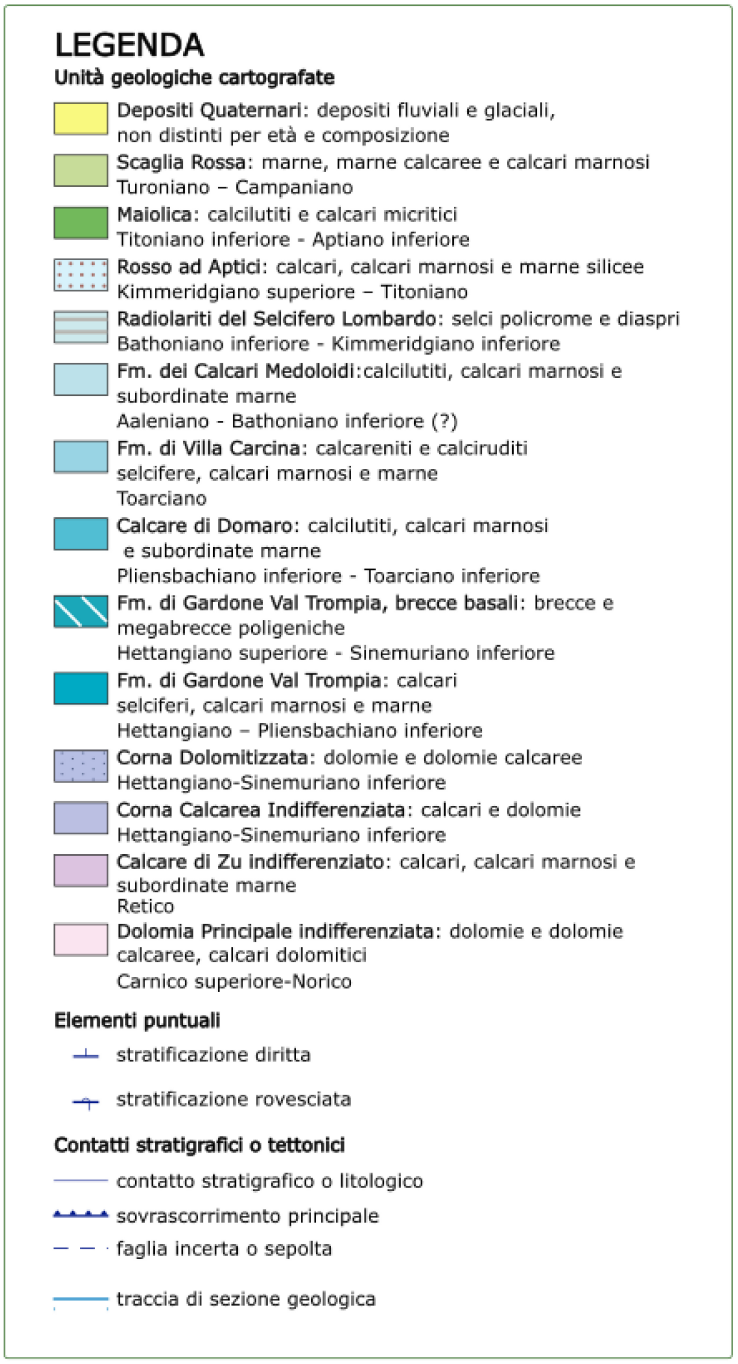


Figura 28: Legenda a corredo della carta geologica risultato di questa tesi

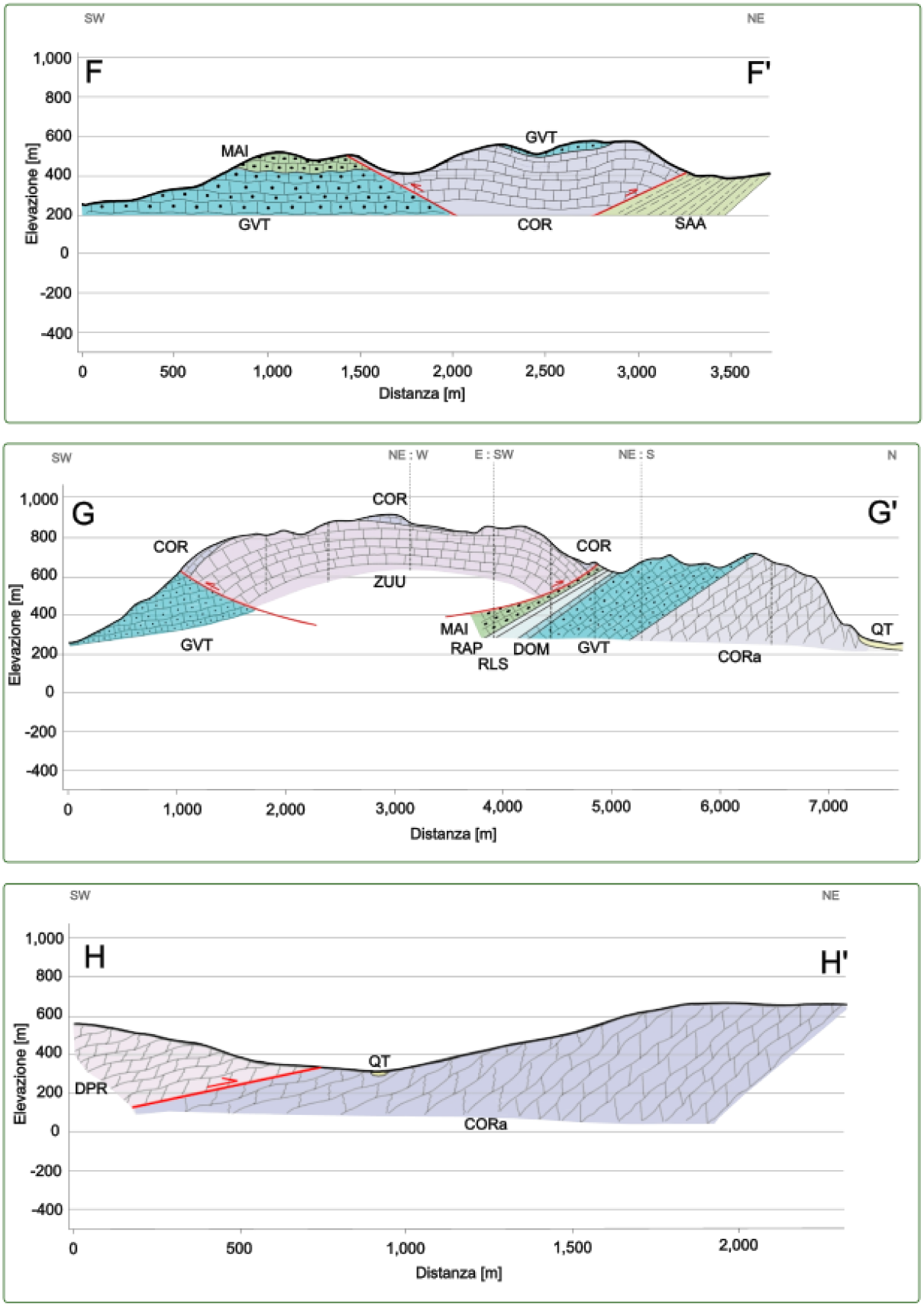


Figura 29: Sezioni a corredo della carta geologica oggetto di tesi che vengono utilizzate anche per il confronto dei dati AEM. La sezione FF' riporta le formazioni: Corna Calcarea Indifferenziata (COR), Gardone Val Trompia (GVT), Maiolica (MAI) e Scaglia Rossa (SAA). La sezione GG' raffigura: Calcare di Zu indifferenziato (ZUU), Corna Calcarea indifferenziata (COR), Corna Dolomitizzata (CORa), Gardone Val Trompia (GVT), Calcare di Domaro (DOM), Radiolariti del Selcifero Lombardo (RSL), Rosso ad Aptici (RAP), Maiolica (MAI) e Depositi Quaternati (QT). Nella sezione HH' sono riportate la formazione della Dolomia Principale Indifferenziata (DPR), Corna Dolomitizzata (CORa) e i Depositi Quaternari (QT).

5.2 ANALISI STRUTTURALE

Di seguito sono riportate le proiezioni stereografiche delle giaciture misurate durante la fase di rilevamento. Gli stereoplot si riferiscono ciascuno ad una formazione e vengono riportate solo le formazioni in cui sono state prese un numero sufficientemente rappresentativo di misure (almeno 16). Per la rappresentazione grafica è stato usato il programma "Stereonet" che consente di visualizzare sia le tracce ciclografiche che le aree a densità di valori, fornendo quindi visualizzazioni quali-quantitative efficaci.

Nelle diverse immagini sono riportati nella parte sinistra gli stereonet che riportano le tracce ciclografiche rappresentanti ognuna una giacitura della formazione in esame mentre nella parte destra sono riportati gli stereoplot raffiguranti i poli dei piani precedentemente proiettati e relativa legenda. Il confronto e l'osservazione di queste proiezioni ci permette una prima analisi qualitativa (visiva) dell'orientazione della formazione dello spazio.

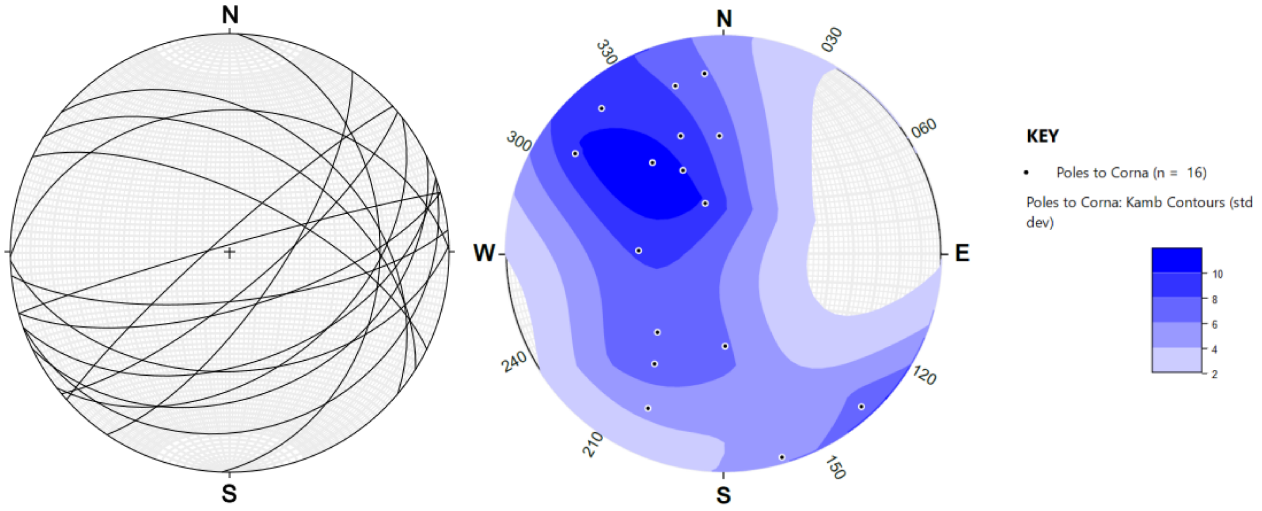


Figura 30: stereoplot raffigurante le giaciture della formazione della Corna Calcarea Indifferenziata

Formazione della Corna Calcarea Indifferenziata: le giaciture rappresentate sono 16; presenta una concentrazione dei poli prevalente nel settore NW dello stereogramma. Dallo stereogramma rappresentante le ciclografiche è possibile individuare un' immersione dominante verso SE, variabile tra 124N e 178N, con inclinazione compresa tra i 35° e i 70°.

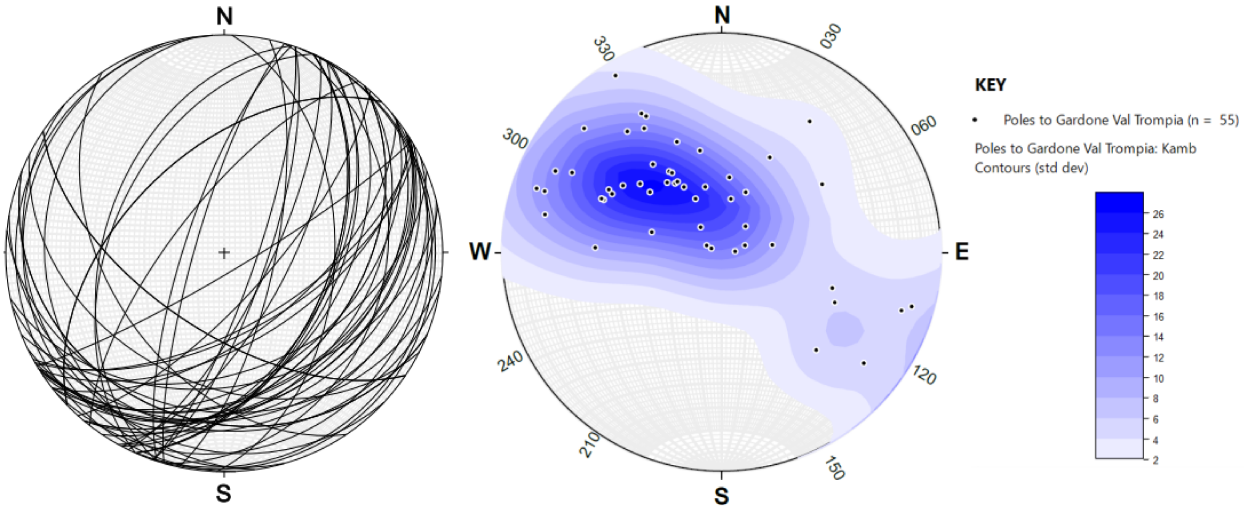


Figura 31: stereoplot raffigurante le giaciture della Formazione di Gardone Val Trompia

Formazione di Gardone Val Trompia: sia dallo stereogramma rappresentante le ciclografiche che da quello raffigurante i poli è possibile osservare una giacitura dominante di questa formazione che presenta un'immersione principale degli strati a SE, compresa tra 130°N e 170°N, con inclinazione variabile da 30° a 80°.

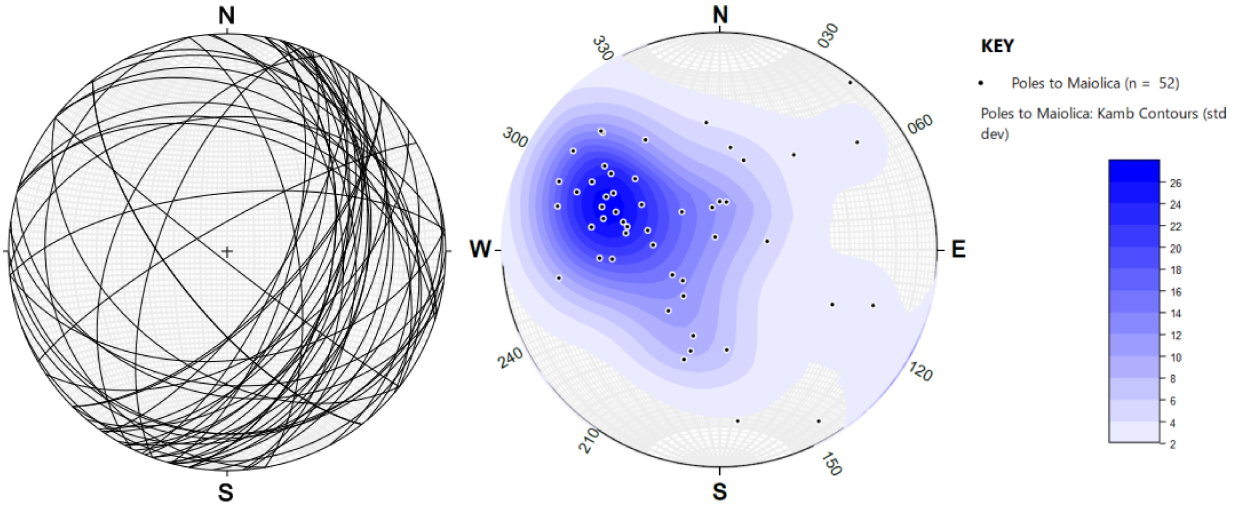


Figura 32: stereoplot raffigurante le giaciture della formazione della Maiolica

Maiolica: la maggior concentrazione di poli è nel settore nord-occidentale; quindi, l'immersione degli strati è prevalentemente a E-SE, compresa tra 105°N e 135°N, con variabilità nell'inclinazione (30°-60°). Sono presenti diverse giaciture differenti rispetto a quelle appena descritte che possono quindi derivare da strutture secondarie o a minor scala rispetto all'assetto generale dell'area.

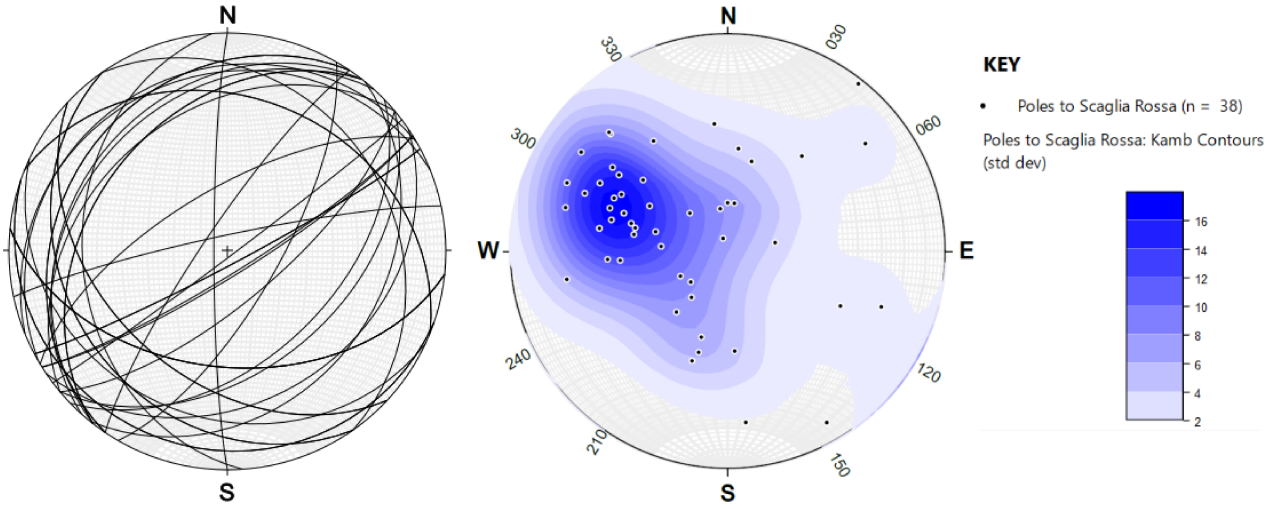


Figura 33: stereoplot raffigurante le giaciture della formazione della Scaglia Rossa

Scaglia Rossa: presenta una giacitura molto variabile degli strati: 10 giaciture si trovano nel settore SE, 12 giaciture nel settore SW ed altrettante in quello NW. La scaglia rossa presenta 3 set di famiglie differenti aventi: la prima giacitura 120N-150N con inclinazione da 45° a 88°; la seconda presenta immersione compresa tra 186N e 235N con inclinazione variabile da 26° a 46° e la terza famiglia giacitura 304N-320N e inclinazione 18°-40°.

Non appare esserci una giacitura prevalente, probabilmente per la reologia della formazione che essendo fortemente deformata presenta giaciture molto variabili per la presenza di pieghe parassite e strutture secondarie.

5.3 SEZIONI AEM: confronto dati AEM e litologia

L'analisi integrata dei dati di resistività ricavati dalle indagini AEM e delle informazioni litologiche ha la finalità di verificare se è possibile attribuire determinati intervalli di resistività alle diverse formazioni geologiche presenti all'interno dell'area di studio di questa tesi, costituite principalmente da calcari e dolomie. Un ulteriore obiettivo è la possibilità di individuare e caratterizzare eventuali strutture tettoniche, con particolare attenzione al sovrascorrimento di grandi dimensioni presente nell'area di studio che ha portato formazioni giurassiche topograficamente al di sopra formazioni triassiche.

In questa prima parte si cercherà di attribuire ad ogni formazione un range di valori di resistività quanto più verosimile possibile, utilizzando una relazione diretta: affioramento in superficie e dato di resistività. Si procederà nel capitolo successivo al confronto tra sezioni geologiche contenenti parti interpretative e sezioni AEM, per stabilire se è possibile sfruttare i dati di resistività al fine di stabilire la presenza di una data formazione in aree in cui non è possibile accedere per rilevare.

I profili rappresentati in questo capitolo (rappresentati in Fig. 36) sono stati volutamente realizzati su aree dove affiora una sola formazione così da poter verificare entro quale range di valori di resistività si colloca una certa formazione. Questo dovrebbe consentire di individuare un range di valori caratteristico per le diverse formazioni così da poterle poi distinguere anche in sezione o in aree su cui ancora non sono stati fatti rilievi di terreno.

La scala di colore rappresentativa della resistività è unica per tutte le sezioni AEM e va da valori di 10Ωm (rappresentato dal colore blu) a 10.000Ωm (rappresentato dal colore viola), come si vede rappresentato in Figura 34.

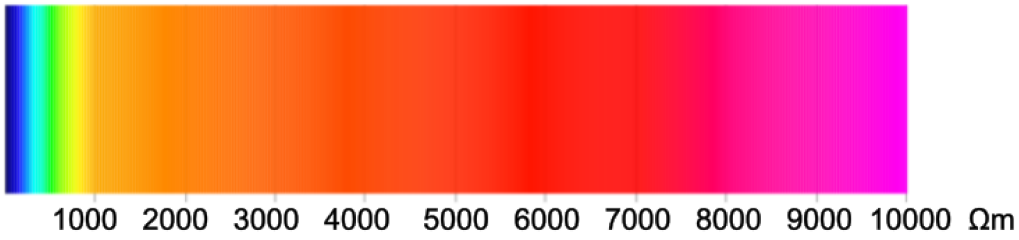


Figura 34: Scala cromatica rappresentativa dei valori di resistività da 10 Ωm a 10.000 Ωm rappresentati nelle sezioni AEM

I dati AEM sono costituiti da acquisizioni distribuite lungo delle specifiche linee di volo e descrivono, per ciascun punto di misura, le variazioni della resistività con la profondità lungo una linea verticale partendo dalla quota di campagna.

I diversi dati sono raccolti all'interno di una tabella, di cui segue un esempio semplificato (Fig. 35), e riportano le seguenti informazioni per ogni punto: il primo identificativo rappresenta la linea di volo (Line_N0), seguono poi le coordinate X e Y secondo il sistema UTM (UTMX e UMTY) e la quota topografica del punto rispetto al livello del mare (elevation). Per ciascuno dei 30 strati del modello verticale sono inoltre indicate la profondità del tetto (Dep_Top_n) e del letto (Dep_Bot_n) dello strato, insieme alla corrispondente valore di resistività elettrica (Rho_n). In questo modo, ogni punto di acquisizione è descritto da un profilo verticale discretizzato, dal quale è possibile ricostruire la distribuzione della resistività nel sottosuolo.

Nella tabella viene infine riportata la profondità della Depth of Investigation (DOI).

I valori presenti nelle tabelle seguenti sono stati estrapolati dalla tabella generale e corrispondono quindi allo strato più superficiale rilevato che ha uno spessore nel caso di inversione smooth di 2m e sharp di 4m, partendo dalla traccia del profilo topografico.

Per questa tesi è stato deciso di utilizzare l'inversione smooth, ritenuta la più adatta allo scopo finale. Per ogni tabella viene riportato l'elevazione topografica del punto e il relativo valore di resistività per il primo strato di spessore 2m.

LINE_NO	UTMX	UTMY	ELEVATION	RHO_1	RHO_2	RHO_3	DEP 1
512101	612911.48	5055049.28	366.6	1024	961.6	767.2	
512101	612918.76	5055030.98	369.6	1375	1132	952.2	
512101	612923.5	5055012.2	371.8	2352	1698	1357	
512101	612925.46	5054993.1	374.1	3463	2840	2184	
512101	612925.46	5054974	371.8	3246	2764	2338	
512101	612924.16	5054954.78	364.9	3907	3056	2166	
512101	612922.16	5054935.12	358.6	1940	1313	581.5	
512101	612920.2	5054914.4	353.6	408.6	203.9	124.9	
512101	612918.92	5054892.58	350.5	114.6	92.16	104.2	
512101	612918.86	5054870	348.4	106.8	113.2	129	

_3	DEP_TOP_1	DEP_TOP_2	DEP_TOP_3	DEP_BOT_1	DEP_BOT_2	DEP_BOT_3	DOI_CONSER
767.2	0	2	4.256	2	4.256	6.802	85.301
952.2	0	2	4.256	2	4.256	6.802	79.939
1357	0	2	4.256	2	4.256	6.802	82.483
2184	0	2	4.256	2	4.256	6.802	85.806
2338	0	2	4.256	2	4.256	6.802	94.796
2166	0	2	4.256	2	4.256	6.802	90.343
581.5	0	2	4.256	2	4.256	6.802	403.847
124.9	0	2	4.256	2	4.256	6.802	393.176
104.2	0	2	4.256	2	4.256	6.802	374.185
129	0	2	4.256	2	4.256	6.802	442.423

Figura 35: Esempio semplificato di tabella di dati AEM (con inversione smooth), in cui vengono riportati: numero della linea di volo, coordinate UTM, elevazione, resistività elettrica, profondità del top dello strato e del bottom, profondità della DOI.

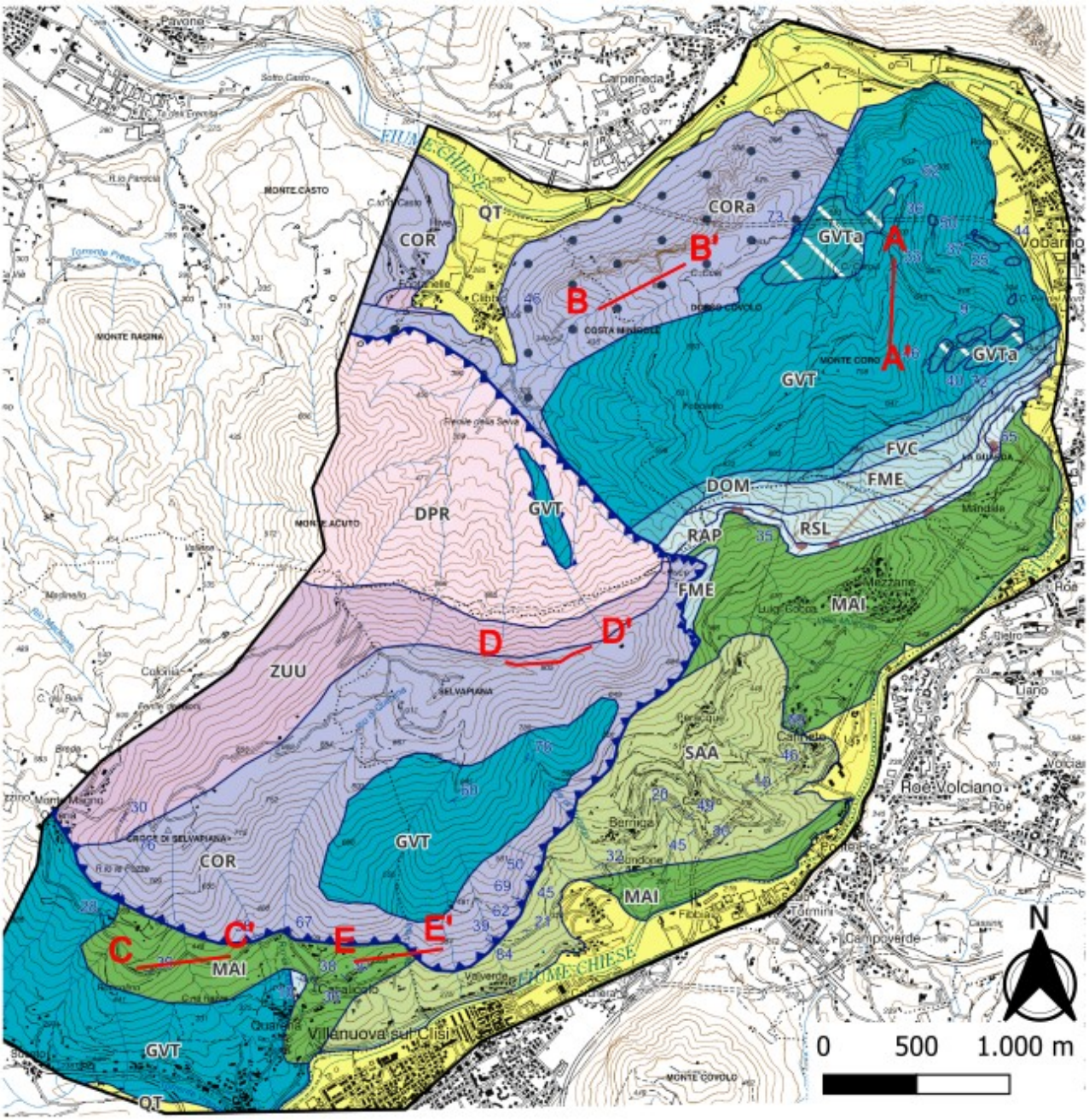


Figura 36: Stralcio di carta risultato di questa tesi su cui sono riportate le tracce delle sezioni che vengono discusse in questo capitolo: sezione AA' sulla formazione del Calcari di Gardone Val Trompia, sezione BB' sulla formazione della Corna Dolomitica, CC' per la formazione della Maiolica, DD' per la formazione della Corna e infine la sezione EE' interessa la Maiolica e la formazione della Corna messe a contatto da sovrascorrimento tettonico.

Sezione	Formazione
AA'	Formazione di Gardone Val Trompia
BB'	Corna Dolomitizzata
CC'	Maiolica
DD'	Corna Calcarea Indifferenziata
EE'	Maiolica
	Corna Calcarea Indifferenziata

Tabella 1: Tabella riassuntiva delle sezioni di seguito esaminate e delle relative formazioni geologiche analizzate

Sezione AA': la formazione affiorante è il Calcare di Gardone Val Trompia formato litologicamente da calcari selciferi e calcari marnosi. Lungo questa traccia i valori di resistività sono compresi nel range: da 132 Ωm fino a 1637 Ωm, che occupano la scala di colore dall'azzurro all'arancione.
È stato deciso di escludere i valori sopra 1637 Ωm perché sono stati rilevati solo ai margini delle sezioni e sono molto discordanti dal resto dei dati. C'è la possibilità che si tratti di dati poco affidabili ed in ogni caso i valori molto discordanti andrebbero a saturare la scala di colore verso i valori maggiori, impedendo un'efficace rappresentazione cromatica lungo il resto della sezione.

Elevation									
617,8	622,5	626,5	630,1	632,8	637,6	642,5	644,1	645,4	649,7
Resistività									
1431	1120	713,1	810,3	776,1	842,4	811,8	657,5	447,5	424,3

Elevation									
655,5	660,6	663,9	668,2	671,7	674,3	676,2	676,7	676,6	679,5
Resistività									
606,7	800,6	814,7	761,8	478,6	280,5	160,3	132,9	132	180,5

Elevation									
681,9	684,1	686,1	688,1	691,3	697	705	712	713,8	715,3
Reisitivtà									
200,2	196,4	236,1	333,2	493,5	690,3	1673	4381	4686	4141

Tabella 2: In tabella sono riportati i dati riguardanti la quota del punto e la resistività del primo strato di spessore 2m; sono evidenziati i valori massimo e minimo di resistività appartenenti alla Formazione di Gardone Val Trompia

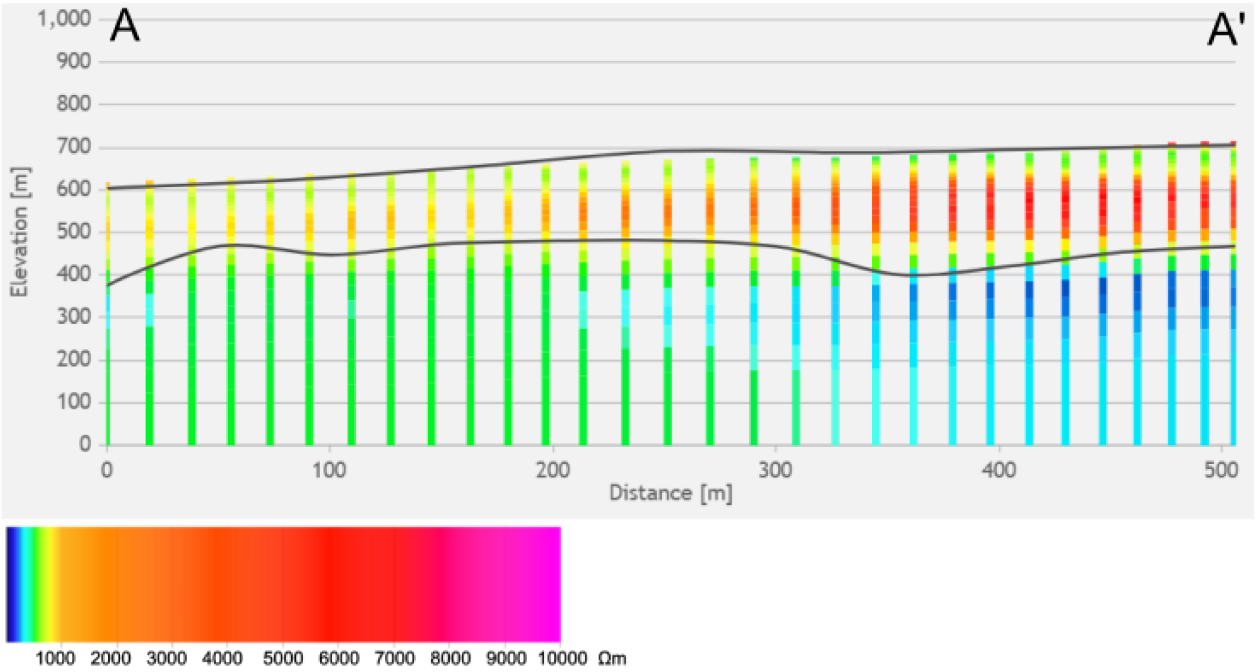


Figura 37: Sezione AA' tracciata in direzione N-S, dove vi è affioramento della formazione di Gardone Val Trompia, acquisita dal portale GeoCloud fornito da A2A rappresentante, i dati AEM e relativa legenda di colore.

Sezione BB': la formazione affiorante è la Corna Dolomitizzata composta da dolomia che presenta valori di resistività che partono da 239.2 Ωm ed arrivano a 6334 Ωm. Si osserva un range di dati che copre all'incirca metà della scala di colori da azzurro a rosso intenso.

Elevazione									
484,1	492,8	501,2	512,6	522,8	532,1	541,7	552,5	563,6	573,8
Resistività									
239,2	239,2	357	291,2	318,6	714,9	763,9	1473	1625	1848

Elevazione									
582,7	591,5	600,3	607,3	613	620,8	629,6	636,6	643,5	646,6
Resistività									
2847	2605	3308	3969	5416	6334	5588	5135	5246	5284

Elevazione									
649,1	649,4	658,4	667,5	668	665,3	664,4	665,1		
Resistività									
2930	2612	2081	1437	1182	530,9	456,1	577,5		

Tabella 3: In tabella sono riportati i dati riguardanti la quota del punto e la resistività del primo strato di spessore 2m; sono evidenziati i valori massimo e minimo di resistività appartenenti alla Formazione della Corna Dolomitizzata

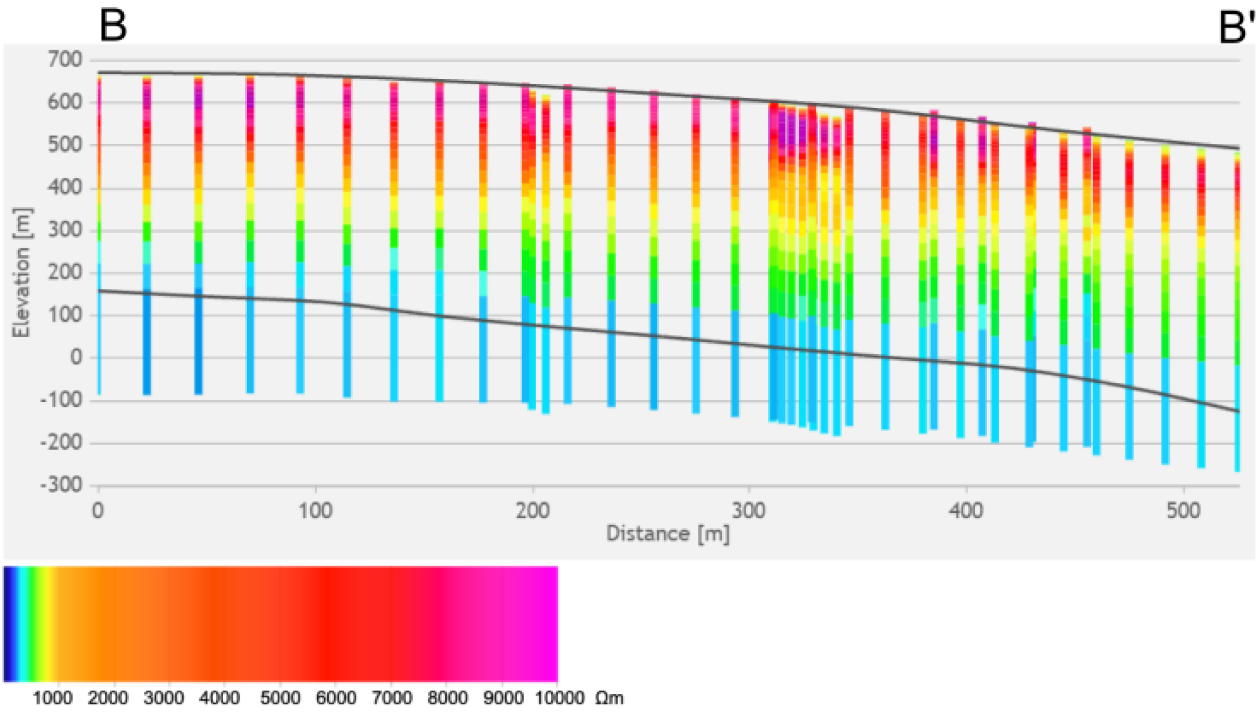


Figura 38: Sezione BB' tracciata in direzione SW-NE, dove vi è affioramento della formazione di Corna Dolomitizzata, acquisita dal portale GeoCloud fornito da A2A, rappresentante i dati AEM e relativa legenda di colore.

Sezione CC': la formazione affiorante è quella della Maiolica. Si tratta di calcilutiti e calcari che nella zona presa in considerazione sono stati particolarmente interessati dalla tettonica che ha comportato deformazione duttile. I valori di resistività sono compresi tra 23,53 e 194 Ωm che corrispondo ai colori azzurro e verde.

Elevazione								
502,9	499,8	496,9	493	488,4	484	478,6	471,5	463,7
Resistività								
194	182	147,8	166,6	169	143,7	130,3	89,71	62,72

Elevazione								
450,4	436,4	426,4	419,9	422,8	428,2	432,7	436,4	439
Resistività								
46,79	44,35	34	23,53	43,65	86,56	92,09	103,8	67,97

Elevazione			
440,5	440,4	438,4	434,2
Resistività			
73,3	88,05	96,83	54,72

Tabella 4: In tabella sono riportati i dati riguardanti la quota del punto e la resistività del primo strato di spessore 2m; sono evidenziati i valori massimo e minimo di resistività appartenenti alla Formazione della Maiolica

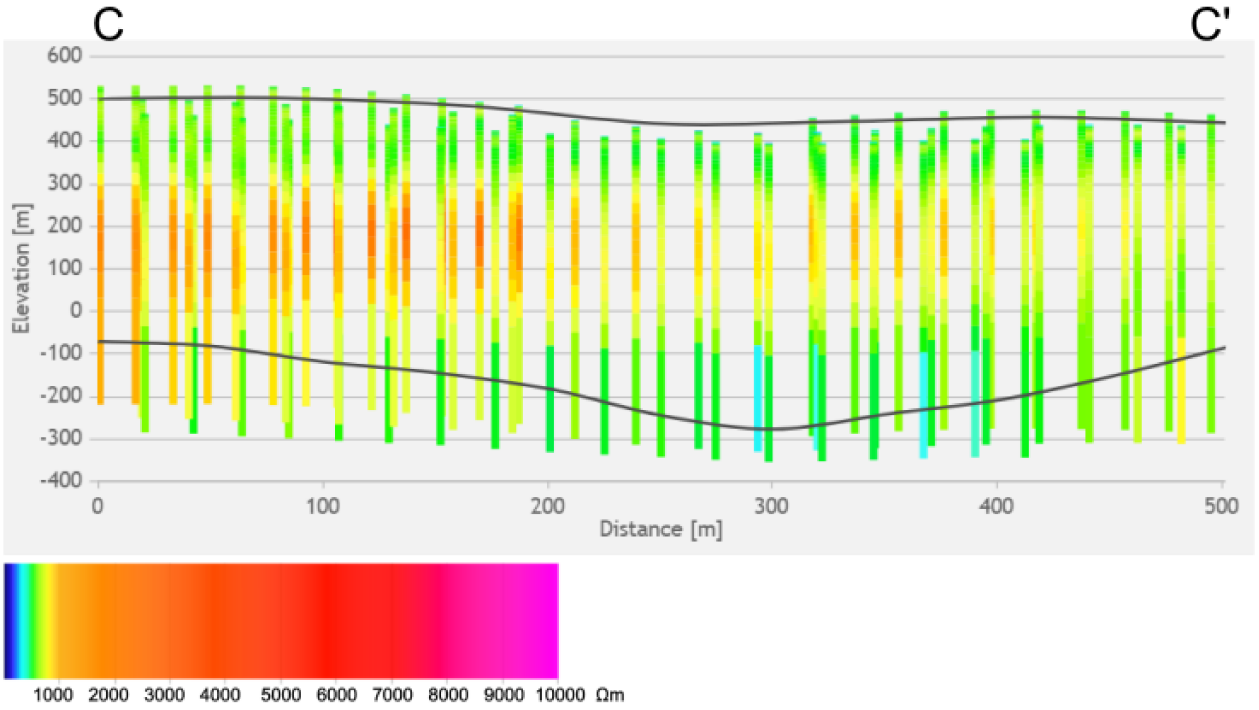


Figura 39: Sezione CC' tracciata in direzione W-E, dove vi è affioramento della formazione della Maiolica, acquisita dal portale GeoCloud fornito da A2A acquisita dal portale GeoCloud fornito da A2A, rappresentante i dati AEM e relativa legenda di colore.

Sezione DD': la formazione affiorante è Corna Calcarea Indifferenziata che si trova lungo il sentiero che collega il Monte Selvapiana al Santuario della Madonna della Neve. Si tratta di calcari localmente intercalati da dolomie; il range di valori di resistività in superficie è compreso tra 765,4 e 10540 Ωm. In questo caso i dati di resistività variano in un range di valori molto ampio rispetto alle due formazioni geologiche precedenti, probabilmente a causa delle caratteristiche litologiche molto differenti della formazione stessa.

Elevazione									
840,1	838,6	837,2	835,9	838,1	842,1	843,9	843,3	845	851,3
Resistività									
2749	2810	2305	2440	5257	8151	7924	7744	6295	5034

Elevazione								
854	859,5	863,9	866,7	867,9	870,3	869	868,1	871,6
Resistività								
5538	4753	2629	2248	2140	2296	1238	765,4	788,3

Elevazione								
876,2	880,7	886,4	891,3	892	891,4	890,4	888,7	886,2
Resistività								
1408	3498	7787	9865	9859	10540	9429	7481	6261

Tabella 5: In tabella sono riportati i dati riguardanti la quota del punto e la resistività del primo strato di spessore 2m; sono evidenziati i valori massimo e minimo di resistività appartenenti alla Formazione della Corna Calcarei Indif.

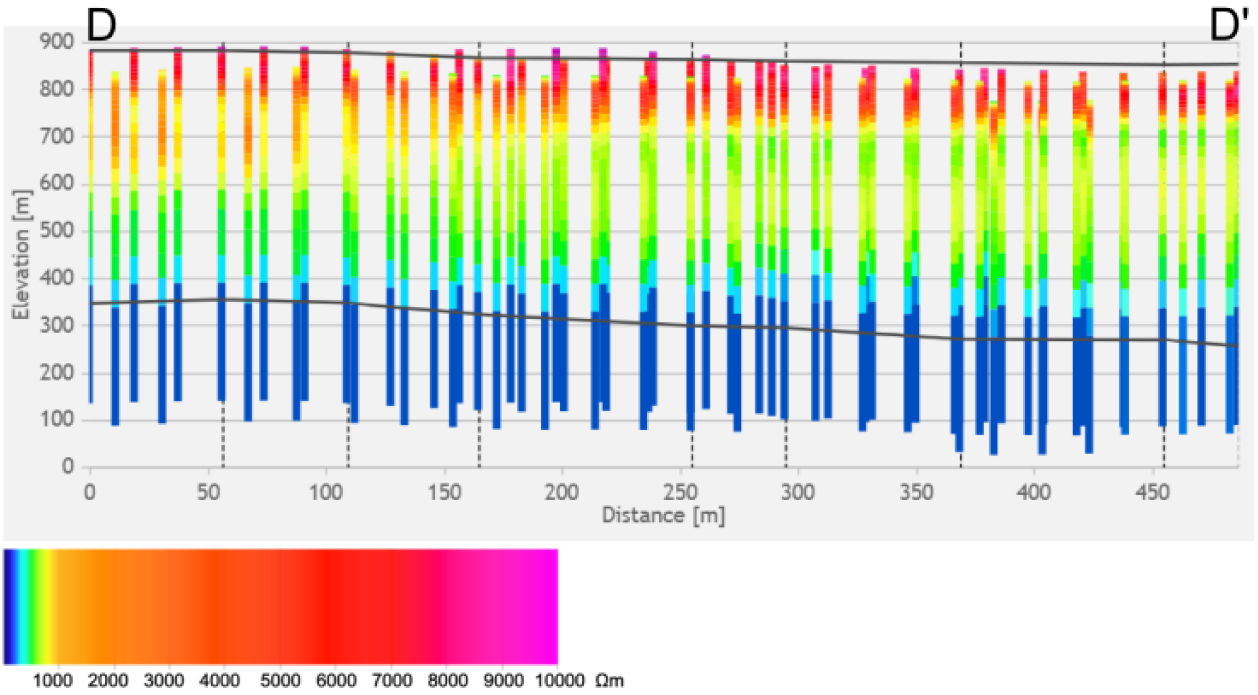


Figura 40: Sezione DD' tracciata in direzione W-E, dove vi è affioramento della formazione della Corna Calcarea Indifferenziata, acquisita dal portale GeoCloud fornito da A2A, rappresentante i dati AEM e relativa legenda di colore.

Sezione EE': in questa sezione, tracciata da Ovest verso Est, nella parte occidentale è presente la formazione della Maiolica e nella parte orientale quella della Corna; queste sono messe a contatto dal sovrascorrimento principale che in questa porzione di carta immerge verso est.

I valori di resistività variano lungo la linea di terreno da 49,49 Ωm a 1179 Ωm; in particolare, nella prima parte della tabella (Tab. 6), in corrispondenza della Maiolica (range 49.49-1179 Ωm), i valori sono maggiori rispetto alla seconda parte che corrisponde alla Corna Calcarea Indifferenziata (range 88.57-127.7 Ωm); questo ci fa pensare che, all'interno di quest'ultima, ci possano essere fratture contenenti acqua (altamente resisitva) che abbassa i valori di resistività del calcare che nella sezione precedente erano più elevati.

La presenza del sovrascorrimento si ha in prossimità dei valori di resistività 96.79 Ωm per la Maiolica e 88.57Ωm per la Corna Calcarea Indifferenziata.

Elevazione								
378,3	383,8	387,8	384,8	381,3	375,8	369,5	361,4	351
Resistività								
130,6	273	393	485,9	752	1103	1179	682,9	193,5

Elevazione								
342,4	347,5	351	350,5	351,8	354,5	355,5	356,7	360,3
Resistività								
49,49	116,5	92,99	95,17	95,33	96,79	88,57	93,64	105,6

Elevazione					
364,3	367,3	368,9	369,3	366,4	364
Resistività					
111,2	127,7	101,5	105,5	95,98	92,22

Tabella 6: In tabella sono riportati i dati riguardanti la quota del punto e la resistività del primo strato di spessore 2m; in verde sono evidenziati i dati riferiti alla formazione della Maiolica, mentre in viola sono rappresentati i dati riguardati la formazione della Corna Calcarea Indifferenziata.

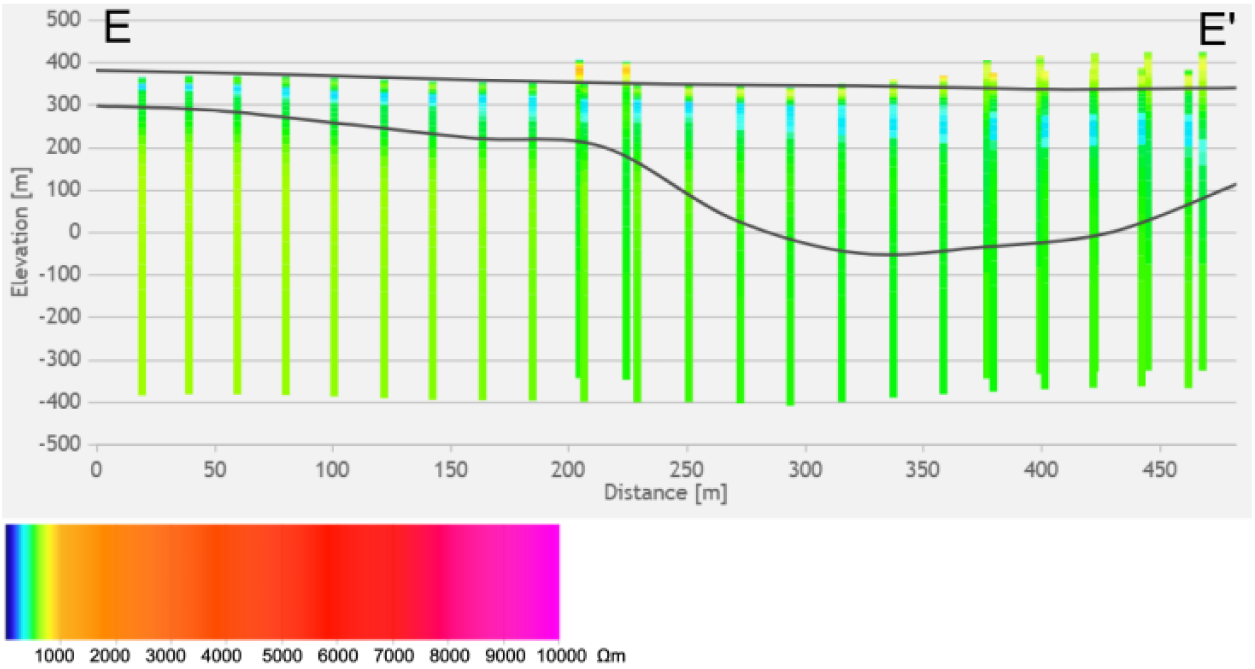


Figura 41: Sezione EE' tracciata in direzione W-E, dove vi è affioramento della formazione della Maiolica e Corna Calcarea Indifferenziata, acquisita dal portale GeoCloud fornito da A2A, rappresentante i dati AEM e relativa legenda di colore.

Di seguito, nella tabella, sono riportati tutti i dati riferiti alle sezioni viste in questo capitolo; Per ogni formazione è riportato il caratteristico range di valori di resistività osservati pocansi.

Sezione	Formazione	Range di valori di Resistività
AA’	Formazione di Gardone Val Trompia	132 - 1637 Ωm
BB’	Corna Dolomitizzata	239.2 - 6334 Ωm
CC’	Maiolica	23.53 - 194 Ωm
DD’	Corna Calcarea Indifferenziata	765.4 - 10540 Ωm
EE’	Maiolica	49.49 - 1179 Ωm
	Corna Calcarea Indifferenziata	88.57 - 127.7 Ωm

Tabella 7: Tabella riassuntiva dei range di resistività affibbiati alle diverse formazioni

6. DISCUSSIONE

In questo capitolo, dopo aver analizzato la risposta delle singole formazioni al rilievo AEM, si procederà a confrontare le sezioni geologiche estere su tutta l'area rilevata con i dati AEM (Fig. 42). La finalità è quella di evidenziare analogie tra la distribuzione dei valori di resistività e le geometrie osservate in sezione che permettono di individuare una corrispondenza tra formazioni geologiche e un range di valori di resistività. A tal fine sono state costituite tre sezioni geologiche diversamente orientate e che attraversano litologie e formazioni differenti ed anche contatti tra formazioni di diverso tipo (stratigrafici e tettonici).

La sezione FF' ha un'orientazione all'incirca da Ovest a Est e si estende per 3.7 km. Interessa cinque diverse formazioni messe a contatto dal sovrascorrimento principale e da contatti litologici.

La sezione GG' ha un'orientazione variabile da N-S (parte settentrionale), W-E (parte centrale) e SW-NE (parte meridionale), per seguire al meglio il dato AEM a disposizione. Si estende planimetricamente per 7.7 km, andando ad indagare quasi tutte le formazioni presenti nell'area e i loro rapporti stratigrafici e tettonici.

Infine, la sezione HH', ha un'orientazione da SW a NE e ha una lunghezza planimetrica di 2.3km. Interesse in particolar modo due formazioni distinte ma entrambe formate da dolomia che sono messe a contatto dal sovrascorrimento.

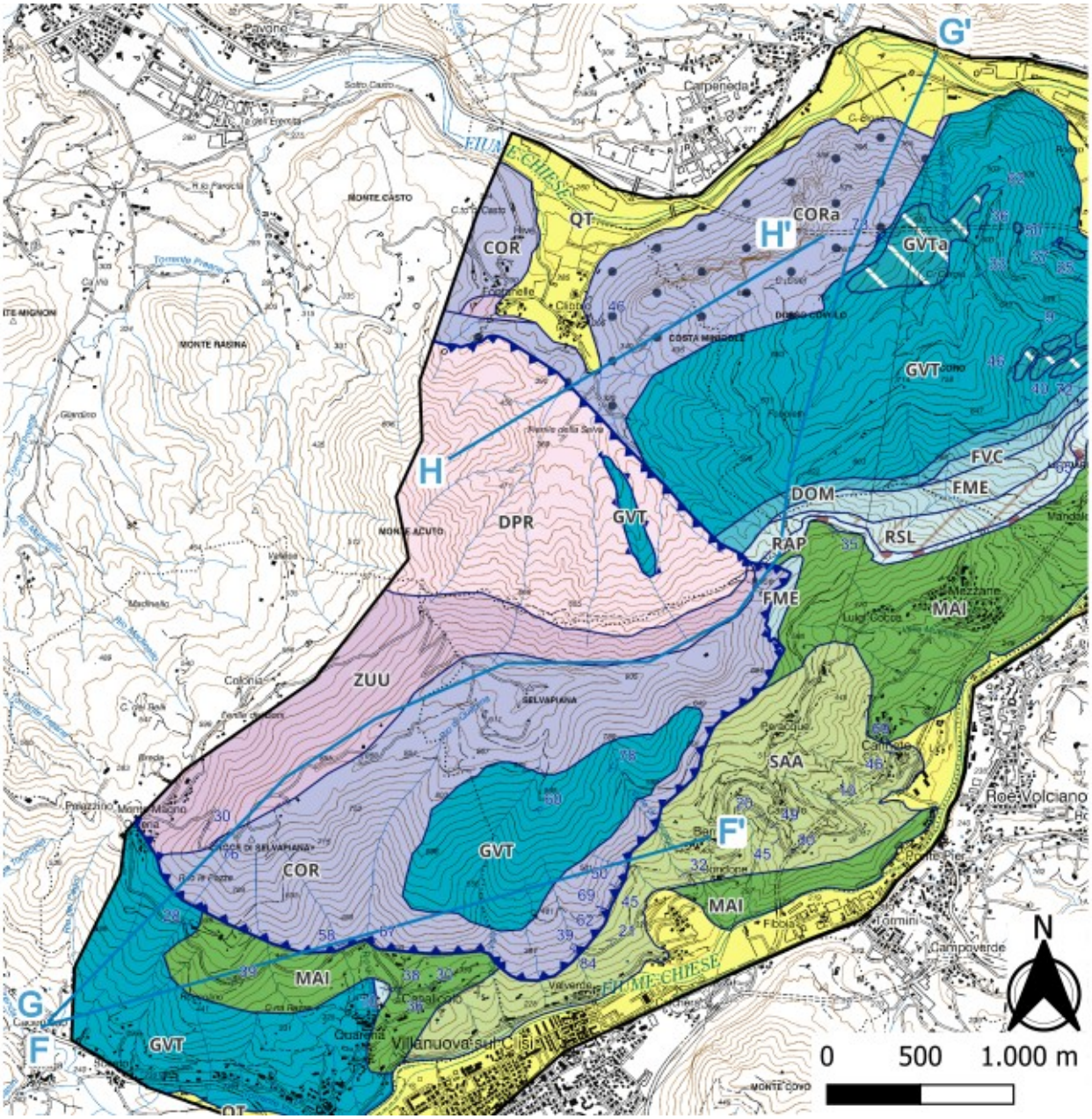


Figura 42: stralcio di carta risultato di questa tesi su cui sono riportate le tracce delle sezioni che vengono discusse in questo capitolo.

SEZIONE FF’

In questa sezione si può osservare la presenza di divere formazioni; nella parte occidentale abbiamo il calcare di Gardone Val Trompia, composto da calcari selciferi e marnosi, in contatto stratigrafico con la Maiolica, costituita da calcilutiti e calcari micritici, mentre nella parte orientale è presente la Scaglia Rossa formata da marne e marne calcaree. Queste formazioni sono messe a contatto con la Corna Calcarea Indifferenziata, anch’essa formata da calcari, dal sovrascorrimento principale che è presente nell’area oggetto di studio.

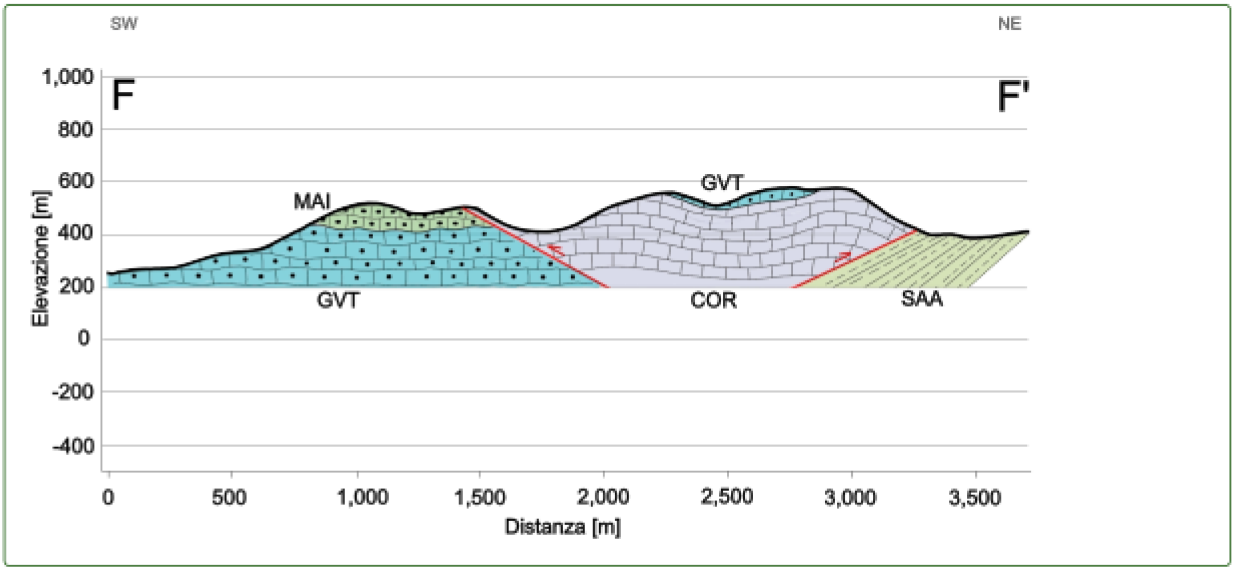


Figura 43: Sezione FF’ tracciata da Ovest a Est per un’estensione di 3.7Km. Le formazioni presenti sono: Corna Calcarea Indifferenziata (COR), F. di Gardone Val Trompia (GVT), Maiolica (MAI) e Scaglia Rossa (SAA)

Dalla corrispondente sezione AEM riscontriamo nella gran parte della porzione superficiale dei valori di resistività molto bassi; infatti, il colore dominante è il verde che sta ad indicare un range di valori compreso indicativamente tra 500 e 700Ωm.

Nella parte centrale, invece, si osserva un cambio di colore: si passa da verde a giallo. Questo è segno di un aumento dei valori di resistività, il range varia all'incirca tra 700 e 850 Ωm.

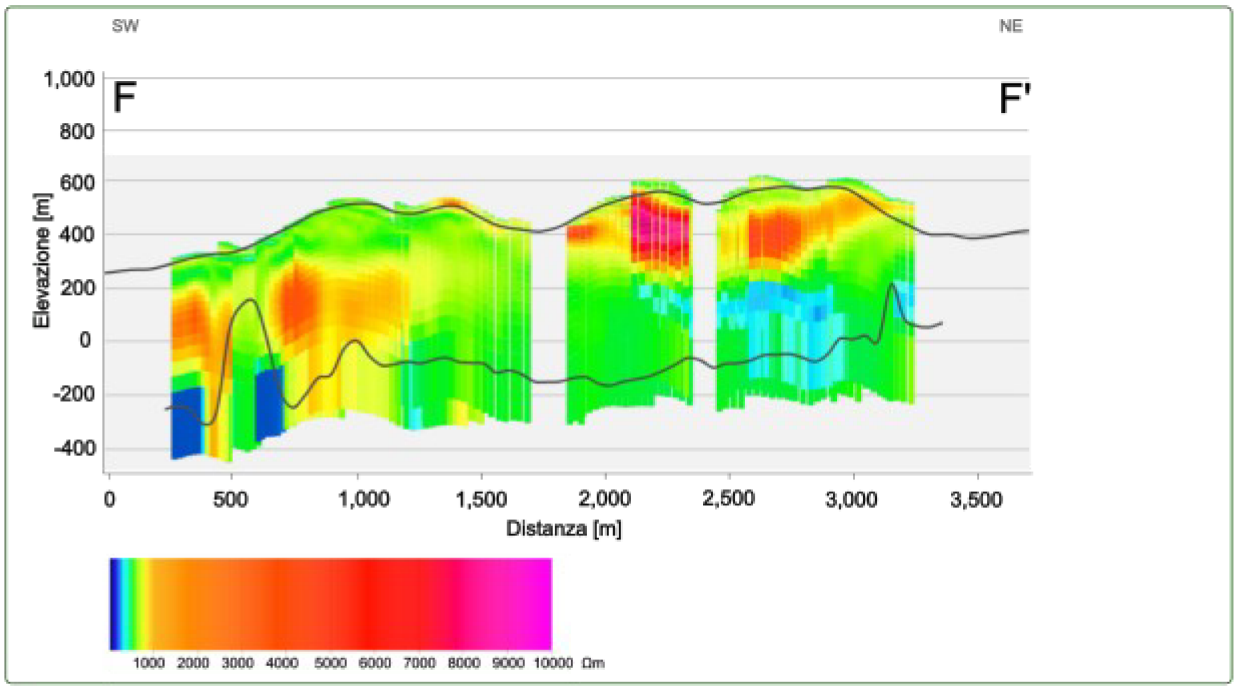


Figura 44: Sezione FF' estrapolata dal portale GeoCloud, rappresentate i dati AEM forniti da A2A e relativa scala di colore

Dalla sovrapposizione delle due sezioni osserviamo che la formazione della Maiolica e della Corna registrano un aumento dei valori di resistività in prossimità del sovrascorrimento principale mentre il resto delle formazioni mostra valori che nella scala cromatica vengono rappresentati dal colore verde (500-700 Ωm).

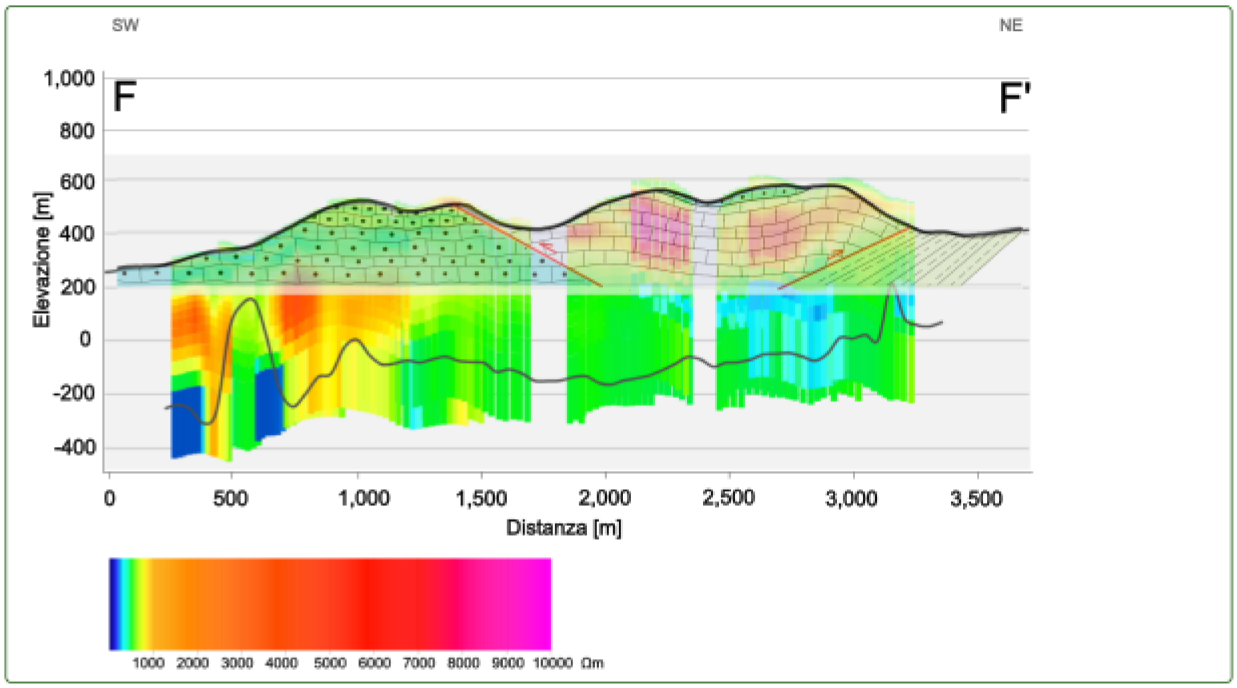


Figura 45: Sovrapposizione della sezione geologica e della sezione AEM con relativa scala cromatica.

Di seguito è riportata la tabella estrapolata dal database iniziale, dove sono riportati i valori di resistività caratteristici del primo strato rilevato (spessore 2m) lungo la sezione FF' e suddividi nei colori appartenenti ad ogni formazione come riportato nella Fig. 14 di questa tesi.

LINE_NO	UTMX	UTMY	ELEVATION	RHO_1	DEP_TOP_1	DEP_BOT_1
580335	612737,5	5051604	543,7	54,8	0	2
580336	612185,36	5051419,22	442,9	61,23	0	2
580336	612165,7	5051411,3	451,7	82,91	0	2
580336	612146,92	5051403,94	457,8	108	0	2
580336	612128,52	5051397,42	463,6	154	0	2
580336	612110,16	5051392,22	467,5	190,7	0	2
580336	612091,4	5051388,26	471,4	172,7	0	2
580336	612071,9	5051385,4	472,8	153	0	2
580336	612051,8	5051383,04	474,3	139,5	0	2
580336	612031,4	5051380,88	474	121,8	0	2
580336	612011,14	5051378,36	471,5	108,5	0	2
580336	611991,28	5051375,16	468,4	95,65	0	2
580336	611971,9	5051371,6	462,6	101,1	0	2
580336	611953,08	5051367,76	456,5	41,15	0	2
580336	611823,52	5051349,8	485,1	47,55	0	2
580337	612514,92	5051545,54	441,8	77,98	0	2
580337	612542,16	5051544,96	454,4	195,8	0	2
580338	611292,52	5051198,72	340,6	29,26	0	2
580339	611620,86	5051288	500,2	179,1	0	2
580340	611115,9	5051147,9	331,6	78,05	0	2
580341	611453,4	5051242,74	435,7	207	0	2
580343	613107,9	5051699,2	529,2	393	0	2
580344	613247,16	5051750,72	566,4	87,39	0	2
	Corna Calcarea Indifferenziata					
	Fm. di Gardone Val Trompia					
	Maiolica					

Tabella 8: Tabella estrapolata dal database generale, riportante: linea di volo (Line_N0), Coordinate UTM (UTMX, UTMY), elevazione e valori di resistività caratteristici del primo strato rilevato (Rho_1). Con allegata legenda colori formazionali.

Dalla Tabella 8 si estrapolano i seguenti dati: la formazione del Gardone Val Trompia mostra un range di resistività da 442.9 a 566.4 Ωm; per la Maiolica i valori sono compresi tra 29.26 Ωm e 195.5 Ωm e, infine, per la Corna Calcarea il range di valori varia tra 179.1 e 207 Ωm.

SEZIONE GG’

Nella seguente sezione geologica (Fig. 46) si riscontra la presenza di diverse formazioni: Calcare di Zuu, Corna Calcarea e Corna Dolomitizzata, Formazione di Gardone Val Trompia, Calcare di Domaro, Formazione di Villa Carcina, Formazione dei Calcari Medoloidi, Radiolariti del Selcifero Lombardo, Rosso ad Aptici, Maiolica e una piccola parte di depositi quaternari. Le litologie principali sono dolomia, nel caso della Corna Dolomitizzata, selce e diaspri nel caso delle Radiolariti e per le restanti formazioni la litologia dominante è il calcare, saltuariamente intervallato da selce, calcilutiti, calciruditi e marne.

È evidente la presenza di un contatto tettonico, che, come nella precedente sezione, è il sovrascorrimento principale presente nell’area oggetto di studio e in questo caso mette a contatto Corna e Gardone Val Trompia a ovest mentre ad est ci sono le formazioni della Corna Calcarea e della Maiolica.

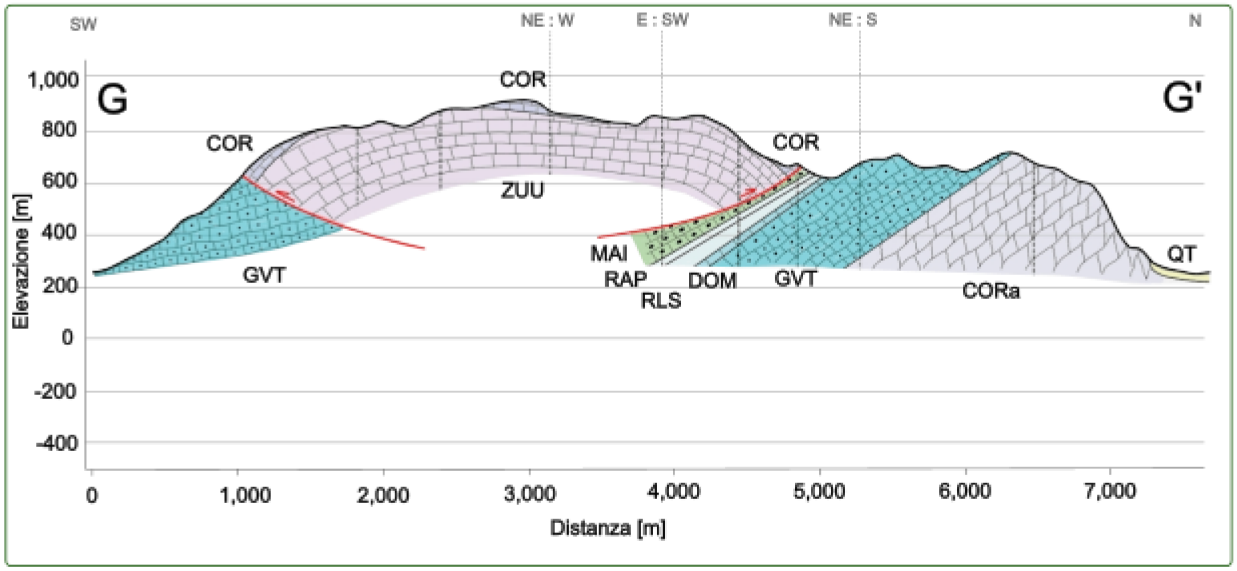


Figura 46: Sezione GG’ tracciata con orientazione variabile: SW-NE (parte meridionale), W-E (parte centrale) e S-N (parte settentrionale). Sono presenti le seguenti formazioni: Calcare di Zuu Indifferenziato (ZUU), Corna Calcarea Indifferenziata (COR) e Corna Dolomitizzata (CORa), Formazione di Gardone Val Trompia (GVT), Calcare di Domaro (DOM), Radiolariti del Selcifero Lombardo (RLS), Rosso ad Aptici) e Maiolica (MAI).

Dalla sezione AEM si evincono dei valori di resistività relativamente alti per quanto riguarda la parte superficiale e centrale della sezione. Mentre per la parte occidentale e orientale si riscontrano generalmente dei valori riconducibili al colore verde (500 - 700 Ωm) con picchi gialli (700 - 850 Ωm). Dalla Tabella 9, si evincono degl'importanti cambi di resistività al passaggio tra Calcare di Zu e Corna indifferenziata e anche al passaggio tra Corna calcarea e Maiolica.

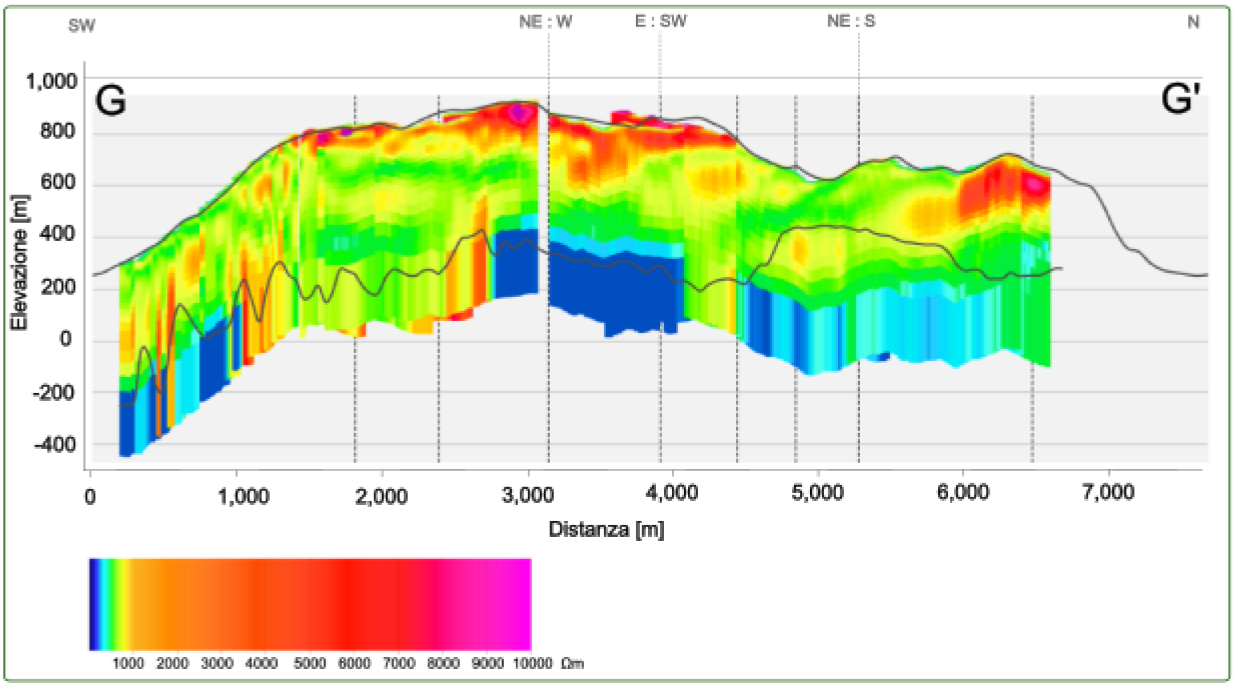


Figura 47: Sezione GG' estrapolata dal portale GeoCloud, rappresentate i dati AEM forniti da A2A e relativa scala di colore

Sovrapponendo le due sezioni (Fig. 48) si può osservare che i punti superficiali caratterizzati da valori di resistività più elevati si trovano a notevole distanza dal sovrascorrimento principale e, pertanto, non sembrano essere interessati direttamente dalla tettonica.

Per quanto riguarda il settore occidentale, i colori presenti risultano essere compatibili con quelli visti nel capitolo precedente dei risultati (verde-giallo). Anche nel settore centrale, i dati rivenuti riguardati la formazione della Corna Calcarea, che in quella particolare area è stata accorpata con la Corna dolomitizzata, coincidono con quelli riportati in precedenza.

Per quanto riguarda il sovrascorrimento principale, non sembra esserci una corrispondenza esatta con un colore, perché circondato da substrato già di per sé poco resistivo. Si osserva però, ad una quota topografica più elevata, e al contatto tra Calcare di Zuu e Corna calcarea indifferenziata un netto divario nei valori di resistività.

Per i depositi quaternari non è possibile fare osservazioni in quanto non sono stati interessati dal rilevamento di dati di resistività.

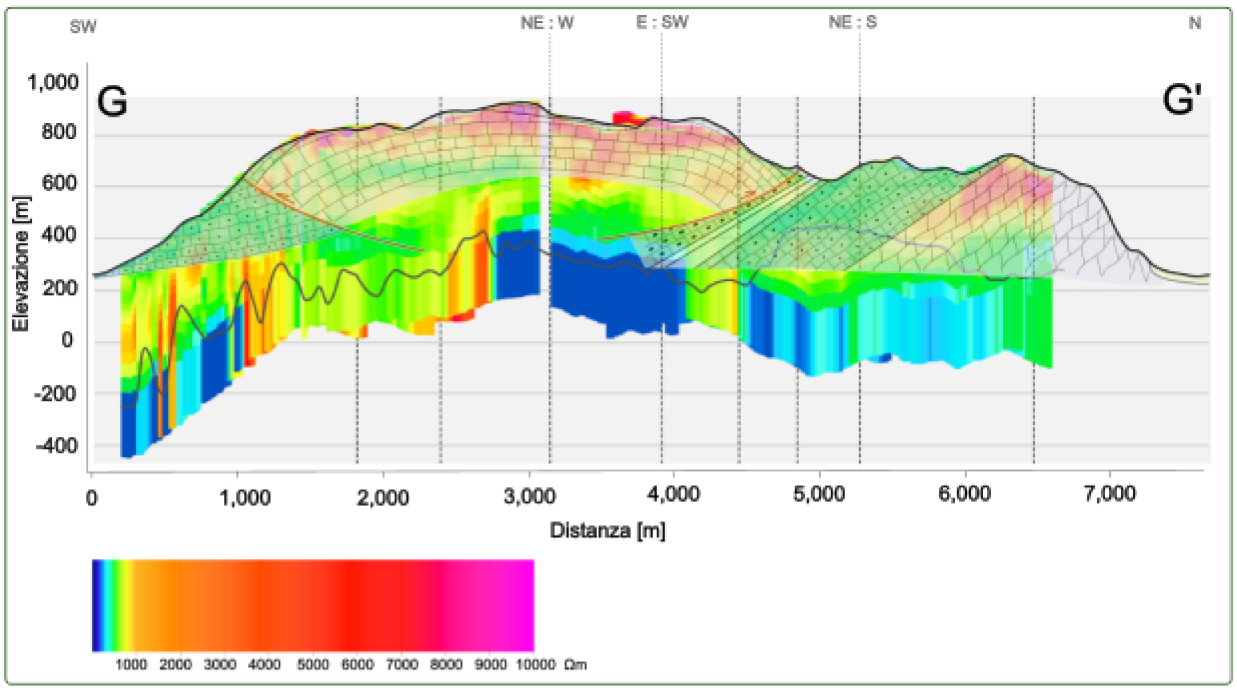


Figura 48: Sovrapposizione della sezione geologica e della sezione AEM con relativa scala cromatica.

Di seguito è riportata la tabella estrapolata dal database iniziale, dove sono riportati i valori di resistività caratteristici del primo strato rilevato (spessore 2m) lungo la sezione GG' e suddividi nei colori appartenenti ad ogni formazione come riportato nella Fig. 14 di questa tesi.

LINE_NO	UTMX	UTMY	ELEVATION	RHO_1	DEP_TOP_1	DEP_BOT_1
580334	611301,68	5051651,92	538,6	48,12	0	2
580335	611321,8	5051672,7	551,8	64,01	0	2
580336	611146,24	5051484,24	428,3	31,58	0	2
580337	611212,08	5051555,48	476,4	42,21	0	2
580338	610979,62	5051318,98	336,3	54,35	0	2
580339	611038,16	5051394,1	370,1	45,42	0	2
580340	610907,1	5051238,8	305,5	119,4	0	2
580341	611082,5	5051419,66	390,3	32,54	0	2
580343	611377,04	5051730,04	596,2	136	0	2
580344	611450,9	5051805,6	656,1	222,4	0	2
580345	611528,08	5051889,3	700,2	86,17	0	2
580347	611652,28	5052010,92	773,3	585,3	0	2
580349	611791,36	5052156,3	821,1	2274	0	2
580364	611761,8	5052128,1	815,3	4050	0	2
580397	612018,2	5052390	813,1	1089	0	2
580397	612040,3	5052402,4	820,2	2112	0	2
580397	612061,46	5052416,3	823,8	3631	0	2
580397	612082,1	5052431,38	832	4069	0	2
580397	612102,56	5052446,8	831,2	3916	0	2
580397	612144,6	5052477,04	824,9	3491	0	2
580397	612166,1	5052491,6	821,6	2771	0	2
580397	612188,06	5052506,26	817,1	2210	0	2
580397	612210,98	5052521,82	812,8	621,5	0	2
580397	612234,8	5052538	808,4	194	0	2
580397	612258,62	5052553,94	807,1	102,5	0	2
580397	612281,62	5052569,34	805,7	72,39	0	2
580397	612303,36	5052584,14	806,7	85,84	0	2
580397	612324,2	5052598,92	810,4	142,9	0	2
580397	612344,3	5052613,9	810	137	0	2
580397	612363,8	5052628,92	818,4	252,5	0	2
580398	613094,58	5052911,1	933,1	1218	0	2
580398	613077,06	5052905,96	934,4	1080	0	2
580398	613059,16	5052899,82	933,9	918	0	2
580398	613040,34	5052892,58	931,8	739,4	0	2
580398	613020,6	5052884,3	929,4	426,9	0	2
580398	613000,3	5052875,56	926,2	280,7	0	2
580398	612980,08	5052867,1	923,8	224	0	2
580398	612960,28	5052859,18	922,8	260,1	0	2
580398	612940,96	5052851,96	921,2	246,6	0	2
580398	612922,1	5052845,2	920	224,3	0	2
580398	612903,52	5052838,16	919,4	231,7	0	2
580398	612884,86	5052830,38	918,3	318,3	0	2
580398	612866,24	5052821,84	916,5	448,7	0	2
580398	612847,58	5052812,44	914,4	585	0	2
580398	612828,9	5052802,2	911,6	456,5	0	2
580398	612810,22	5052791,18	907,2	509	0	2

580398	612791,56	5052779,66	902,5	262,1	0	2
580398	612772,86	5052768,36	900,7	225,6	0	2
580398	612754,38	5052757,46	899,8	268,2	0	2
580398	612736,1	5052747,1	897,8	353,7	0	2
580399	611998,92	5052367,18	810,5	944,6	0	2
580409	613389,04	5052981,34	857,4	277,8	0	2
580409	613368,34	5052979,52	853,1	131	0	2
580409	613347,14	5052978,54	847,9	85,07	0	2
580409	613326,4	5052977,98	851,8	101	0	2
580409	613306,5	5052977,4	858,7	224,7	0	2
580409	613287,3	5052976,82	864,5	171,9	0	2
580409	613268,28	5052976,08	870,9	195,6	0	2
580409	613249,3	5052975,34	877	290,4	0	2
580409	613230,1	5052974,62	880,1	290,3	0	2
580409	613210,7	5052974,1	882,8	321,3	0	2
580409	613191,26	5052973,44	885	286,4	0	2
580409	612458,94	5052672,3	844,8	510	0	2
580409	612441,52	5052654,7	851,5	1007	0	2
580409	612423,54	5052636,76	856,4	1480	0	2
580409	614608,94	5053480,94	674,4	241,6	0	2
580409	614600,2	5053464,3	679,3	384,1	0	2
580409	614591,66	5053448,64	681,7	348,4	0	2
580409	614582,76	5053433,9	684,3	316,7	0	2
580409	614573,18	5053420,22	687,8	281,2	0	2
580409	614562,8	5053407,6	690,2	233,7	0	2
580409	614551,3	5053396	689,2	183,6	0	2
580409	614538,56	5053385,66	688,7	142,6	0	2
580409	614524,68	5053376,42	693,7	151,8	0	2
580409	614510,4	5053368,26	698,6	159,4	0	2
580409	614496,28	5053360,74	701	170	0	2
580409	614483	5053353,4	703,2	183,5	0	2
580409	614470,74	5053345,32	706,7	184,5	0	2
580409	614459,42	5053335,92	712	285,6	0	2
580409	614449,06	5053324,9	718,5	371,4	0	2
580409	614439,36	5053312,4	726,4	448,6	0	2
580409	614430,4	5053298,6	733,8	584,6	0	2
580409	614422,08	5053284,3	740,1	882,7	0	2
580409	614414,24	5053269,98	745,6	1085	0	2
580409	614406,88	5053256,32	753,9	1034	0	2
580409	614399,54	5053243,64	764,9	1018	0	2
580409	614392	5053231,8	775,3	1812	0	2
580409	614383,86	5053220,56	777,6	2334	0	2
580409	614374,7	5053209,86	779,1	3063	0	2
580409	614364,14	5053199,92	784,1	4092	0	2
580409	614352,12	5053191	793,6	2725	0	2
580409	614338,9	5053183,1	801,4	2899	0	2
580409	614324,52	5053176,18	799,8	1949	0	2
580409	614309,38	5053169,74	797,5	763,3	0	2
580409	614293,66	5053163,36	800,8	426,5	0	2
580409	614277,58	5053156,66	802,3	330,8	0	2
580409	614261,7	5053149,4	804,3	301,5	0	2
580409	614246,42	5053141,5	807,7	333,2	0	2
580409	614231,8	5053132,84	811,3	532,3	0	2

580409	614218,08	5053123,5	814,4	358,6	0	2
580409	614204,68	5053113,68	818,6	323,3	0	2
580409	614190,5	5053103,5	826,3	551	0	2
580409	614174,6	5053093,36	832,4	773,3	0	2
580409	614157,18	5053083,78	832,9	796,4	0	2
580409	614138,6	5053074,88	832,1	886,1	0	2
580409	614119,18	5053066,62	829,6	911,9	0	2
580409	614099,5	5053058,8	826,5	716,6	0	2
580409	614080,1	5053051,54	824	614	0	2
580409	614061,08	5053044,76	822,3	592,1	0	2
580409	614042,12	5053038,28	820,6	417,6	0	2
580409	614022,9	5053032,26	819,9	303,6	0	2
580409	614003,3	5053026,8	818,2	352,8	0	2
580409	613983,34	5053021,38	819	486,8	0	2
580409	613963,26	5053015,78	819,4	429,9	0	2
580409	613943,46	5053009,9	821,4	423,8	0	2
580409	613924	5053003,68	825	728,7	0	2
580409	613904,7	5052997,3	826,5	692,8	0	2
580409	613885,22	5052991,34	825,9	482,8	0	2
580409	613865,28	5052986,2	827,8	232,4	0	2
580409	613844,88	5052982,14	830	254,6	0	2
580409	613824,18	5052979,52	830,7	242,7	0	2
580409	613803,4	5052978,2	830,2	217,1	0	2
580409	613782,62	5052978,08	831,6	196,8	0	2
580409	613761,74	5052978,82	835,8	309	0	2
580409	613740,86	5052979,78	839,9	562,6	0	2
580409	613720,04	5052980,58	844,5	759,3	0	2
580409	613699,3	5052981,2	849,3	818,1	0	2
580409	613678,76	5052981,64	847,8	1002	0	2
580409	613658,3	5052981,9	843	1037	0	2
580409	613637,92	5052981,9	838,7	547,1	0	2
580409	613617,76	5052981,96	836	541,8	0	2
580409	613597,8	5052982,2	833,1	454,4	0	2
580409	613578,26	5052982,72	829,4	344,6	0	2
580409	613558,9	5052983,7	824,6	174,3	0	2
580409	613539,72	5052985,26	820,3	83,46	0	2
580409	613520,66	5052987,24	823,4	162,3	0	2
580409	613501,5	5052989,1	827,2	163,5	0	2
580409	613482,34	5052990,32	832,5	296,3	0	2
580409	613463,46	5052990,34	836,6	154,7	0	2
580409	613445,1	5052988,94	840,7	228	0	2
580409	613427	5052986,64	843,7	424,5	0	2
580409	613408,6	5052983,9	851,4	275,4	0	2
580418	614134,56	5053065,46	835,9	7343	0	2
580418	614148,88	5053076,78	834,1	5588	0	2
580418	614165	5053088,8	832,2	4159	0	2
580418	614182,06	5053101,02	827,7	6889	0	2

580418	614197,14	5053110,2	821	1625	0	2
580418	614211,02	5053116,26	817,5	1314	0	2
580418	614227,72	5053124,64	816	1371	0	2
580418	614245,4	5053131,8	815,4	1366	0	2
580418	614270,3	5053146,64	808,5	1551	0	2
580418	614296,46	5053165,94	798,8	2192	0	2
580418	614315,42	5053176,3	796,9	3489	0	2
580418	614333,68	5053185,52	798,4	4121	0	2
580418	614349,1	5053194,6	791,6	4083	0	2
580418	614362,66	5053202,68	782,4	4143	0	2
580418	614378,22	5053213,1	778,8	3691	0	2
580409	614652,82	5053867,34	645,6	857	0	2
580409	614656,1	5053844,5	635,4	572,6	0	2
580409	614660,12	5053822,04	631,1	263	0	2
580409	614664,36	5053799,66	632,2	321,5	0	2
580409	614667,92	5053777,48	631,1	432	0	2
580409	614669,84	5053756,14	632,8	626,6	0	2
580409	614669,7	5053736,3	632,9	622,8	0	2
580409	614667,24	5053717,8	628,2	915	0	2
580409	614663,16	5053700,08	622,4	347,1	0	2
580409	614658,88	5053681,94	617,5	51,5	0	2
580409	614655,7	5053662,94	616,4	22,91	0	2
580409	614653,8	5053643,2	616,4	21,35	0	2
580409	614653,02	5053623,04	620,6	33,09	0	2
580409	614652,38	5053603,14	630,7	33,16	0	2
580409	614650,88	5053584,26	640	33,33	0	2
580409	614647,58	5053566,32	647,9	56,72	0	2
580409	614642,4	5053549,1	653,9	74,8	0	2
580409	614635,28	5053532,2	659,4	87,35	0	2
580409	614626,94	5053515,22	664,4	101,5	0	2
580409	614617,94	5053498,06	669,1	147,5	0	2
580409	614648,5	5053913,38	660,4	943,6	0	2
580409	614650,2	5053890,48	652,8	1982	0	2
580416	614664,4	5053963,8	673,5	416,8	0	2
580416	614670,42	5053973,62	676,2	173,6	0	2
580416	614676,3	5053987,4	679	144,4	0	2
580416	614681,92	5054003,52	682,3	136,4	0	2
580416	614686,08	5054019,48	687	188,4	0	2
580416	614688,7	5054036,1	690,3	248,6	0	2
580416	614690,78	5054052,58	696,4	511	0	2
580416	614691,3	5054069,5	701,8	1049	0	2
580416	614697,28	5054088,58	703,7	1421	0	2
580416	614704,52	5054104	700,1	1901	0	2
580416	614705,3	5054117,3	697,9	1639	0	2
580416	614706,2	5054132,62	704,1	937,2	0	2
580416	614709,3	5054149,54	706,5	865,5	0	2
580416	614712,92	5054167,54	707,6	834,2	0	2
580416	614716,76	5054186,3	707,2	674,3	0	2
580416	614720,9	5054205,8	707,9	492,9	0	2
580416	614726,06	5054226,14	700,5	256,6	0	2
580416	614731,98	5054247,04	694,5	51,43	0	2
580416	614739,26	5054268,62	680,3	42,29	0	2
580416	614747,18	5054290,4	673,5	22,59	0	2

580416	614754,6	5054312,1	674,9	22,18	0	2
580416	614761,38	5054333,7	666	17,73	0	2
580416	614767,5	5054354,96	666,4	17,65	0	2
580416	614773,02	5054375,72	665,9	17,92	0	2
580416	614778,16	5054396,2	665,1	19,78	0	2
580416	614783,7	5054416,7	670,1	32,8	0	2
580416	614790,26	5054437,1	674,8	45,96	0	2
580416	614797,64	5054457,32	674	37,3	0	2
580416	614806,02	5054477,14	674,2	46,02	0	2
580416	614814,88	5054496,7	676,7	77,32	0	2
580416	614824	5054515,9	679,1	105	0	2
580416	614832,56	5054534,9	679,3	125,2	0	2
580416	614840,02	5054554,36	672,3	146,2	0	2
580416	614846,16	5054574,52	665,1	102,5	0	2
580416	614851,24	5054595,38	657,4	36,52	0	2
580416	614855,4	5054616,8	647,9	27,72	0	2
580416	614859,1	5054638,64	645,5	20,05	0	2
580416	614862,8	5054660,4	655,8	35,79	0	2
580416	614866,76	5054681,36	661,4	34,99	0	2
580416	614871,46	5054700,88	667,2	43,84	0	2
580416	614877,3	5054719,1	673,4	56,67	0	2
580416	614884,38	5054736,34	678,3	58,33	0	2
580416	614892,4	5054753,1	679,3	36,73	0	2
580416	614901	5054769,58	679	29,26	0	2
580416	614909,4	5054786,24	683,2	42,74	0	2
580416	614917,1	5054803	688	65,78	0	2
580416	614923,18	5054818,96	691,2	55,24	0	2
580416	614927,6	5054833,62	694,4	46,07	0	2
580416	614930,72	5054847,32	697,6	45,79	0	2
580416	614933,4	5054860,6	700,1	50,44	0	2
580416	614935,6	5054874	702,8	71,86	0	2
580416	614937,38	5054888,1	706,3	86,25	0	2
580416	614938,9	5054902,6	710,9	111,6	0	2
580416	614939,96	5054916,66	715,6	156,3	0	2
580416	614940,74	5054930,2	719,9	221,2	0	2
580416	614942,1	5054943,1	723,1	297,5	0	2
580416	614944,84	5054955,4	725	452,5	0	2
580416	614949,72	5054967,4	725,8	818,7	0	2
580416	614956,8	5054979,3	727,3	1012	0	2
580416	614966,12	5054991,46	722,9	1362	0	2
580416	614976,7	5055003,6	719,2	1634	0	2
580416	614988,24	5055015,98	721,2	1534	0	2
580416	614999,98	5055027,88	721	1705	0	2
580416	615008,8	5055036,54	717,9	1361	0	2

580409	615053,6	5055227,1	648,2	136,1	0	2
580409	615043,28	5055211,96	652,7	184,3	0	2
580409	615033,22	5055197,5	655,5	157	0	2
580409	615023,62	5055183,2	657,5	136,8	0	2
580409	615014,2	5055168,8	662,2	157,6	0	2
580409	615004	5055154,2	666,7	155,4	0	2
580409	614992,56	5055139,5	670,6	151,3	0	2
580409	614979,8	5055125,26	674,7	175,5	0	2
580409	614965,9	5055111,58	679,2	178,8	0	2
580409	614951,66	5055098,46	683,9	206,5	0	2

	Corna Calcarea Indifferenziata
	Corna Dolomitizzata (fine tabella)
	Fm. di Gardone Val Trompia
	Calcare di Domaro
	Radiolariti del Selcifero Lombardo
	Rosso ad Aptici
	Maiolica

Tabella 9: Tabella estrapolata dal database generale, riportante: linea di volo (Line_N0), Coordinate UTM (UTMX, UTMY), elevazione e valori di resistività caratteristici del primo strato rilevato (Rho_1). Con allegata legenda colori formazionali.

Dalla Tabella 9 si evincono i seguenti dati: la formazione del Gardone Val Trompia mostra un range di resistività da 17,65 a 1982 Ωm; per la Maiolica i valori sono compresi tra 263 e 857 Ωm. Per la formazione del Calcare di Zu il range di valori è incluso tra 72,39 e 7343 Ωm e, infine, per il Corna Dolomitizzata i dati sono compresi tra 136,1 e 206,5 Ωm.

Il Rosso ad Aptici, le Radiolariti del Selcifero Lombardo e il Calcare di Domaro sono stati esclusi per la mancanza di dati certi con cui confrontare i valori acquisiti da questa sezione.

SEZIONE HH’

La sezione geologica oggetto di questa parte di discussione (Fig. 49) è stata tracciata da Ovest a Est per un’estensione planimetrica di circa 2.3km. Si osserva la presenza della Dolomia Principale Indifferenziata nella parte occidentale e della Corna Dolomitizzata nella parte orientale separate dalla presenza del sovrascorrimento principale immergente verso ovest. In entrambi i casi la litologia osservata è dolomia.

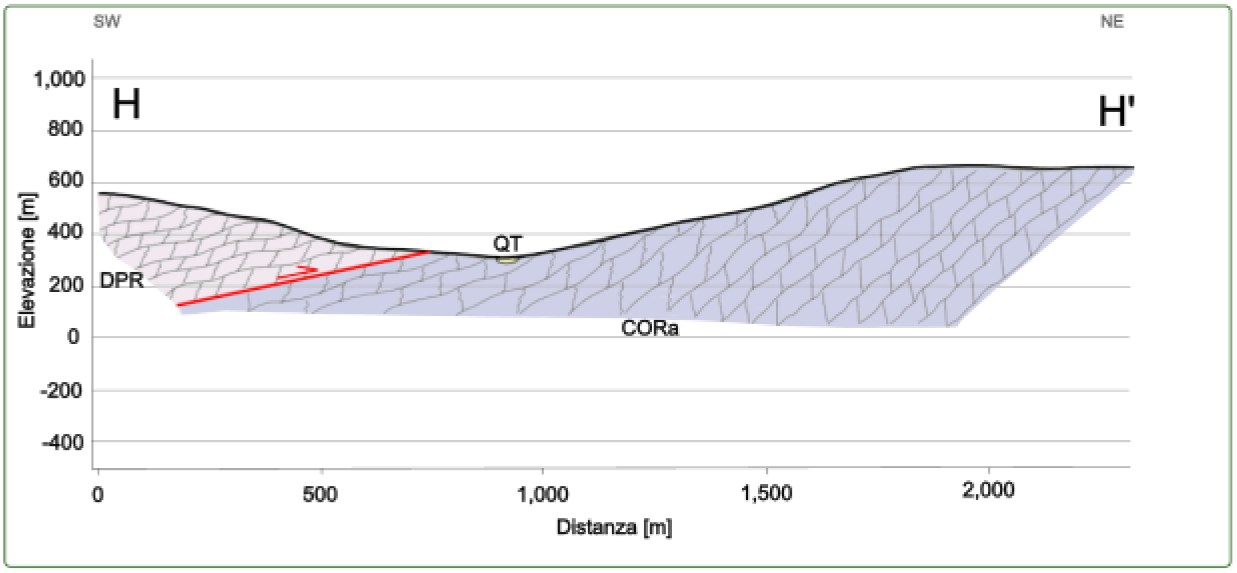


Figura 49: Sezione HH’ tracciata con orientazione Ovest -Est. Sono rappresentate le seguenti formazioni: Dolomia Principale Indifferenziata (DPR) e Corna Dolomitizzata (CORa)

Dalla sezione AEM si può osservare che in superficie, i valori di resistività sono molto alti agli estremi della sezione (colori viola e rosso), mentre tendono a diminuire avvicinandoci al punto di elevazione più basso (colori giallo e verde).

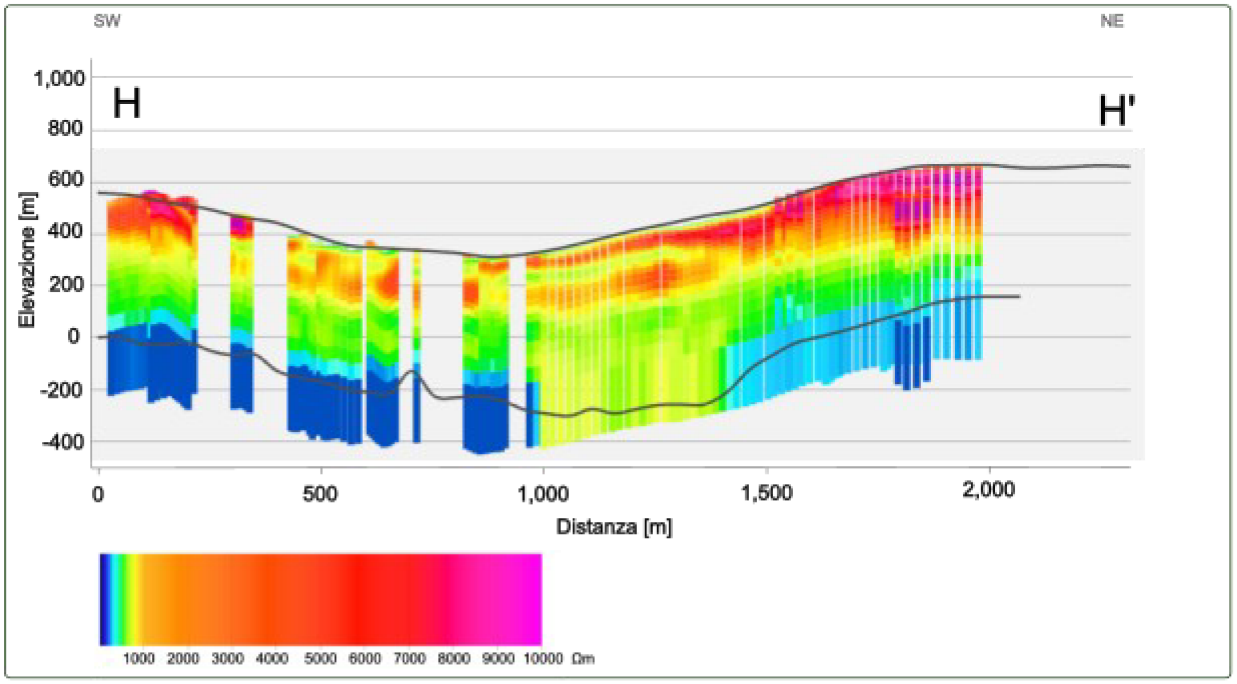


Figura 50: Sezione HH' estrapolata dal portale GeoCloud, rappresentate i dati AEM forniti da A2A e relativa scala di colore

Sovrapponendo le due sezioni si osserva che in corrispondenza del sovrascorrimento principale i dati presentano delle lacune e quindi possiamo definirli abbastanza incerti ma si può notare un abbassamento nei valori della resistività, questo probabilmente dovuto alla presenza di fratture contenenti acqua. Si osserva infatti che allontanandosi dalla zona soggetta a tettonica, i valori di resistività della dolomia tornano ad essere gradualmente sempre più alti. Dai dati che si osservano nella Tabella 10, si evince un forte cambiamento del valore della resisitività al passaggio tra le due formazioni: si passa da un valore di 1361 Ωm per la Dolomia Principale a 107.4 Ωm per la Corna Dolomitizzata.

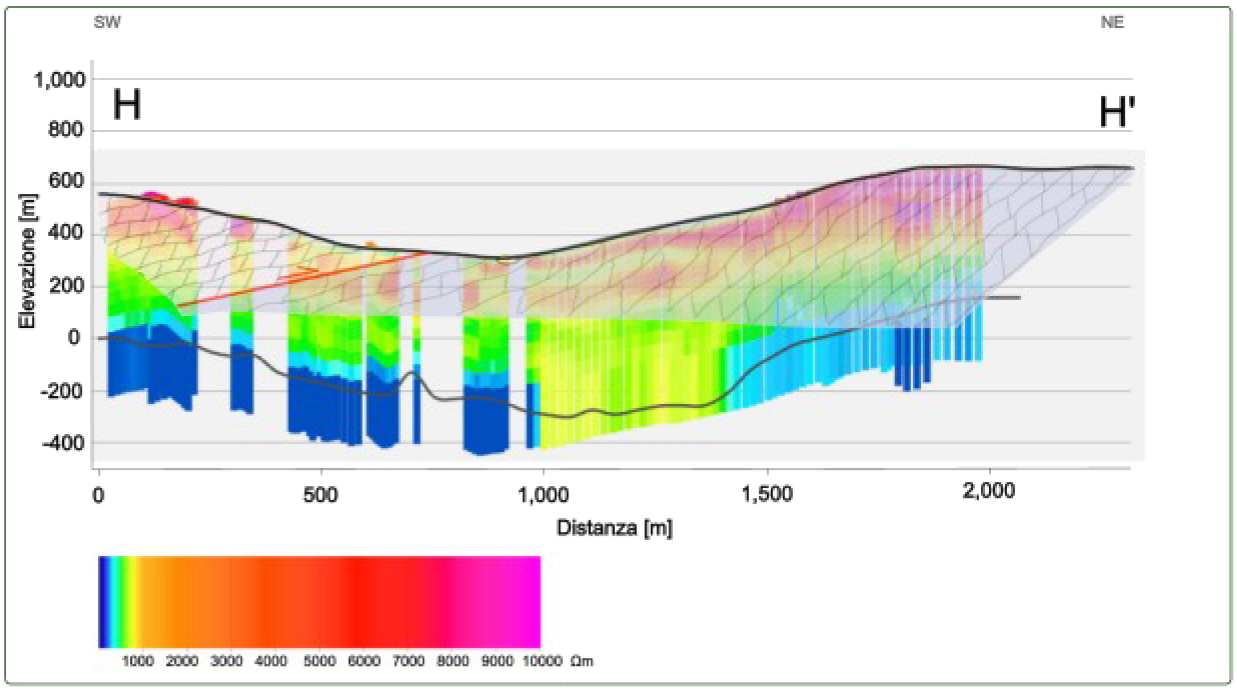


Figura 51: Sovrapposizione della sezione geologica e della sezione AEM con relativa scala cromatica

Di seguito è riportata la tabella estrapolata dal database iniziale, dove sono riportati i valori di resistività caratteristici del primo strato rilevato (spessore 2m) lungo la sezione HH' e suddividi nei colori appartenenti ad ogni formazione come riportato nella Fig. 14 di questa tesi.

LINE_NO	UTMX	UTMY	ELEVATION	RHO_1	DEP_TOP_1	DEP_BOT_1
512101	612934,24	5054107,06	547	2112	0	2
512201	613009,08	5054149,86	525,8	2853	0	2
580389	613415,46	5054399,46	335,5	297,5	0	2
580390	613316,58	5054347,78	357,2	107,5	0	2
580390	613339,26	5054332,74	360,2	250,4	0	2
580391	613258,16	5054304,14	391,7	708,7	0	2
580392	613145,7	5054237,9	479,2	266,9	0	2
580393	613015,8	5054153,02	524,4	1212	0	2
580393	613002,54	5054163,24	534,5	1993	0	2
580409	614648,5	5053913,38	660,4	943,6	0	2
580409	614650,2	5053890,48	652,8	1982	0	2
580416	614664,4	5053963,8	673,5	416,8	0	2
580416	614670,42	5053973,62	676,2	173,6	0	2
580416	614676,3	5053987,4	679	144,4	0	2
580416	614681,92	5054003,52	682,3	136,4	0	2
580416	614686,08	5054019,48	687	188,4	0	2
580416	614688,7	5054036,1	690,3	248,6	0	2
580416	614690,78	5054052,58	696,4	511	0	2
580416	614691,3	5054069,5	701,8	1049	0	2
580416	614697,28	5054088,58	703,7	1421	0	2
580416	614704,52	5054104	700,1	1901	0	2
580416	614705,3	5054117,3	697,9	1639	0	2
580416	614706,2	5054132,62	704,1	937,2	0	2
580416	614709,3	5054149,54	706,5	865,5	0	2
580416	614712,92	5054167,54	707,6	834,2	0	2
580416	614716,76	5054186,3	707,2	674,3	0	2
580416	614720,9	5054205,8	707,9	492,9	0	2
580416	614726,06	5054226,14	700,5	256,6	0	2
580416	614731,98	5054247,04	694,5	51,43	0	2
580416	614739,26	5054268,62	680,3	42,29	0	2
580416	614747,18	5054290,4	673,5	22,59	0	2
580416	614754,6	5054312,1	674,9	22,18	0	2
580416	614761,38	5054333,7	666	17,73	0	2
580416	614767,5	5054354,96	666,4	17,65	0	2
580416	614773,02	5054375,72	665,9	17,92	0	2
580416	614778,16	5054396,2	665,1	19,78	0	2
580416	614783,7	5054416,7	670,1	32,8	0	2
580416	614790,26	5054437,1	674,8	45,96	0	2
580416	614797,64	5054457,32	674	37,3	0	2
580416	614806,02	5054477,14	674,2	46,02	0	2
580416	614814,88	5054496,7	676,7	77,32	0	2
580416	614824	5054515,9	679,1	105	0	2
580416	614832,56	5054534,9	679,3	125,2	0	2
580416	614840,02	5054554,36	672,3	146,2	0	2
580416	614846,16	5054574,52	665,1	102,5	0	2
580416	614851,24	5054595,38	657,4	36,52	0	2
580416	614855,4	5054616,8	647,9	27,72	0	2

580416	614859,1	5054638,64	645,5	20,05	0	2
580416	614862,8	5054660,4	655,8	35,79	0	2
580416	614866,76	5054681,36	661,4	34,99	0	2
580416	614871,46	5054700,88	667,2	43,84	0	2
580416	614877,3	5054719,1	673,4	56,67	0	2
580416	614884,38	5054736,34	678,3	58,33	0	2
580416	614892,4	5054753,1	679,3	36,73	0	2
580416	614901	5054769,58	679	29,26	0	2
580416	614909,4	5054786,24	683,2	42,74	0	2
580416	614917,1	5054803	688	65,78	0	2
580416	614923,18	5054818,96	691,2	55,24	0	2
580416	614927,6	5054833,62	694,4	46,07	0	2
580416	614930,72	5054847,32	697,6	45,79	0	2
580416	614933,4	5054860,6	700,1	50,44	0	2
580416	614935,6	5054874	702,8	71,86	0	2
580416	614937,38	5054888,1	706,3	86,25	0	2
580416	614938,9	5054902,6	710,9	111,6	0	2
580416	614939,96	5054916,66	715,6	156,3	0	2
580416	614940,74	5054930,2	719,9	221,2	0	2
580416	614942,1	5054943,1	723,1	297,5	0	2
580416	614944,84	5054955,4	725	452,5	0	2
580416	614949,72	5054967,4	725,8	818,7	0	2
580416	614956,8	5054979,3	727,3	1012	0	2
580416	614966,12	5054991,46	722,9	1362	0	2
580416	614976,7	5055003,6	719,2	1634	0	2
580416	614988,24	5055015,98	721,2	1534	0	2
580416	614999,98	5055027,88	721	1705	0	2
580416	615008,8	5055036,54	717,9	1361	0	2
580402	613612,36	5054519,1	302,4	107,4	0	2
580408	613740,8	5054570,4	322	192,6	0	2
580408	613757,76	5054580,6	329,9	375,5	0	2
580408	613774,9	5054589,7	337,3	328	0	2
580408	613791,94	5054598,38	345,8	275,8	0	2
580408	613808,9	5054607,16	353,5	602,3	0	2
580408	613825,46	5054616,5	363,6	622,9	0	2
580408	613841,66	5054626,48	374,2	572,1	0	2
580408	613857,4	5054637,3	381,3	487,9	0	2
580408	613872,44	5054648,86	387,2	570,8	0	2
580408	613886,74	5054660,7	395,7	577,8	0	2
580408	613900,16	5054672,58	402,2	513,8	0	2
580408	613912,82	5054684,18	405,7	484,9	0	2
580408	613925,2	5054695,2	410,4	464	0	2
580408	613938	5054705,68	415,3	461,6	0	2
580408	613951,46	5054715,5	422,8	281,9	0	2
580408	613965,7	5054724,52	424,3	192,7	0	2
580408	613980,32	5054732,94	424,3	160,3	0	2
580408	613994,9	5054741,2	426,4	188,3	0	2
580408	614008,84	5054749,5	434,5	215,2	0	2
580408	614022,02	5054758,24	441,3	205,8	0	2
580408	614034,76	5054767,5	445,9	257,8	0	2
580408	614047,54	5054777,26	451,8	192,3	0	2
580408	614060,5	5054787,1	458,4	272,3	0	2
580408	614073,64	5054796,84	466	184,7	0	2

580408	614087,26	5054806,5	470,9	257,7	0	2
580408	614101,08	5054816,34	477,6	252,7	0	2
580408	614115,14	5054826,42	484,1	239,2	0	2
580408	614129,1	5054836,8	492,8	239,2	0	2
580408	614142,84	5054846,98	501,2	357	0	2
580408	614156,02	5054856,8	512,6	291,2	0	2
580408	614168,74	5054866,06	522,8	318,6	0	2
580408	614181,38	5054874,96	532,1	714,9	0	2
580408	614194,3	5054883,4	541,7	763,9	0	2
580408	614208,02	5054891,38	552,5	1473	0	2
580408	614222,48	5054899,08	563,6	1625	0	2
580408	614237,58	5054906,72	573,8	1848	0	2
580408	614253	5054914,42	582,7	2847	0	2
580408	614268,4	5054922,2	591,5	2605	0	2
580408	614283,66	5054929,88	600,3	3308	0	2
580408	614299,1	5054937,48	607,3	3969	0	2
580408	614315,08	5054944,92	613	5416	0	2
580408	614332,02	5054952,52	620,8	6334	0	2
580408	614349,6	5054960,4	629,6	5588	0	2
580408	614367,46	5054968,64	636,6	5135	0	2
580408	614385,24	5054977,28	643,5	5246	0	2
580408	614402,86	5054986,12	646,6	5284	0	2
580408	614420,54	5054994,86	646,7	5209	0	2
580408	614438,9	5055003,5	649,1	2930	0	2
580408	614458,08	5055011,76	649,4	2612	0	2
580408	614478,1	5055019,84	658,4	2081	0	2
580408	614498,64	5055028,12	667,5	1437	0	2
580408	614519,74	5055037,26	668	1182	0	2
580408	614541	5055047,7	665,3	530,9	0	2
580408	614561,84	5055059,16	664,4	456,1	0	2
580408	614581,96	5055071,1	665,1	577,5	0	2
580413	614138,28	5054933,42	542,6	2405	0	2
	Dolomia Principale Indifferenziata					
	Corna Dolomitizzata					

Tabella 10: Tabella estrapolata dal database generale, riportante: linea di volo (Line_N0), Coordinate UTM (UTMX, UTMY), elevazione e valori di resistività caratteristici del primo strato rilevato (Rho_1). Con allegata legenda colori formazionali.

Dalla tabella 10 risulta che la Dolomia Principale ha un range di valori di resistività compreso tra 17,65 e 2853 Ωm mentre, per la Corna Dolomitizzata, i dati sono inclusi tra 107,4 (in prossimità del sovrascorrimento principale) e 6334 Ωm.

6.1 TABELLA RISSUNTIVA E DATI A CONFRONTO

Di seguito vengono riportati i dati di resistività acquisiti dal capitolo "Risultati" (Tabella 11) dove le tracce delle sezioni seguivano la presenza di affioramenti cartografati e di passate AEM.

Ogni formazione è caratterizzata con il colore con cui viene rappresentata sulla carta geologica e riportato in legenda nella Fig. 14.

Sezione	Formazione	Range di valori di Resistività
AA'	Formazione di Gardone Val Trompia	132 - 1637 Ωm
BB'	Corna Dolomitizzata	239.2 - 6334 Ωm
CC'	Maiolica	23.53 - 194 Ωm
DD'	Corna Calcarea Indifferenziata	765.4 - 10540 Ωm
EE'	Maiolica	49.49 - 1179 Ωm
	Corna Calcarea Indifferenziata	88.57 - 127.7 Ωm

Tabella 11: Range di resistività riscontrati per le differenti formazioni presenti nell'area di studi lungo le sezioni AA', BB', CC', DD' e EE'

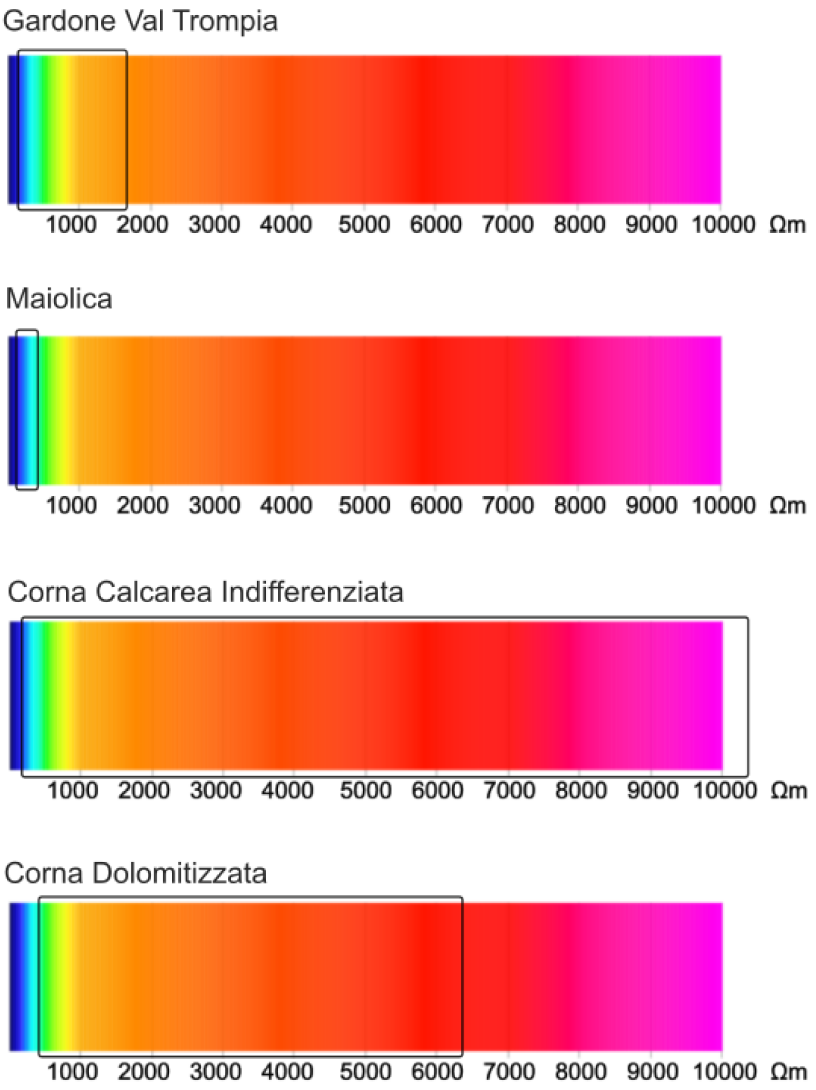


Figura 52: Per ogni formazione discussa nella Tabella 11 si è individuato quali colori si riscontrano nelle sezioni AEM.

Nella Tabella 12 vengono riassunti e suddivisi i dati acquisiti dalle sezioni FF', GG' e HH', tracciate sia in corrispondenza degli affioramenti cartografati che in zone dove la carta geologica è stata realizzata per interpretazione dei dati acquisiti durante il rilevamento seguendo il più possibile le linee AEM. Anche in questo caso ogni formazione è stata caratterizzata con il colore con il quale viene rappresentata sulla carta geologica e riportato in legenda nella Fig. 14.

Sezione	Formazione	Range di valori di Resistività
FF'	Formazione di Gardone Val Trompia	442.9 – 566.4 Ωm
	Corna Calcarea Indifferenziata	179.1 - 207 Ωm
	Maiolica	29.26 – 195.5 Ωm
GG'	Formazione di Gardone Val Trompia	17.65 - 1982 Ωm
	Maiolica	263 - 857 Ωm
	Calcare di Zu Indifferenziato	72.39 - 7343 Ωm
	Corna Dolomitizzata	136.1 – 206.5 Ωm
HH'	Dolomia Principale Indifferenziata	17.65 – 2853 Ωm
	Corna Dolomitizzata	107.4 – 6334 Ωm

Tabella 12: Range di valori di resistività riscontrati per le differenti formazioni lungo le sezioni FF', GG' e HH'

Formazione di Gardone Val Trompia: i valori osservati nella Tabella 12 per la sezione FF' rientrano nel range stabilito nella Tabella 11 con la corrispondenza tra dato AEM e affioramento. Per quanto riguarda la sezione GG', invece si nota un aumento del valore massimo di circa 345 Ωm. Si può quindi stabilire un range approssimativo tra 132 Ωm e 1982 Ωm.

Formazione della Corna Calcarea Indifferenziata: i dati che osserviamo nella Tabella 12 rispetto a questa formazione si avvicinano al range di valori che abbiamo per la Corna Calcare in prossimità del sovrascorrimento principale che sono riportati nell'ultima riga della Tabella 11. È da notare che il range per la Corna che non è stata interessata dalla tettonica è molto ampio e va a saturare tutta la scala di colore.

Formazione della Corna Dolomitizzata: anche in questo caso i valori campione coprono una grossa fetta della scala di colori; confrontando i dati si osserva che nella sezione GG' i valori di resistività sono molto bassi mentre per la sezione HH' il range torna ad avere dimensioni maggiori pressoché coincidenti con i dati riportati nella Tabella 11.

Formazione della Maiolica: nella Tabella 11 si osserva che i valori di resistività della Maiolica in prossimità del sovrascorrimento aumentano fino ad arrivare a 1179 Ωm, mentre in altre zone si registrano valori più bassi che occupano un intervallo da 23.53 - 194 Ωm. Confrontando questi valori con quelli della sezione FF' presenti in Tabella 12 possiamo riscontrare una corrispondenza con la Formazione della Maiolica lontana dal sovrascorrimento mentre nel caso della sezione GG' il range aumenta e possiamo quindi ipotizzare di essere nelle vicinanze del sovrascorrimento.

Per quanto riguarda la formazione del Calcare di Zuu (Tabella 12) osserviamo che il range di valori di resistività è molto ampio e va a saturare quasi completamente la scala di colori; non avendo informazioni certe derivanti dal confronto tra affioramento e dato AEM, non possiamo fare ulteriori ipotesi. Anche per quanto riguarda la Dolomia Principale non abbiamo corrispondenza dei dati, possiamo osservare però il range ottenuto dalla Tabella 12 e stabilire che i valori di resistività di questa formazione occupano all'incirca la metà della scala di colori usati per rappresentare i dati elettromagnetici in questo elaborato di tesi.

7. CONCLUSIONI

Questa tesi prevedeva il rilevamento geologico della zona tra Villanuova Sul Clisi e Clibbio (BS), area in cui sono presenti il Monte Selvapiana e Monte Magno. Quest'area ricade all'interno del Foglio Salò (100), del progetto CARG, che è ubicato nella provincia di Brescia e si estende lungo la costa occidentale del Lago di Garda fino alle sponde del Lago D'Idro e la cui realizzazione è in corso dal settembre 2026.

A seguito dell'attività di rilevamento e della digitalizzazione dei dati è stata prodotta la Carta Geologica (Allegato 1) in scala 1:10.000 corredata da 3 sezioni.

Nell'area di studio affiorano formazioni mesozoiche, composte prevalentemente da calcari, calcari selciosi, calcari micritici, dolomie e marne, deformate da pieghe e faglie con orientazioni tipiche del contesto del sudalpino. Sono spesso presenti importanti coperture e depositi fluvioglaciali che rendono a tratti difficoltoso il rilevamento del substrato roccioso.

Per la zona oggetto di studio era già presente della cartografia geologica composta dalla "Carta geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello" realizzata da Boni e Cassinis nel 1971 e la "Carta geologica delle Prealpi Bresciane tra Val Vrenda e il Monte Pizzocolo" redatta da Baroni, Bissolati e Vercesi nel 1995; entrambe sono state utilizzate come base di conoscenze per il rilevamento e, a seguito di rilievi e controlli, è stata prodotta una carta originale denominata "Carta geologica di Monte Magno e Monte Selvapiana nella zona tra Villanuova sul Clisi e Clibbio", che mantiene circa le stesse strutture e limiti delle precedenti rappresentazioni cartografiche pur variando i nomi formazionali per adeguarli alla nuova legenda stabilita dal progetto CARG.

Per quanto riguarda le strutture tettoniche è stata confermata la presenza di un grosso sovrascorrimento principale, mentre, con la nuova cartografia alcuni contatti precedentemente classificati come tettonici sono stati cartografati come contatti stratigrafici.

La collaborazione con A2A ha poi permesso la consultazione di dati elettromagnetici (AEM) e delle relative tabelle di informazioni riguardanti la resistività del substrato accompagnate dalla possibilità di tracciare sezioni dove i dati di resistività sono restituiti mediante una scala di colori discretizzata.

La seconda parte di questa tesi è composta dal confronto tra sezioni geologiche e sezioni AEM su cui sono rappresentati i valori di resistività. Inizialmente sono state individuate alcune zone dove fosse certa ed evidente la presenza in affioramento di una determinata formazione o litologia e dove fossero presenti dati AEM di buona qualità. In questo modo si è potuto attribuire ad una certa formazione un range di valori di resistività caratteristico.

Questo si è potuto ottenere per le seguenti formazioni: Corna Calcare Indifferenziata, Corna Dolomitizzata, Fm. di Gardone Val Trompia e Maiolica, inoltre, lo stesso approccio è stato utilizzato lungo una sezione dove è presente il sovrascorrimento che mette a contatto le formazioni della Corna Calcarea Indifferenziata e della Maiolica.

Per ogni sezione tracciata è stata riportata la scala dei colori discretizzata in base ai valori di resistività ed una tabella riferita al primo strato, che utilizzando l'inversione smooth ha uno spessore di circa 2m, di cui sono state riportate l'elevazione dei punti del profilo topografico e il rispettivo valore di resistività.

Si è poi passati all'elaborazione di tre sezioni tracciate con diversa orientazione lungo tutta l'area oggetto di studio e passanti sia in aree dove era affiorante una formazione geologica sia in zone dove la formazione presente era interpretata. Le sezioni geologiche sono state tracciate cercando di seguire la distribuzione del dato AEM.

Dall'analisi dei dati provenienti dalle prime sezioni (monoformazionali) si sono ottenuti dei range di valori di resistività considerati caratteristici delle formazioni .Per la formazione della Corna Calcarea Indifferenziata i valori entrano compresi tra 88.57 Ωm (in prossimità del sovrascorrimento) e 10540 Ωm, per la formazione della Corna Dolomitizzata da 239.2 a 6334 Ωm, per la Formazione di Gardone Val Trompia i dati oscillavano tra 132 Ωm e 1637 Ωm ed infine per la Maiolica i valori di resistività erano compresi tra 23.53 Ωm e 195.5 Ωm (con valori maggiori in corrispondenza del sovrascorrimento).

Confrontando questi dati con quelli delle successive tre sezioni si sono potuti pressoché confermare i valori rinvenuti; infatti, i valori minimi e massimi discostavano, solo in alcuni casi, di qualche centinaio di ohm per metro.

In conclusione, si ritiene che sia possibile individuare dei range di valori di resistività per le differenti formazioni, tenendo però conto anche delle condizioni in cui la roccia si presenta. Ci sono diversi fattori che possono influenzare la resistività del materiale litologico, come ad esempio la granulometria, la porosità, il grado di fratturazione e di permeabilità della roccia e anche il grado di saturazione. In questa tesi, questi fattori sperimentali non sono stati esaminati sperimentalmente, attività che richiederebbe un lavoro di tesi dedicato, ma ci si è limitati a valutare la corrispondenza tra il valore tipico di una formazione e quello presente in altri settori dell'area di studio.

Un ulteriore fattore di complicazione che è da tenere in considerazione, è la sovrapposizione dei diversi range di valori di resistività. Trattandosi di formazioni calcareo-dolomitico-marnose, si è spesso osservata una notevole sovrapposizione dei range di valori delle diverse formazioni. Per questo motivo, il valore di resistività, pur essendo un buon indicatore della natura della roccia, non consente di associare univocamente una certa formazione litologica ad esso.

Per quanto riguarda il riconoscimento delle strutture tettoniche, anche in questo caso si è osservato come le condizioni locali siano il fattore che più influenza il valore di resistività. Con la scala grafica adottata è spesso emerso che le litologie messe a contatto da un sovrascorrimento avevano range di valori con forte sovrapposizione e questo non consentiva di evidenziare graficamente il lineamento tettonico. Sono tuttavia stati osservati alcuni trend caratteristici ovvero un aumento di resistività nella formazione della Maiolica in prossimità del sovrascorrimento principale ed una sua diminuzione nel caso della formazione della Corna.

8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Alberti & Vailati, 1981. La Speleologia della regione del Monte Selvapiana e zone marginali. I. Il monte Selvapiana (Lombardia, Brescia) 18, 191–128.

Angrand, P., Mouthereau, F., 2021. Evolution of the Alpine orogenic belts in the Western Mediterranean region as resolved by the kinematics of the Europe-Africa diffuse plate boundary. BSGF - Earth Sci. Bull. 192, 42. https://doi.org/10.1051/bsgf/2021031

Bargossi, G.M., Berra, F., Borsato, A., Brack, P., Corbari, D., Credali, M., Ferliga, C., Gasparotto, G., Marcato, E., Marocchi, M., Siletto, G.B., Trombetta, G.L., 2016. Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 079 Bagolino, Servizio Geologico d'Italia - ISPRA. https://doi.org/10.15161/OAR.IT/211503

Baroni & Vercesi, 1995. Note illustrative della Carta Geologica delle Prealpi Bresciane tra la Val Vrenda e il M. Pizzocolo 38, 65–93.

Bertotti, G., Picotti, V., Bernoulli, D., Castellarin, A., 1993. From rifting to drifting: tectonic evolution of the South-Alpine upper crust from the Triassic to the Early Cretaceous. Sedimentary Geology 86, 53–76. https://doi.org/10.1016/0037-0738(93)90133-P

Cassinis, G., Corbari, D., Falletti, P., Perotti, C.R., 2011. Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 099 Iseo, Servizio Geologico d'Italia - ISPRA. https://doi.org/10.15161/OAR.IT/211523

Castellarin, Picotti, Cantelli, Claps, Trombetta, Luigi; Selli, Luigi; Carton, Alberto; Borsato, Andrea; Daminato, Franco; Nard Santuliana Veronese Bollettinari, 2005. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 080 "Riva del Garda." Roma.

Coward, M., Dietrich, D., 1989. Alpine tectonics — an overview. SP 45, 1–29. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.045.01.01

Dal Piaz, Bistacchi, Massironi, 2003. Geological outline of the Alps 26, 175–180.

Gasperini, L., Marzocchi, A., Mazza, S., Miele, R., Meli, M., Najjar, H., Michetti, A.M., Polonia, A., 2020. Morphotectonics and late Quaternary seismic stratigraphy of Lake Garda (Northern Italy). Geomorphology 371, 107427. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107427

ISPRA, 2025. CARG GATE. https://progetto-carg.isprambiente.it/.

ISPRA, 2018. Il Progetto CARG – Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, 2022. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Aggiornamento ed integrazioni delle Linee Guida del Progetto CARG (Versione 1.0/2022), I Quaderni, Serie III del SGI. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma.

Menghini, A., Viezzoli, A., 2013. Il metodo AEM, un nuovo strumento per l'idrogeologia. AS-ITJGW 2. https://doi.org/10.7343/as-033-13-0058

Minsley, B.J., Foks, N.L., Bedrosian, P.A., 2020. Quantifying model structural uncertainty using airborne electromagnetic data. Geophysical Journal International 224, 590–607. https://doi.org/10.1093/gji/ggaa393

Norini, Schirolli, P., Zerboni, A., De Franco, R., Aghib, F.S., Muttoni, G., Caielli, G., Barilaro, F., Di Capua, A., Rusconi, D., Tantardini, D., Groppelli, G., Piccin, A., Baio, M., Bertuletti, P., Bissolati, G., Bonomo, S., Cavinato, G.P., Crippa, G., Erba, E., Falzoni, F., Felletti, F., Gaudiosi, I., Gencarelli, C., Gisolo, M., Hammouti, M., Mazzini, I., Miniati, F., Pelizzari, M., Perini, S., Pezzotta, A., Pini, R.,Sterlacchini, S., Vezzoli, G., Violanti, D., Voltolina, D., Zazzeri, M., 2025. Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 121 Brescia. https://doi.org/10.15161/OAR.IT/212523 Schirolli, 2001. Geological setting of the Brescian Alps, with particular reference to the Permian outcrops: an overview 25, 65–72.

Schirolli, Brack, 2011. Il "chiodo d'oro" di Bagolino (Italia settentrionale, Provincia di Brescia). Concetti stratigrafici e inquadramento geologico del sito italiano di riferimento globale (GSSP, Global Boundary Stratotype Section and Point) per la base del piano Ladinico, Monografie di Natura Bresciana. Museo Civico di Scienze Naturali di Brescia, Brescia.

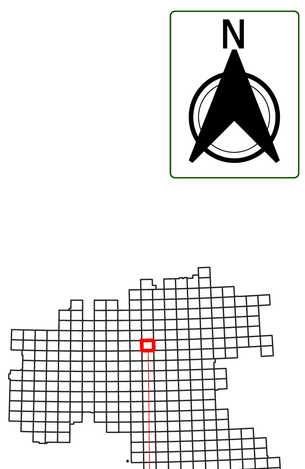
Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kissling, E., Schuster, R., 2004. Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. Eclogae geol. Helv. 97, 93–117. https://doi.org/10.1007/s00015-004-1113-x
Scrocca, 2003. Contraints for an interpretation of the Italian geodynamics: a review LXII, 15–46.

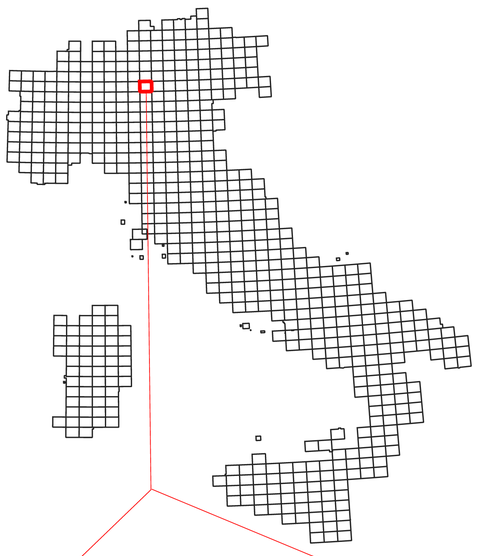
Spagnoli, L., 2020. Influenza dei diversi gradi di semplificazione di un modello geofisico sui risultati di una modellizzazione idrogeologica numerica: un caso studio in British Columbia (Canada) (Tesi di laurea magistrale). Università di Pisa, Pisa.

Stampfli, G.M., Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. Earth and Planetary Science Letters 196, 17–33. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X

Viezzoli, A., Menghini, A., 2014. A new tool available for hydrogeologists: the Airborne EM method. AS-ITJGW 3. https://doi.org/10.7343/as-094-14-0121







Breno 078	Bagolino 079	Riva del Garda 080
Iseo 099	Salò 100	Malcesine 101
Brescia 121	Desenzano del Garda 122	Verona ovest 123

LEGENDA

Unità geologiche cartografate

- **Depositi Quaternari**: depositi fluviali e glaciali, non distinti per età e composizione
- **Scaglia Rossa**: marne, marne calcaree e calcari marnosi
  Turoniano – Campaniano
- **Maiolica**: calcilutiti e calcari micritici
  Titoniano inferiore - Aptiano inferiore
- **Rosso ad Aptici**: calcari, calcari marnosi e marne silicee
  Kimmeridgiano superiore – Titoniano
- **Radiolariti del Selcifero Lombardo**: selci policrome e diaspri
  Bathoniano inferiore - Kimmeridgiano inferiore
- **Fm. dei Calcari Medoloidi**:calcilutiti, calcari marnosi e subordinate marne
  Aaleniano - Bathoniano inferiore (?)
- **Fm. di Villa Carcina**: calcareniti e calciruditi selcifere, calcari marnosi e marne
  Toarciano
- **Calcare di Domaro**: calcilutiti, calcari marnosi e subordinate marne
  Pliensbachiano inferiore - Toarciano inferiore
- **Fm. di Gardone Val Trompia, brecce basali**: brecce e megabrecce poligeniche
  Hettangiano superiore - Sinemuriano inferiore
- **Fm. di Gardone Val Trompia**: calcari selciferi, calcari marnosi e marne
  Hettangiano – Pliensbachiano inferiore
- **Corna Dolomitizzata**: dolomie e dolomie calcaree
  Hettangiano-Sinemuriano inferiore
- **Corna Calcarea Indifferenziata**: calcari e dolomie
  Hettangiano-Sinemuriano inferiore
- **Calcare di Zu indifferenziato**: calcari, calcari marnosi e subordinate marne
  Retico
- **Dolomia Principale indifferenziata**: dolomie e dolomie calcaree, calcari dolomitici
  Carnico superiore-Norico

Elementi puntuali

- stratificazione diritta
- stratificazione rovesciata

Contatti stratigrafici o tettonici

- contatto stratigrafico o litologico
- sovrascorrimento principale
- faglia incerta o sepolta
- traccia di sezione geologica

