



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Corso di Laurea Magistrale in Geoscienze per lo Sviluppo Sostenibile

MODELLO GEOLOGICO DEL PRIMO SOTTOSUOLO DELL' AREA DI PIANURA
ALL'INTERNO DEL FOGLIO CARG PAVIA 160

Relatore:

Prof. Di Giulio Andrea

Correlatore:

Dr. Pezzoli Samuele

Tesi di:

Niccolò Mattiolo

Anno accademico 2025/2026

P a g . 1 | 118

Indice

| | |
|--|-----|
| Indice..... | 2 |
| RIASSUNTO | 4 |
| ABSTRACT..... | 5 |
| 1 - SCOPO DELLA TESI..... | 6 |
| 2 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO..... | 10 |
| 2.1 – Inquadramento Stratigrafico e Strutturale | 10 |
| 2.2 – Inquadramento idrostratigrafico | 21 |
| 2.3 – Origine dei sedimenti Fluviali del primo sottosuolo Padano | 34 |
| 3 – MATERIALI E METODI..... | 46 |
| 3.1 – Nuovo sondaggio a carotaggio continuo eseguito nell’ambito del progetto CARG per la realizzazione del foglio n. 160 “Pavia” presso il Comune di Broni (PV)..... | 46 |
| 3.2 - Metodi di analisi della tessitura e della composizione dei campioni studiati | 53 |
| 3.3 - Analisi tessiturale..... | 54 |
| 3.3.1 - Metodo | 54 |
| 3.3.2 - Elaborazione dei dati..... | 56 |
| 3.4 – Analisi petrografica | 58 |
| 3.4.1 - Metodo | 58 |
| 4 – RISULTATI OTTENUTI DALLE ANALISI | 60 |
| 4.1 - Ricostruzione stratigrafica di dettaglio | 60 |
| 4.2 - Analisi granulometrica dei campioni del sondaggio CARG Pavia 160..... | 64 |
| 4.2.1 - Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi granulometriche..... | 64 |
| 4.2.2 - Parametri tessiturali chiave | 81 |
| 4.3 - Analisi petrografica..... | 82 |
| 4.3.1 - Campioni di sabbia nuovo sondaggio CARG Pavia 160..... | 82 |
| 4.3.2 - Campioni di ghiaia nuovo sondaggio CARG Pavia 160 | 96 |
| 4.3.3 - Campioni di sabbia attuali | 106 |
| 4.3.4 – Tabella riassuntiva e confronto dei risultati | 106 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.5 – Confronto dell’approccio analitico semi-quantitativo e quantitativo..... | 109 |
| 5- CONCLUSIONI | 111 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 113 |

RIASSUNTO

La presente tesi si inserisce nell'ambito del progetto CARG e ha l'obiettivo di dare un contributo alla definizione del modello geologico del primo sottosuolo dell'area di pianura compresa nel Foglio CARG Pavia 160. Il lavoro contribuisce alla realizzazione del modello geologico tridimensionale del sottosuolo, attraverso l'interpretazione di dati stratigrafici, analisi granulometriche e analisi petrografiche.

L'attività si è basata principalmente sull'analisi di un nuovo sondaggio a carotaggio continuo, eseguito nel Comune di Broni (PV) spinto fino ad una profondità di 150 metri, con particolare attenzione all'intervallo stratigrafico compreso tra 5 e 20 metri dal piano campagna. Proprio questo intervallo è stato interessato dal prelievo di campioni di sedimenti sabbioso-ghiaiosi rappresentativi poi sottoposti ad analisi granulometriche e petrografiche al fine di identificare il fiume che li depositò. Le analisi granulometriche hanno evidenziato una generale omogeneità dei sedimenti, con grano di cernita piuttosto variabile da ben selezionato a scarsamente selezionato. I parametri tessiturali chiave mostrano una tendenza all'aumento del diametro medio della granulometria e alla diminuzione della cernita con la profondità, indicando variazioni nelle condizioni deposizionali.

Tuttavia, l'analisi granulometrica si è dimostrata non sufficiente per determinare la provenienza dei sedimenti intercettati dal sondaggio. L'analisi petrografica, sebbene di tipo semi-quantitativo, ha al contrario fornito indicazioni più significative, evidenziando una composizione caratterizzata da abbondante Quarzo e Frammenti litici prevalentemente metamorfici, con la quasi assenza di Feldspati.

Il confronto con campioni di sabbie attuali dei principali corsi d'acqua che solcano l'area in esame (Po, Ticino e affluenti appenninici) ha permesso di attribuire con buona affidabilità i sedimenti intercettati durante il sondaggio CARG Pavia 160 al sistema fluviale del fiume Po, escludendo contributi significativi degli altri bacini.

Il lavoro evidenzia l'importanza di un approccio integrato nello studio dei sedimenti, in cui l'analisi petrografica rappresenta lo strumento principale per la determinazione della provenienza, mentre l'analisi granulometrica assume un ruolo complementare per l'interpretazione dei processi deposizionali più legata all'evoluzione nello spazio e nel tempo dell'energia del processo sedimentario. I risultati ottenuti costituiscono un contributo significativo alla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo del Foglio CARG Pavia 160.

ABSTRACT

This thesis is part of the CARG project and aims to define the geological model of the shallow subsurface in the plain area covered by the CARG Pavia Sheet 160. The work contributes to the development of a three-dimensional geological model of the subsurface through the interpretation of stratigraphic data, grain-size analyses, and petrographic analyses.

The study was mainly based on the analysis of a new continuous core drilling, carried out in the municipality of Broni (PV) and reaching a depth of 150 meters, with particular attention to the stratigraphic interval between 5 and 20 meters below ground level. This interval was specifically targeted for the collection of representative samples, which were subsequently subjected to grain-size and petrographic analyses.

From a stratigraphic perspective, the analyzed deposits are predominantly composed of sandy-gravel sediments associated with fluvial environments. Grain-size analyses revealed a general homogeneity of the sediments, with sorting ranging from well sorted to poorly sorted. Key textural parameters show a trend of increasing mean grain size and decreasing sorting with depth, indicating variations in depositional conditions.

However, grain-size analysis alone proved insufficient to determine the provenance of the sediments intercepted by the borehole. Petrographic analysis, although semi-quantitative, provided more meaningful insights, highlighting a composition characterized by abundant quartz and predominantly metamorphic lithic fragments, with an almost complete absence of feldspars.

Comparison with samples of modern sands from the main watercourses (Po, Ticino, and Apennine tributaries) made it possible to attribute, with good reliability, the sediments intercepted during the CARG Pavia 160 drilling to the Po River fluvial system, excluding significant contributions from other basins.

This work highlights the importance of an integrated approach in sediment studies, where petrographic analysis represents the primary tool for determining provenance, while grain-size analysis plays a complementary role in interpreting depositional processes. The results obtained provide a significant contribution to the reconstruction of the geological model of the subsurface of the CARG Pavia Sheet 160.

1 - SCOPO DELLA TESI

La presente tesi ha come tematica principale la redazione del modello geologico del primo sottosuolo dell'area di pianura all'interno del foglio CARG Pavia 160 con l'obiettivo di concorrere alla realizzazione di parte del foglio di sottosuolo che è associato a tutti i fogli di pianura nella nuova Cartografia Geologica Nazionale.

Il lavoro di tesi si inserisce all'interno di un progetto di ricerca più ampio, attualmente in corso presso il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Pavia, finalizzato alla realizzazione e all'aggiornamento della cartografia geologica nell'ambito del progetto CARG.

Il progetto CARG (acronimo di Cartografia Geologica) è stato avviato alla fine degli anni '80 dal Servizio Geologico d'Italia con l'obiettivo di realizzare e digitalizzare una nuova cartografia geologica dell'intero territorio nazionale alla scala 1:50.000 che sostituisce quella ormai in gran parte obsoleta alla scala 1:100.000. A tal fine, l'Italia è stata suddivisa in 636 fogli geologici, ognuno rappresentante una specifica porzione del territorio. Lo scopo principale dell'iniziativa è quello di promuovere una conoscenza approfondita e sistematica del territorio, utile sia per la prevenzione dei rischi naturali e la tutela e gestione ambientale, sia per valorizzare il patrimonio geologico come risorsa culturale pubblicamente accessibile.

La gestione del progetto è affidata al Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia – ISPRA (SGdI), che coordina i finanziamenti e le collaborazioni operative con enti quali Università, Regioni, Province Autonome e CNR. L'ISPRA si occupa anche di stabilire le priorità di realizzazione dei fogli geologici, basandosi su un indice di criticità geo-ambientale derivato dalla combinazione di diverse variabili territoriali e ambientali opportunamente pesate. Questo indice tiene conto, tra gli altri, di parametri quali: aree soggette a rischio frana o alluvione, presenza di coperture artificiali del suolo, permeabilità dei terreni (carta di permeabilità), localizzazione dei Siti di Interesse Nazionale (SIN), e classificazione sismica nazionale.

Al 2023 risultano terminati e pubblicati 281 fogli (Figura 1.1), pari ad una copertura di circa il 45% del territorio nazionale, mentre altri 82 fogli sono attualmente finanziati e in fase di elaborazione. La realizzazione di ciascun foglio prevede attività su un arco temporale di circa 4 anni. I piani per i prossimi anni prevedono l'avvio di ulteriori 100 fogli, che porterebbero la copertura cartografica oltre il 70% del territorio nazionale.

L'obiettivo finale è la costruzione di un database geologico nazionale, dettagliato e aggiornato, che sia accessibile, consultabile e funzionale alla diffusione della conoscenza geologica ed all'utilizzo per fini applicativi e/o di pianificazione territoriale.

PROGETTO CARG

FOGLIO GEOLOGICO

- da realizzare
- realizzato
- avviato
- avviato (Servizio Geologico d'Italia)
- parte a mare di foglio realizzato


FOGLI GEOLOGICI

2019 281






2023 + 82

NUMERO FOGLI GEOLOGICI con

| |  |  |  |
|-------------|---|---|---|
| 2019 | 67 | 25 | 1 |
| 2023 | + 18 | + 18 | + 34 |

tempo per la realizzazione di un foglio  **4 anni**

NUMERO FOGLI GEOTEMATICI

| |  |  |  |  |  |
|-------------|---|---|---|---|---|
| 2019 | 8 | 3 | 1 | 3 | 8 |
| 2023 | + 5 | + 2 | + 1 | | + 2 |

COORDINATORI

fogli 2020-2023



| | | |
|-------------|-----------|-----------|
| scientifici | 62 | 15 |
| SGdI | 17 | 14 |
| regionali | 19 | 14 |

FINANZIAMENTO STATALE

1989-2000 81 M€

2020-2022 83 M€

Figura 1.1 - Stato di avanzamento del Progetto CARG al 2025. Da "PROGETTO CARG: la cartografia geologica verso il futuro" (D'AMBROGI ET AL. 2024).

Il foglio geologico CARG Pavia 160 prevede, tra i suoi obiettivi, anche la realizzazione di un modello geologico tridimensionale del sottosuolo. In questo contesto si inserisce il presente lavoro di tesi, che in collaborazione con un laureando dell'Università degli Studi di Milano per quanto concerne le attività di rilevamento geologico, intende fornire un contributo diretto alla realizzazione del modello geologico di sottosuolo del Foglio Pavia, attraverso l'analisi e l'interpolazione di dati di sottosuolo (stratigrafie di pozzi e sondaggi). L'attività viene svolta seguendo le linee guida del progetto nazionale CARG, contribuendo alla digitalizzazione dei dati geologici ed al popolamento della banca dati associata alla cartografia geologica a scala 1:50.000.

Il foglio geologico CARG Pavia 160 si estende su una superficie di 583,22 km². I limiti geografici del foglio sono definiti da quattro vertici, le cui coordinate geografiche sono le seguenti:

Vertice NE: 9°19'56.30" E – 45°11'56.61" N

Vertice SE: 9°19'56.32" E – 44°59'56.57" N

Vertice SW: 8°59'56.28" E – 44°59'56.56" N

Vertice NW: 8°59'56.26" E – 45°11'56.60" N

La porzione del foglio geologico oggetto del presente lavoro è principalmente pianeggiante ed è rappresentata in mappa (Figura 1.2), insieme ai fogli adiacenti, alcuni dei quali risultano già realizzati e pubblicati, mentre altri sono in fase di realizzazione.

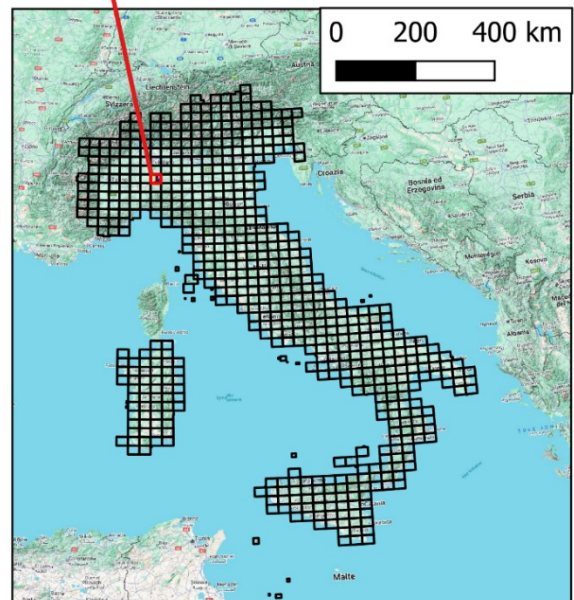
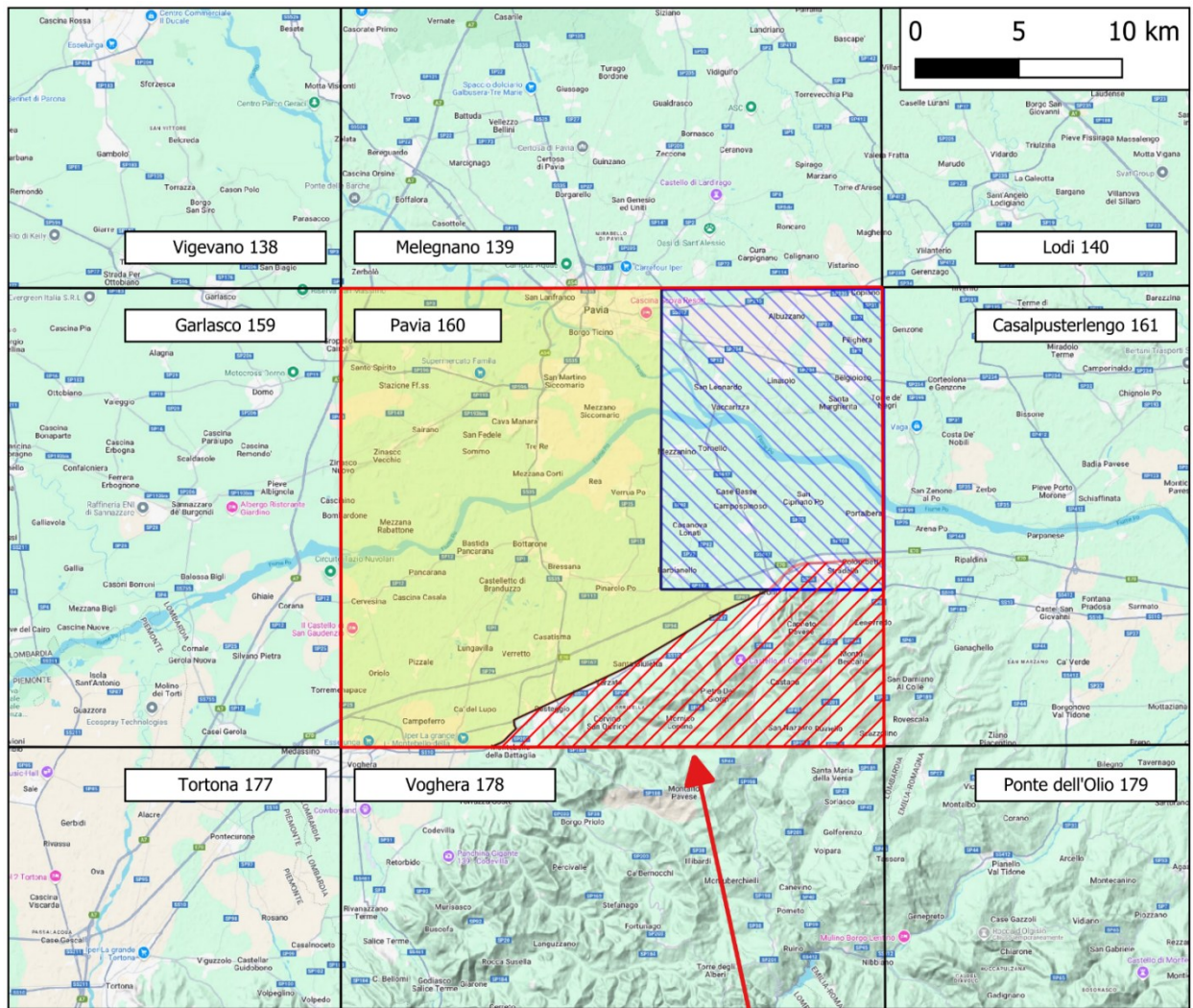


Figura 1.2 – Panoramica dei fogli CARG con in dettaglio area oggetto di tesi.

2 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 – Inquadramento Stratigrafico e Strutturale

La Pianura Padana rappresenta uno più estesi ed importanti bacini di avampaese nel contesto Europeo. L'attuale architettura del bacino di avanfossa e dell'avampaese dell'Appennino Settentrionale fornisce un classico esempio di bacino non cilindrico, risultato di una lunga e articolata evoluzione geodinamica (Amadori et al., 2019).

L'assetto tettonico dell'Italia settentrionale, in cui si colloca il PPAF (Avanfossa Padano- Adriatica), è controllato dalla complessa interazione tra i fronti esterni delle Alpi Meridionali (SA), dell'Appennino Settentrionale (NA) e il loro comune avampaese, rappresentato appunto dalla Pianura Padana (PP). Le SA costituiscono la porzione sudvergente dell'edificio alpino e sono formate da una serie di pieghe e sovrascorrimenti in parte sepolti sotto la copertura sedimentaria plio-pleistocenica nella porzione centrale della pianura. Diversamente, il NA è una catena a pieghe e sovrascorrimenti a vergenza N-NE, con porzioni affioranti e porzioni sepolte da sedimenti neogenico-quadernari, separata dal thrust Pedeappenninico (Pieri & Groppi, 1981; Castellarin et al., 1992; Fantoni e Franciosi, 2010; Ghielmi et al., 2010; Toscani et al., 2014). Entrambe le catene hanno come bacino di foreland porzioni della placca Adria, in generale considerata come un promontorio della più estesa placca Africana (Dercourt et al., 1986; Robertson & Grasso, 1995).

In questo capitolo verranno descritte le principali caratteristiche strutturali dei fronti sepolti e l'architettura, a scala di bacino, dei depositi plio-pleistocenici del PPAF.

Durante il Triassico e il Giurassico, la regione fu soggetta a una fase di rifting orientato E-W (Bertotti, et al., 1993; Fantoni & Franciosi, 2010), che determinò una articolata paleogeografia con bacini ed alti strutturali separati da faglie normali che hanno causato significative variazioni laterali di facies e di spessori (Masetti et al., 2012; Fantoni and Scotti, 2003).

A partire dall'Oligocene, la regione fu interessata da una fase compressiva con vergenza nord-orientale legata alla messa in posto dell'Appennino Settentrionale. Tale evento determinò la formazione di un bacino di avanfossa in migrazione verso N-NE. Successivamente al Messiniano la collisione tra il fronte appenninico settentrionale (NA) con il fronte sud in parte sepolto delle Alpi Meridionali (Carminati & Doglioni, 2012; Coward et al., 1989; Dal Piaz et al., 2003; Dewey et al., 1989; Malinverno & Ryan, 1986; Royden et al., 1987; Toscani et al., 2014) ha accentuato ulteriormente la complessità strutturale dell'area.

Il carico esercitato dalle catene Sudalpina e Nord Appenninica e l'abbondante apporto di sedimenti hanno permesso la messa in posto di significativi spessori di depositi di avanfossa che localmente raggiungono i 7–8 km (Pieri & Groppi, 1981; Amadori et al., 2019).

Attualmente, i fronti esterni dell'Appennino Settentrionale risultano sepolti sotto i depositi alluvionali della Pianura Padana e lungo il margine che separa la pianura dalle colline corre il thrust Pedeappenninico (PTF), che segna il limite della zona a cuneo della catena a sovrascorrimenti, e che risulta in parte affiorante (Bigi et al., 1990; Boccaletti et al., 1985; Maesano et al., 2015; Maestrelli et al., 2018) (Figura 2.1).

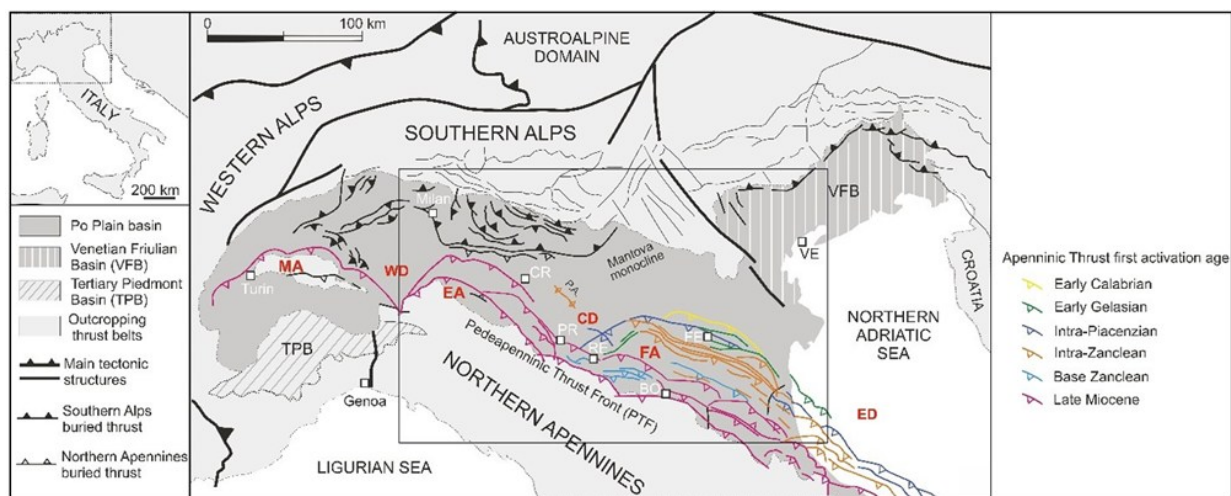


Figura 2.1 –Inquadramento - geologico e strutturale dell'Italia settentrionale in cui vengono riportati i fronti sepolti del Sudalpino e i thrust che compongono i tre archi strutturali dell'Appennino Settentrionale; Modificato da Amadori et. al., 2019.

Da recenti ricostruzioni dell'assetto dei depositi plio-pleistocenici della Pianura Padana (Amadori et al., 2019) è emerso come la transizione da una geometria cilindrica a una non cilindrica dell'avanfossa padano-adriatica sia legata sia alla presenza di lineamenti ereditati e differenze di facies e spessori, sia alla rotazione antioraria blocco Corsico-Sardo. Questo movimento è la causa della messa in posto dei fronti Nord-Appenninici perpendicolarmente ai lineamenti geologici mesozoici ereditati.

La presenza e la reologia di livelli di scollamento ha favorito la formazione dei “salienti” (archi Emiliano e Ferrarese) e “recessi” (arretramenti del fronte tra un arco e l'altro) nella parte centrale del PPAF che nel tempo hanno compartimentato l'avanfossa in depocentri distinti (Livani et al., 2018). Diversamente, in altri settori della catena appenninica (ad esempio in Italia centrale e nel bacino adriatico), l'avanfossa ha mantenuto una struttura cilindrica, migrando verso est senza rotazioni significative o cambi di spessore e suddivisione in sottobacini.

La successione plio-pleistocenica della Pianura Padana è caratterizzata quindi da significative variazioni di spessore e litologia, riconducibili all'evoluzione tettonica combinata dell'Appennino Settentrionale e delle Alpi Meridionali, e alla dinamica della loro comune avanfossa. Il riempimento sedimentario e gli stili strutturali del bacino registrano l'intera evoluzione compressiva dell'area, dalle fasi iniziali del Cretaceo fino allo sviluppo del bacino di avanfossa neogenico-quadernario che risente anche della parziale riattivazione di strutture ereditate dal margine passivo Triassico-Giurassico (Dondi & D'Andrea, 1986; Argnani & Ricci Lucchi, 2001; Ravaglia et al., 2006; Fantoni et al., 2004; Ghielmi et al., 2010, 2013; Livani et al., 2018).

Durante il Miocene medio, l'avanzamento del fronte appenninico e la coevoluzione delle Alpi Meridionali e Settentrionali hanno portato all'inizio dell'interazione tra questi sistemi orogenici (Carminati et al., 2012). In tale contesto, l'Appennino Settentrionale si è organizzato in tre archi strutturali asimmetrici e con entità di raccorciamento crescenti: valori minori si osservano nell'Arco del Monferrato a ovest, mentre il raccorciamento cresce progressivamente verso est con l'Arco Emiliano e raggiunge i massimi nell'Arco Ferrarese-Romagnolo. Anche le età di messa in posto rispecchiano la rotazione antioraria che ha generato i tre archi:

1. l'Arco del Monferrato attivo principalmente tra il Messiniano e il Pleistocene (Bertotti & Mosca, 2009; Pieri & Groppi, 1981);
2. l'Arco Emiliano si è sviluppato principalmente dal Tortoniano superiore al Pleistocene Superiore (Castellarin & Vai, 1986; Perotti, 1991; Toscani et al., 2006; Bonini et al., 2014);
3. l'Arco Ferrarese-Romagnolo e Adriatico è tettonicamente attivo dal Pliocene inferiore (Intra-Zancleano) ad oggi (Ahmad et al., 2014; Boccaletti et al., 2011; DISS Working Group, 2018; Maesano et al., 2015; Scrocca et al., 2007; Toscani et al., 2009);

Nel corso del tempo, la crescente disponibilità di dati di sottosuolo rilasciati principalmente da ENI, ha consentito di passare dalle prime descrizioni del sottosuolo padano (Pieri & Groppi, 1981) a ricostruzioni stratigrafiche e strutturali sempre di maggior dettaglio. Grazie a diversi studi che avevano finalità sia scientifiche sia applicative (ad esempio la mappatura degli acquiferi padani condotta da ENI in collaborazione con Regione Lombardia e Regione Emilia Romagna) (Regione Emilia Romagna (R.E.R) & ENI-AGIP, 1998; Regione Lombardia (RL) & ENI-AGIP, 2002) , la stratigrafia dell'intervallo Messiniano–Pleistocene è stata descritta in dettaglio e con ottimi vincoli cronostratigrafici e, sulla base di questa, e l'architettura del bacino è stata ricostruita in diversi studi basandosi sulla seguente suddivisione in sequenze separate da superfici di unconformity regionali (Ghielmi et al., 2008, 2010, 2013; Minervini et al., 2009).

Nel dettaglio, nel Pliocene sono state individuate tre unconformities regionali (Figura 2.2):

- PL1u – base Zancleano, (~ 5,33 Ma);
- PL2u – intra-Zancleano (~4 Ma);
- PL3u – intra-Piacenziano (~3,3 Ma).

Nel Pleistocene, le principali unconformities sono:

- PS1u – Gelasiano inferiore (~2,4 Ma);
- PS2u – Calabriano inferiore (~1,5 Ma);
- PS3u – Pleistocene superiore (~0,87 Ma).

Queste superfici, assieme alla topografia attuale, delimitano sei sequenze deposizionali (PL1s, PL2s, PL3s, PS1s, PS2s, PS3s) che definiscono il riempimento pliocenico-pleistocenico del PPAF.

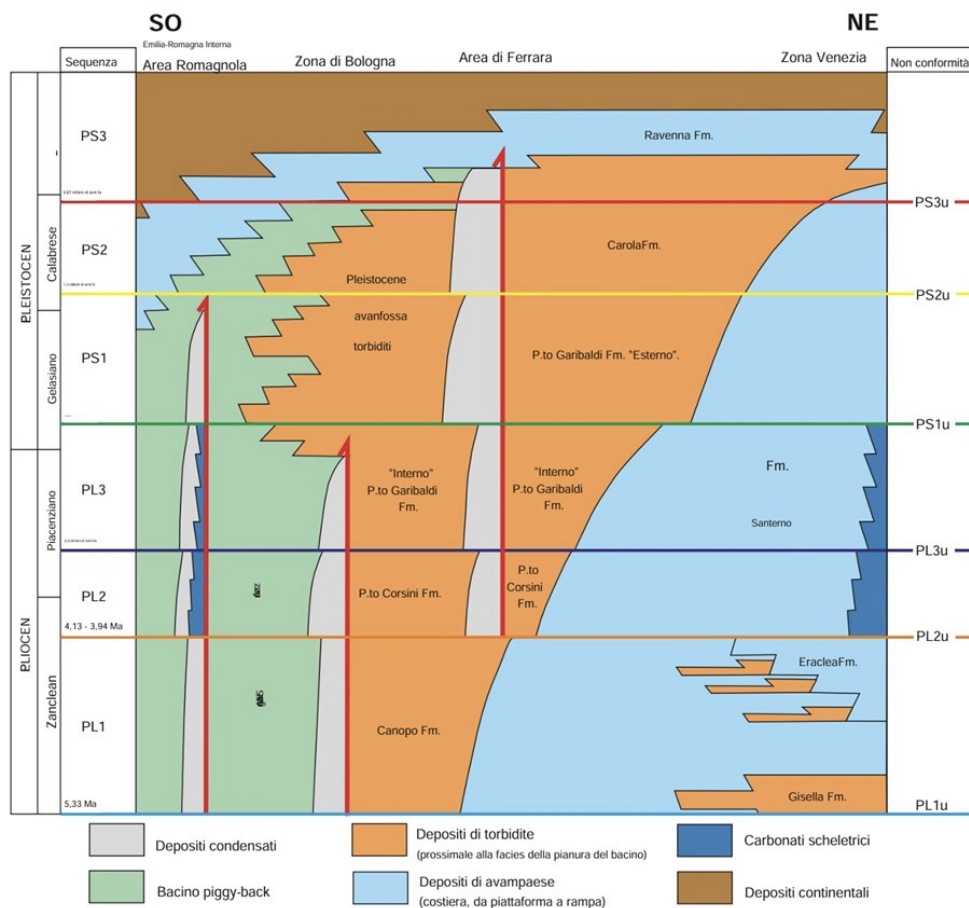


Figura 2.2 – Il quadro stratigrafico Plio-Pleistocenico dell'area di studio lungo un transetto SW-NE idealizzato dall'Emilia Romagna all'area di Venezia; Da Amadori et al., 2019.

L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di mappare i principali piani di faglie e le unconformities plio-pleistoceniche del settore padano settentrionale (PPAF), con particolare attenzione all'area compresa nel Foglio 160 Pavia di cui andrà prodotta una mappa di sottosuolo.

L'architettura di questa porzione di bacino di avanfossa è descritta da Barrera Acosta (2025) attraverso mappe delle isobate (Figure 2.3a-f), che mostrano la profondità delle diverse unconformities.

Nelle diverse mappe delle isobate della successione Plio-Pleistocenica, sono presenti aree non mappate, soprattutto in corrispondenza di creste di anticlinali sepolte, indice di attività tettonica sinsedimentaria e/o della presenza di porzioni di bacino più rilevate fin dall'inizio del Pliocene.

Di seguito vengono descritte le diverse unconformities e l'assetto strutturale della porzione di arco emiliano entro cui ricade il foglio Pavia ed oggetto della tesi di dottorato di Daniel Barrera Acosta dal titolo "Plio-Pleistocene Evolution of the Po Plain Subsurface: Insights from a 3D Geological Model and its Relationship with the Occurrence of Thermal Anomalies for Geothermal Energy Exploration" svolta presso il DSTA in collaborazione con ENI (Barrera, 2025).

Fase PL1 (Pliocene basale): (Figura 2.3a)

La base del Pliocene (5,33 Ma) è una superficie di discordanza legata alla Crisi di Salinità Messiniana (Amadori et al. 2018) associata a fasi tettoniche compressive legate al sistema orogenico appenninico. Si identificano due depocentri principali (profondi ~4000 m) e uno piggy-back minore (2500–3000 m). I bacini sopra le strutture principali mostrano morfologia a cuneo per l'inattività tettonica. A nord dell'Arco Emiliano compaiono canyon formati dalla Crisi di Salinità del Messiniano e successivamente riempiti da sedimenti alpini.

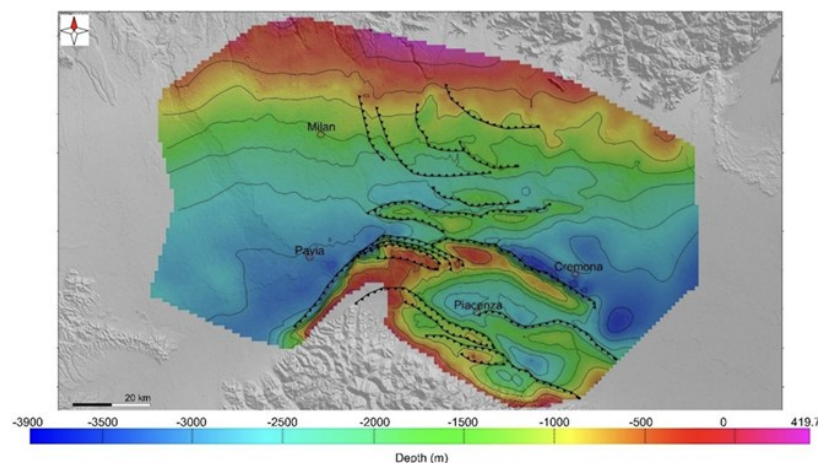


Figura 2.3a – Mappa delle isobate a PL1u. Curve di livello ogni 500 m. Da tesi di dottorato inedita di Daniel Barrera Acosta (2025)

Fase PL2 (intra-Zancleano): (Figura 2.3b)

La superficie PL2 (4,13–3,94 Ma) segna una fase tettonica attiva con strutture in sollevamento e migrazione verso nord. I depocentri principali raggiungono i 3500 m; quello orientale è più profondo davanti al SCS. Le unità PL2s riempiono canyon precedenti, indicando sedimentazione continua in ambienti controllati dalla tettonica.

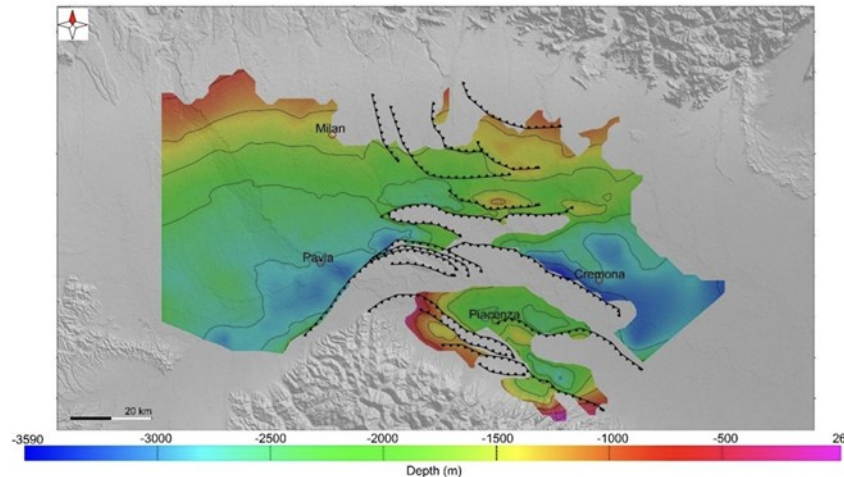


Figura 2.3b – Mappa delle isobate a PL2u. Curve di livello ogni 500 m. Da tesi di dottorato inedita di Daniel Barrera Acosta (2025).

Fase PL3 (intra Piacenziano, ~3,3 Mn): (Figura 2.3c)

La superficie PL3 rappresenta una discordanza che segna l’inizio di una fase tettonica tardiva del Pliocene e l’avvio della deposizione delle unità PL3s. Durante la Fase PL3, le deformazioni nell’Arco Emiliano rallentano, coinvolgendo sia le strutture interne (SBS-SMS) che quelle esterne (CSS), sebbene la sequenza PL3 risulti ancora deformata. Il depocentro occidentale viene riempito quasi del tutto, mentre quello orientale persiste (fino a 3100 m). Si sviluppa un piccolo bacino tra SCS e CZS e i bacini piggy-back iniziano a connettersi lateralmente al depocentro orientale, indicando continuità sedimentaria.

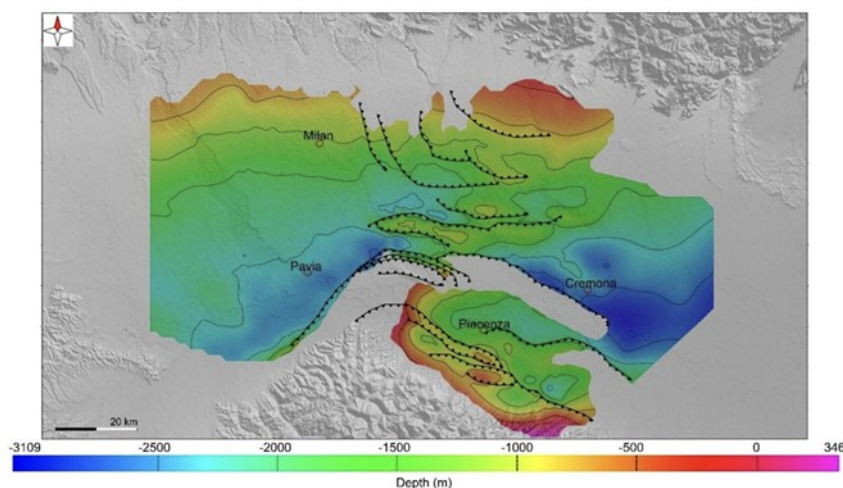


Figura 2.3c – Mappa delle isobate a PL3u. Curve di livello ogni 500 m. Da tesi di dottorato inedita di Daniel Barrera Acosta (2025).

Fase PS1 (Gelasiano Inferiore ~2,4Mn): (Figura 2.3d)

La superficie PS1 rappresenta una superficie di discordanza che segna l'inizio della fase tettonica pleistocenica e l'avvio della deposizione delle unità PS1s. In questa fase, il depocentro occidentale scompare e la sedimentazione avviene su superfici quasi piate. Il depocentro orientale migra verso sud-est, mentre il bacino di transizione tra SCS e CZS si colma, connettendo i vari sistemi deposizionali. La sequenza PS1s non si deposita sulle strutture principali, e si nota una riduzione della deformazione, soprattutto nel CMS occidentale, ormai sepolto, mentre le porzioni orientali restano attive. Deformazioni residue persistono nelle strutture interne (SBS, SMS, CSS).

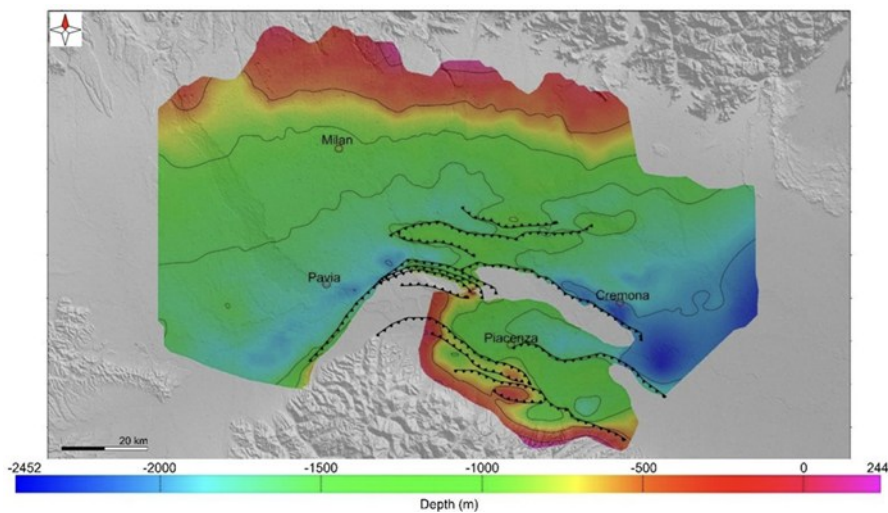


Figura 2.3d – Mappa delle isobate a PS1u. Curve di livello ogni 500 m. Da tesi di dottorato inedita di Daniel Barrera Acosta (2025).

Fase PS2 (Calabriano Inferiore ~1,5 Mn): (Figura 2.3e)

La Superficie PS2 coincide con l'inizio della fase tettonica calabriana e l'avvio della deposizione delle unità PS2s. In questo periodo si registra una marcata riduzione dell'attività tettonica, con superfici livellate e strutture sepolte. Il settore occidentale è pianeggiante e stabile, mentre il depocentro orientale resta attivo (fino a 1920 m). Solo il CZS mostra ancora deformazioni rilevanti, superiori alla sedimentazione, evidenziate dalla mancanza di deposito e dalla superficie PS2u che si appoggia al suo fianco.

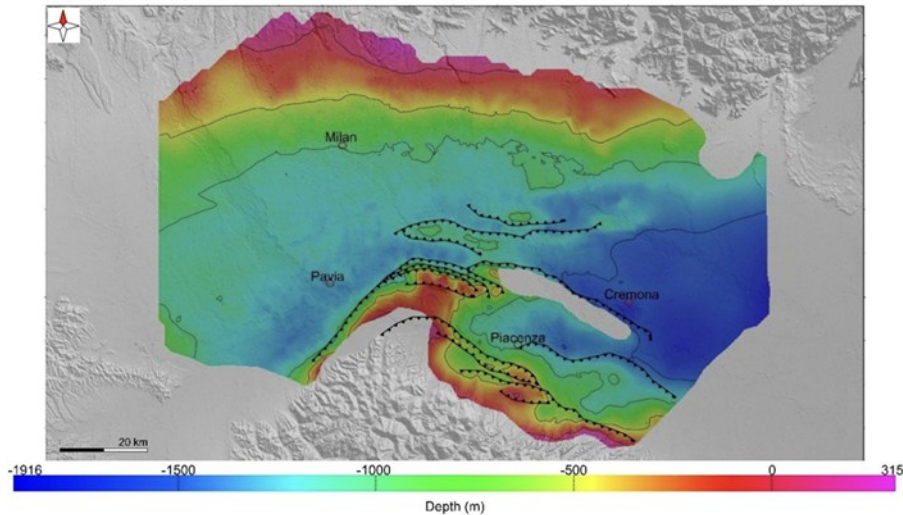


Figura 2.3e – Mappa delle isobate a PS2u. Curve di livello ogni 500 m. Da tesi di dottorato dottorato inedita di Daniel Barrera Acosta (2025).

Fase PS3 (Pleistocene Superiore ~ 0,87 Mn): (Figura 2.3f)

La superficie PS3 registra l'ultima fase tettonica del Pleistocene e segna l'inizio della deposizione della sequenza PS3s, che prosegue fino ai giorni nostri. In questo periodo si verifica il passaggio da ambiente marino a continentale e l'inizio delle grandi glaciazioni alpine. L'attività tettonica è ormai ridotta, soprattutto a ovest, dove la sequenza PS3 appare piatta. Verso est, la sequenza si approfondisce (fino a ~1400 m) e mostra deformazioni residue legate a SCS e CZS. Nella parte alta della sequenza, gli strati sono perlopiù orizzontali, tranne che presso il SCS, ancora attivo fino a tempi recenti.

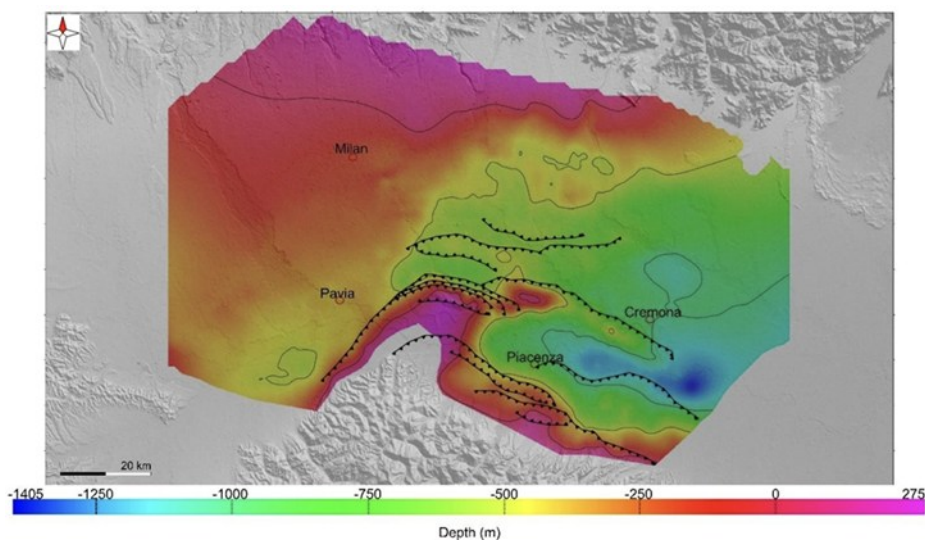


Figura 2.3e – Mappa delle isobate a PS3u. Curve di livello ogni 500 m. Da tesi di dottorato dottorato inedita di Daniel Barrera Acosta (2025).

L'ampliamento dell'interpretazione del sottosuolo della Pianura Padana rende necessario un approfondimento mirato sulle strutture sepolte di maggiore rilevanza nell'area di interesse (foglio CARG Pavia 160). In particolare, l'attenzione si concentra sull'Arco Emiliano (EA) e sul fronte sepolto delle Alpi Meridionali, la cui interazione gioca un ruolo chiave nell'evoluzione tettonica e sedimentaria del settore centrale della pianura. Tali aspetti sono stati approfonditamente analizzati nel lavoro di tesi di dottorato di Daniel Barrera Acosta (2025).

Strutturalmente, l'Arco Emiliano occidentale-centrale comprende tre principali sistemi di accavallamento: Stradella-Belgioioso (SBS), San Colombano (SCS) e Casalpusterlengo-Zorlesco (CZS), a cui si aggiunge la struttura Caviaga-Soresina (CSS) (Figura 2.4).

Le strutture SCS e CZS sono due anticlinali controllate da sistemi di spinta diversi: l'SCS si muove verso ovest con rampa NE-SW, il CZS verso est con direzione E-W. Sono separate da una struttura di trasferimento. L'Arco Emiliano orientale comprende le strutture CSS, CMS e SMS. L'evoluzione è simile fino al Pliocene, con predominanza dell'SCS nel Pleistocene, collegata alla propagazione del sistema di San Colombano (Zuffetti & Bersezio, 2021; Maesano et al., 2024).

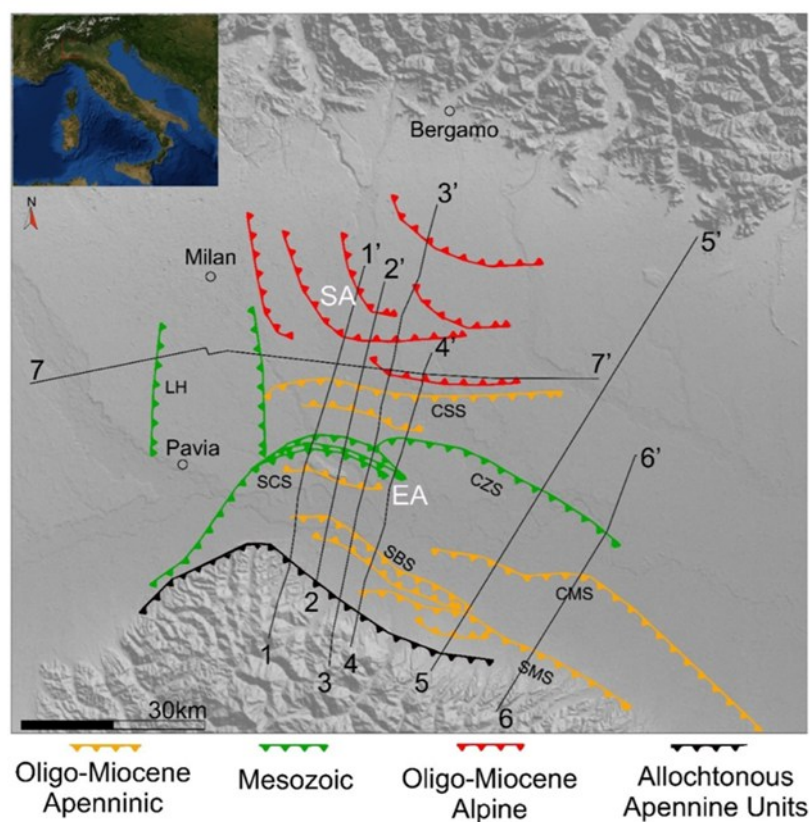


Figura 2.4 – Area oggetto di studio con rappresentate le principali strutture (EA : Arco Emiliano, SA: sovrascorrimenti delle Alpi Meridionali); Da tesi di dottorato di Daniel Barrera Acosta.

L'Arco Emiliano presenta una configurazione complessa con deformazioni fuori sequenza e doppia vergenza, dovuta all'interazione con il fronte Alpino Meridionale (SA) e strutture mesozoiche ereditate. Il SA, accresciutosi tra tardo Cretaceo e Paleogene e deformato nel Miocene, sono prossimi ai fronti dell'Arco Emiliano (EA) (Pieri & Groppi, 1981; Castellarin et al., 1992). La crescita strutturale del SA si sarebbe interrotta nel Tortoniano, mentre la migrazione nord degli Appennini iniziò nel Messiniano-Pliocene inferiore, causando sovrapposizioni con un SA ormai inattivo (Pieri & Groppi, 1981; Castellarin et al., 1992, 2001).

L'inversione e riattivazione delle faglie prealpine nord-sud nel Paleogene e Miocene influenzarono significativamente la superficie della facies carbonatica mesozoica modellandone la geometria e, determinando la localizzazione di pieghe e accavallamenti che favorirono la propagazione delle spinte verso l'avampaese (Dondi et al., 1982; Castellarin et al., 1985; Cassano et al., 1986; Dondi & D'Andrea, 1986; Grandic et al., 2002; Ravaglia et al., 2006; Livani et al., 2018).

All'interno dell'Arco Emiliano si riconoscono molte strutture tettoniche (Figura 2.5) attive in diverse fasi e con geometrie variabili, utili per ricostruire la deformazione e gli stili strutturali del settore padano occidentale. Tra queste si includono gli alti strutturali di Lacchiarella e Gaggiano (LH–GH), elementi rigidi preesistenti che influenzano l'assetto strutturale dell'arco:

Struttura Stradella–Belgioioso (SBS):

L'anticlinale SBS si forma progressivamente da Ovest a Est, con iniziale deformazione nella sequenza oligo-miocenica e aumento della dislocazione nel Plio-Pleistocene, specie nel bacino piggy-back della struttura SCS. Intorno a 0,87 Ma si registra una riduzione della spinta tettonica, ma la deformazione persiste a Est.

Struttura San Colombano (SCS):

La più estesa nell'area, coinvolge rocce mioceniche e sedimenti pliocenici, con sistema di faglie cieche e attività tettonica recente. La deformazione principale è tra 5,33 e 3,3 Ma, poi migra verso Est, con deformazione accumulata internamente come fuori sequenza.

Struttura Casalpuusterlengo–Zorlesco (CZS):

Condivide il piano di distacco con la SCS, mostra deformazione iniziata almeno 1,5 Ma fa e attività fino a 0,89 Ma, con una deformazione progressiva da Ovest verso Est. Forma un ampio bacino piggy-back ad Est, dove la deformazione si intensifica.

Struttura Salsomaggiore (SMS):

Situata a Est, deforma il margine del bacino con geometria simile alla SBS, deformando unità PL1–PS2, mentre PL3 è inclinata ma non deformata. La struttura è radicata nella successione oligo-miocenica.

Struttura Cortemaggiore (CMS):

Estremità orientale dell'Arco, con anticline a lunga lunghezza d'onda indicativo di distacco profondo. Deformazione principale datata circa 2,4 Ma e attività cessata attorno a 0,87 Ma, con tassi di sedimentazione superiori a quelli di deformazione. La struttura ha avuto un'evoluzione in sequenza senza deformazioni fuori sequenza.

Struttura Caviaga (CSS):

La più esterna, con distacco nella successione oligo-miocenica e deformazione delle unità fino a PS3u. Attività massima tra 4,13 e 3,94 Ma, con riduzione progressiva dello spostamento verso Est. La deformazione si intreccia con le Alpi Meridionali, mostrando riattivazione.

Alti strutturali di Lacchiarella e Gaggiano (LH–GH):

Situati a Ovest, derivano dalla riattivazione di faglie normali triassico-giurassiche, influenzate dall'orogenesi alpina. Qui lo spessore dei sedimenti oligo-miocenici si riduce drasticamente, evidenziando un substrato rigido che ha condizionato la curvatura dell'Arco Emiliano.

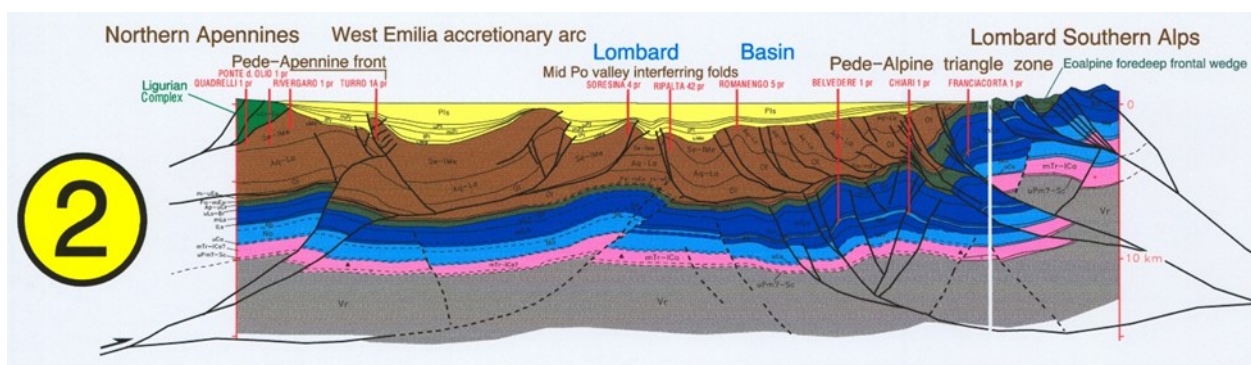


Figura 2.5 – Sezione regionale perpendicolarmente alla direzione delle strutture in scala verticale raddoppiata rispetto alla scala orizzontale; Da Fantoni & Franciosi, 2010.

Dallo studio è emerso infine come l'evoluzione dell'Arco Emiliano durante il Plio-Pleistocene segue le diverse fasi deformative del bacino padano e che questo mostra una chiara distinzione tra le modalità deformative nelle diverse zone strutturali.

Nella Zona Centrale Occidentale (WCZ), l'interazione tra l'Arco Emiliano (EA) e una deformazione più contenuta nell'area esterna (SAT) ha causato un'intensificazione della deformazione sulle strutture più interne, come SCS e SBS. Dopo il Calabriano la struttura di Caviaga ha cessato la sua attività deformativa evidenziato dall'appiattimento di PS2s su PS3u, mentre la struttura interna di San Colombano ha continuato a deformarsi, evidenziando dal ripiegamento di PL2s e PL3s segno di un processo di deformazione fuori sequenza.

Nella Zona Orientale (EZ), dove l'interazione con la SAT è minore, la deformazione è evoluta in modo più regolare e sequenziale. La struttura CZS, spinta più esterna, è rimasta attiva fino al Calabriano, per poi ridurre gradualmente la propria attività. Al contrario, le strutture interne (EZ-CMS e SMS) risultano inattive già durante il Calabriano, come dimostrato dall'assenza di deformazioni nei livelli stratigrafici PS2 e PS3.

2.2 – Inquadramento idrostratigrafico

Il foglio CARG Pavia 160 si colloca in una posizione di transizione idrogeologica, estendendosi al di sopra di due principali bacini idrogeologici: da un lato il bacino idrogeologico della Pianura Padana Lombarda, dall'altro il bacino idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola.

L'assetto idrostratigrafico della Pianura Padana lombarda è il risultato di una complessa storia geologica e sedimentaria, maturata tra il Pliocene e il Pleistocene, sotto l'influenza combinata di processi tettonici, climatici e deposizionali.

Gli acquiferi principali della Regione Lombardia si sviluppano nei depositi continentali e marini del Pleistocene della Pianura Padana. La loro rilevanza ha stimolato studi stratigrafici e idrogeologici che hanno evidenziato la tendenza regressiva della successione sedimentaria plio-pleistocenica, caratterizzata da depositi torbiditici profondi alla base e, superiormente, facies di scarpata, piattaforma esterna, litorale, deltizi/lagunari e fluviali.

Sono riconosciute due direzioni prevalenti di progradazione:

1. Assiale, verso Est, originata dal paleo-delta del Po.
2. Trasversale, verso Sud-Est, da sistemi deltizi di alimentazione alpina.

La transizione dal bacino marino alla sedimentazione continentale è controllata da eventi tettonico-sedimentari parossistici, alternati a periodi di subsidenza bacinale e attività tettonica regionale. Le

superfici stratigrafiche chiave coincidono con superfici sismiche e limiti stratigrafici complessi. Gli acquiferi riconosciuti rientrano nelle Sequenze Deposizionali (Mitchum et al., 1977).

I movimenti verso Nord-Est delle falde appenniniche influenzano l'intero bacino sedimentario, generando estese superfici di erosione sui margini e sui fronti di falda anche segmentazioni dell'avanfossa con spostamenti dei depositi e spostamenti rapidi e marcati delle zone di Transizione Scarpata sottomarina – piana bacinale (TSB).

La TSB, punto di raccordo tra riflettori clinoformi e scarpata, può bloccarsi per l'avanzamento tettonico e l'arcuatura strutturale, favorendo subsidenza differenziale e rapida progradazione deltizia fino al margine attivo, con conseguente erosione e sviluppo di sistemi fluvio-deltizi tra fronti strutturali.

A seguito della regressione forzata che segue gli eventi tettonici, l'ampliamento delle aree deposizionali sui margini di bacino è documentato da geometrie sismiche in onlap.

Le principali classi di sistemi deposizionali individuate (tramite integrazione di dati sismici e di pozzo) sono:

- Piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po).
- Conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina o appenninica.
- Delta ad alimentazione assiale (paleo-Po), alpina e appenninica.
- Delta conoide alpino o appenninico.
- Piana costiera.
- Piattaforma sommersa.
- Scarpata sottomarina.
- Piana bacinale.

Le prime quattro classi presentano corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, alternati ciclicamente a corpi più fini, con gerarchie di spessore che vanno da cicli di rango inferiore (pochi metri) a cicli di rango superiore (decine di metri).

Queste unità rappresentano fasi sedimentarie ad alta energia alternate a periodi di bassa energia, legate sia all'attivazione che alla disattivazione dei sistemi deposizionali. Tali variazioni sarebbero controllate dalle oscillazioni climatiche e eustatiche su cicli di 20–100 ka.

Nell'area lombarda sono state identificate Sequenze Deposizionali Elementari (40–100 ka), correlate alle oscillazioni climatiche, che si aggregano in Sequenze Deposizionali di ordine superiore, rappresentando l'unità chiave per la ricostruzione idrostratigrafica.

Per quanto riguarda l'evoluzione del bacino a partire dal Messiniano, i movimenti tettonici legati all'edificio alpino cessano quasi completamente, mentre si registra un marcato spostamento verso Nord-Est del fronte appenninico settentrionale. Da questo momento, le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente influenzate da rapidi sollevamenti e avanzamenti delle falde nord-appenniniche, alternati a fasi di calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Il margine meridionale del bacino, in prossimità del fronte appenninico, risente in maniera significativa di tali movimenti, mentre quello settentrionale mostra effetti più attenuati. I movimenti sono documentati da estese superfici di erosione, dalla riattivazione di strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati a variazioni eustatiche.

Nel sottosuolo della pianura lombarda sono state riconosciute quattro unità idrostratigrafiche di rango superiore (Gruppi Acquiferi) identificate come barriere di permeabilità a estensione regionale. Questi gruppi, denominati A, B, C e D, ampliano lo schema proposto per la Regione Emilia-Romagna (1998). (Figura 2.6)

- Il Gruppo Acquifero A è ampiamente sfruttato in Lombardia, sebbene spesso soggetto a fenomeni di inquinamento.
- I Gruppi B e C sono utilizzati principalmente nelle aree di margine del bacino.
- Il Gruppo D, più isolato, è sfruttato localmente.

L'architettura interna e le caratteristiche petrofisiche di queste unità sono il risultato diretto della storia tettonica e deposizionale del bacino sedimentario padano.

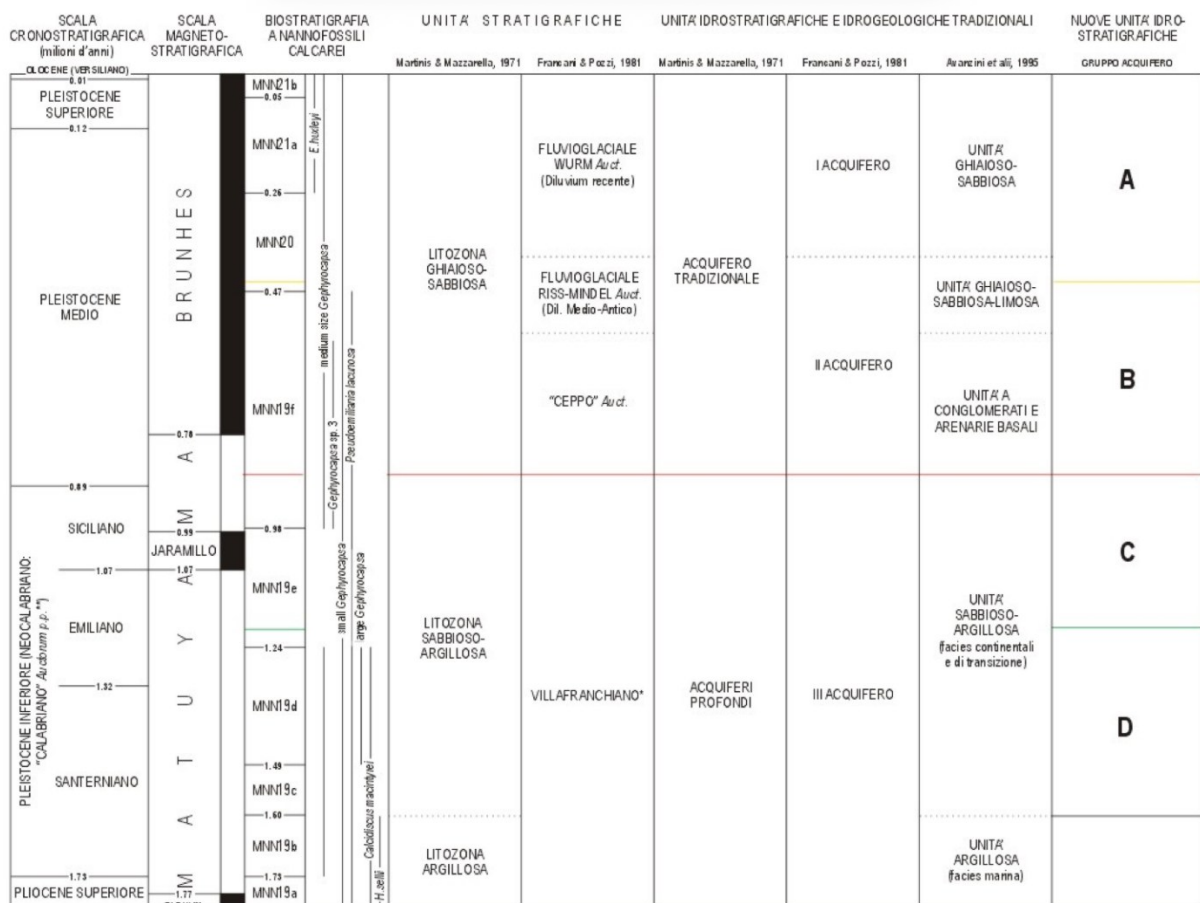


Figura 2.6: Quadro Idrostratigrafico del bacino Padano Lombardo. Immagine presa da “Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia”.

L’analisi sedimentologica, condotta su quattro sondaggi continui (Agrate RL 4, Ghedi RL 1, Pianengo RL 2 e Cilavegna RL 3) e integrata con dati stratigrafici, log elettrici e sismica a riflessione, ha permesso di identificare e correlare le principali unità idrostratigrafiche, ricostruendo le facies deposizionali e attribuendo a ciascun gruppo un inquadramento cronostratigrafico.

Il Gruppo Acquifero D (Figura 2.7) è stato intercettato unicamente nel sondaggio Agrate RL 4, tra 132,4 e 185 m di profondità, per uno spessore di circa 50 m, e attribuito al Pleistocene inferiore. È costituito da una successione a facies negativa (Coarsening Upward) composta da argille siltose e sabbie fini a sottili letti sabbiosi, localmente bioturbati e con resti fossili vegetali, interpretabile come deposito di un sistema di delta-conoide alimentato da Nord verso Sud, con piana deltizia e canali distributori.

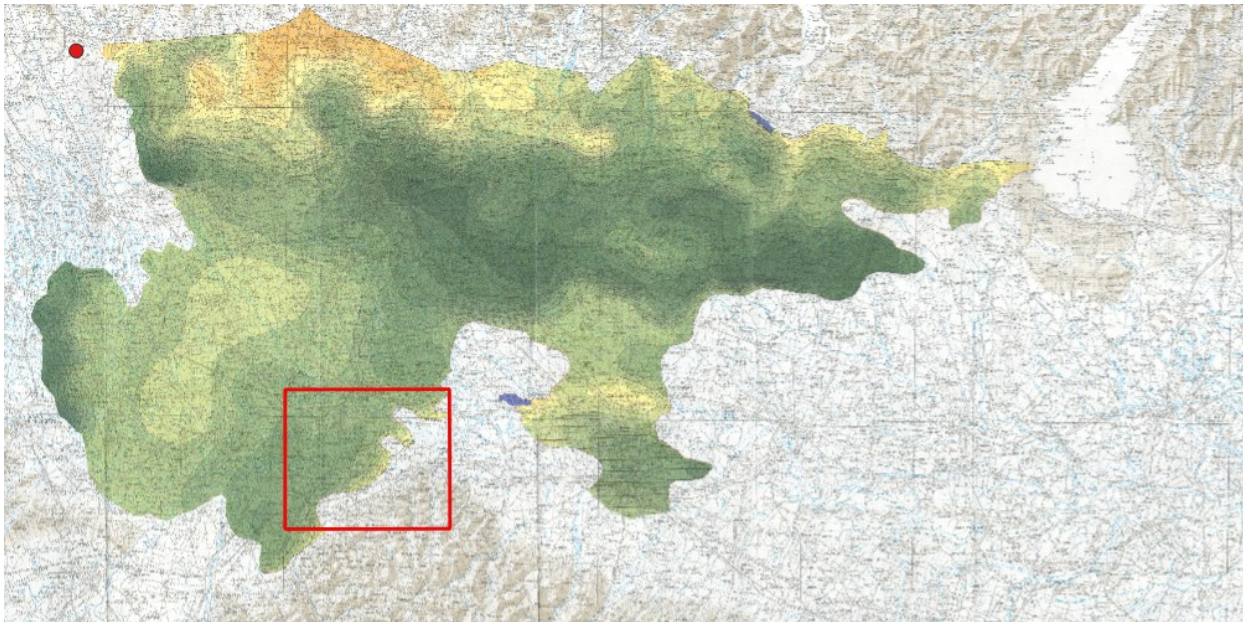


Figura 2.7: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero D. Immagine modificata da “Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia”.

Il Gruppo Acquifero C (Figura 2.8) è stato rilevato in tutti i sondaggi: Agrate RL 4 lo attraversa completamente, Pianengo RL 2 si avvicina alla base senza raggiungerla, mentre Ghedi RL 1 e Cilavegna RL 3 ne intercettano solo la parte alta. Gli spessori carotati variano tra 75 m (Agrate RL 4) e 130 m (Ghedi RL 1), con attribuzione al Pleistocene medio. La successione è organizzata in due cicli regressivi principali: il ciclo inferiore è formato da sabbie fini a medie grigio-giallastre, con intercalazioni siltose e locali livelli torbosi, riferibili a facies di piana litorale e sistemi transizionali; il ciclo superiore è caratterizzato da granulometria più grossolana, con prevalenza di ghiaie nei sondaggi settentrionali e sabbie in quelli meridionali e distali. L'interpretazione deposizionale individua sistemi fluviali e litorali ad alta permeabilità e con buona connettività laterale, che costituiscono serbatoi idrici di primaria importanza.

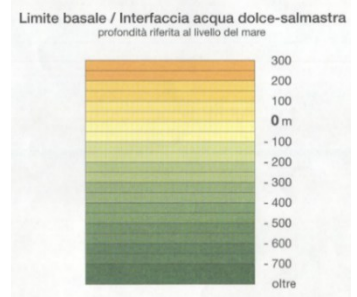
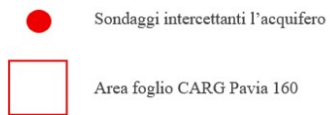
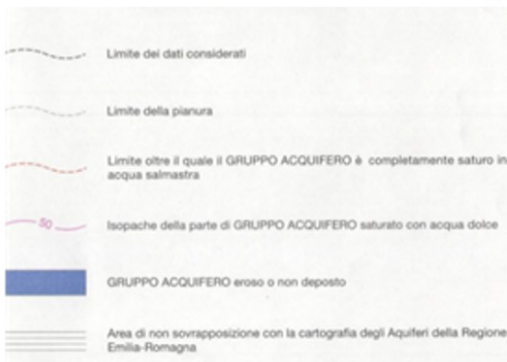
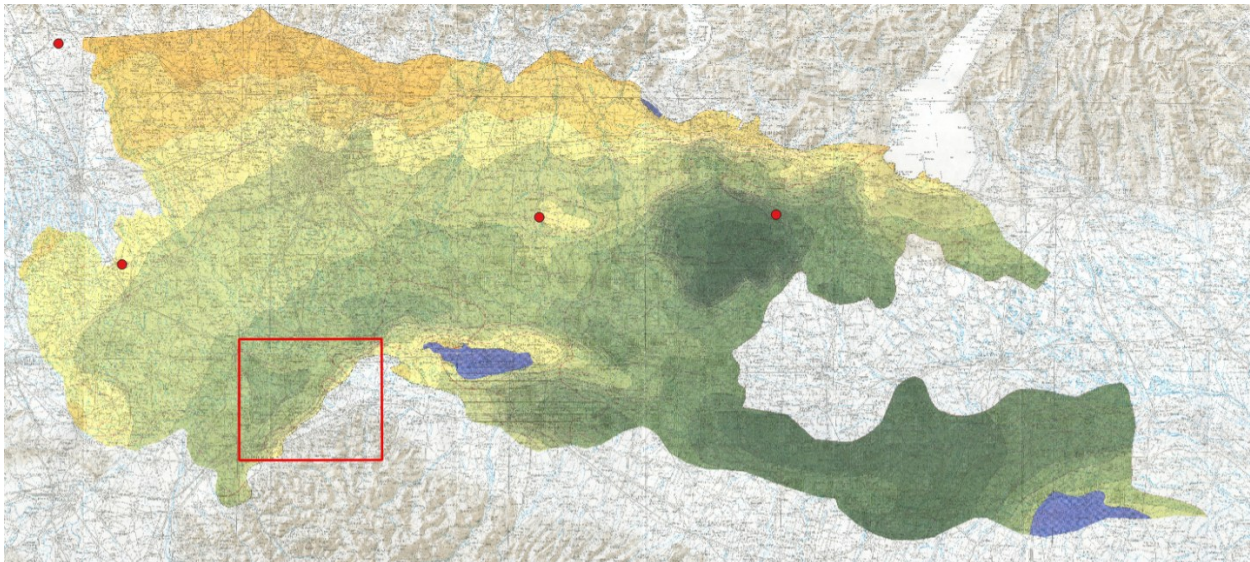


Figura 2.8: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero C. Immagine modificata da “Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia”.

Il Gruppo Acquifero B (Figura 2.9) è stato intercettato e completamente attraversato da tutti i sondaggi, con spessori compresi tra 40 e 50 m. Il limite inferiore con il Gruppo C è netto, mentre quello superiore con il Gruppo A risulta meno definito. La successione è organizzata in due cicli positivi (Finning Upward) di circa 20 m ciascuno: il ciclo inferiore presenta litologie sabbiose grigie a giallastre con rari livelli argillosi e ghiaiosi, oltre a locali intercalazioni organiche; il ciclo superiore mostra granulometria più grossolana, con ghiaie prevalenti nei sondaggi settentrionali e sabbie nei settori distali. L'ambiente di sedimentazione è esclusivamente continentale, caratterizzato da sistemi fluviali ad alta energia alimentati da aree alpine in erosione, con direzioni di apporto da Nord verso Sud e dinamiche legate alle fasi fredde e secche dei cicli glaciali pleistocenici.

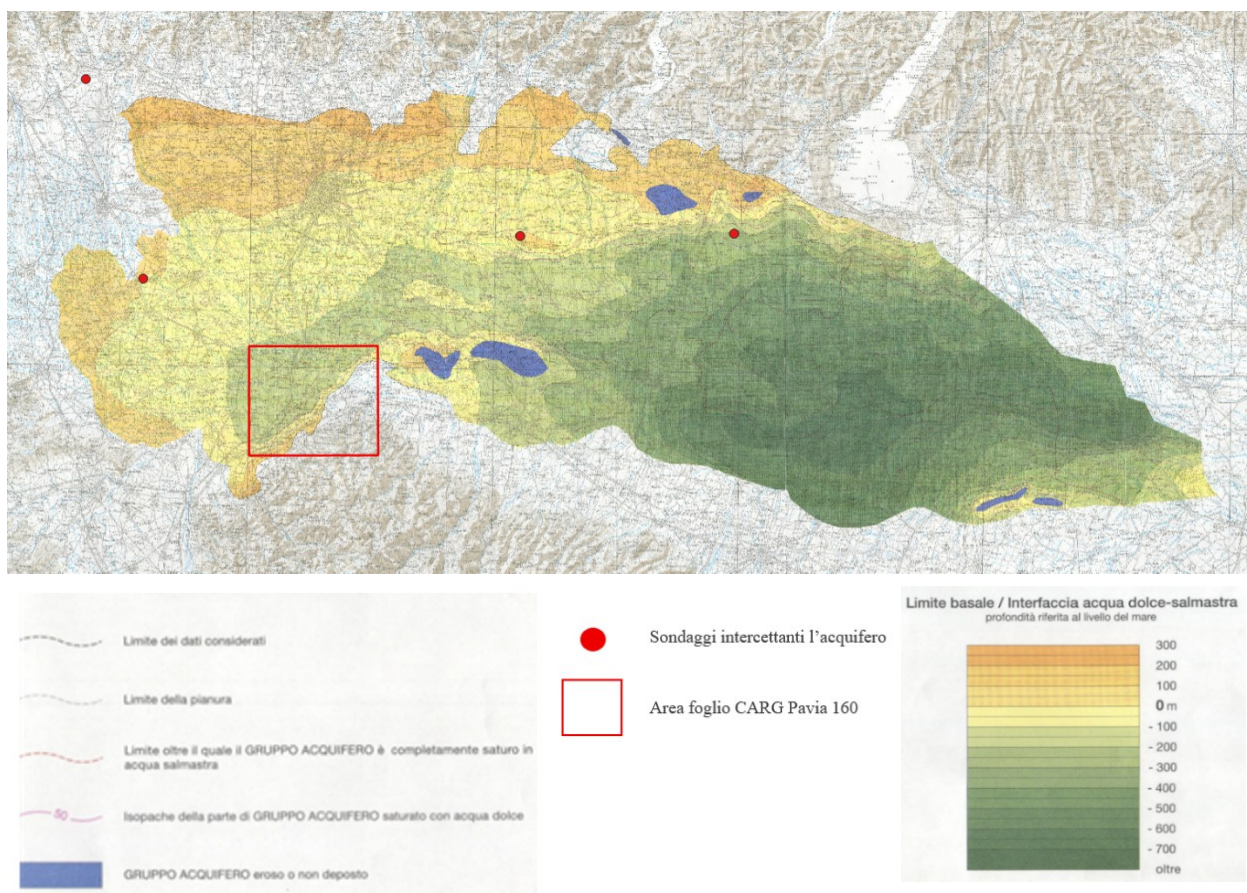


Figura 2.9: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero B. Immagine modificata da "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia".

Il Gruppo Acquifero A (Figura 2.10) è stato attraversato interamente in tutti i sondaggi, con spessori compresi tra 20 e 40 m, ad eccezione del sondaggio Cilavegna RL 3 dove supera i 70 m. Presenta forti analogie litologiche e sedimentarie con il Gruppo B, sebbene con interpretazione deposizionale distinta. Prevalgono le ghiaie e le sabbie grossolane a matrice sabbiosa, scarsamente coese, con frequenti variazioni laterali di facies: in prossimità delle aree di alimentazione alpina predominano le ghiaie, mentre nei settori meridionali e distali prevalgono le sabbie. L'ambiente di sedimentazione è interamente continentale, con sistemi fluviali intrecciati (braided) ad alta energia e bassa maturità, interpretabili come il prodotto di processi sedimentari intensi e rapidi, alimentati da sistemi torrentizi alpini in condizioni climatiche fredde e aride tipiche delle fasi glaciali pleistoceniche.

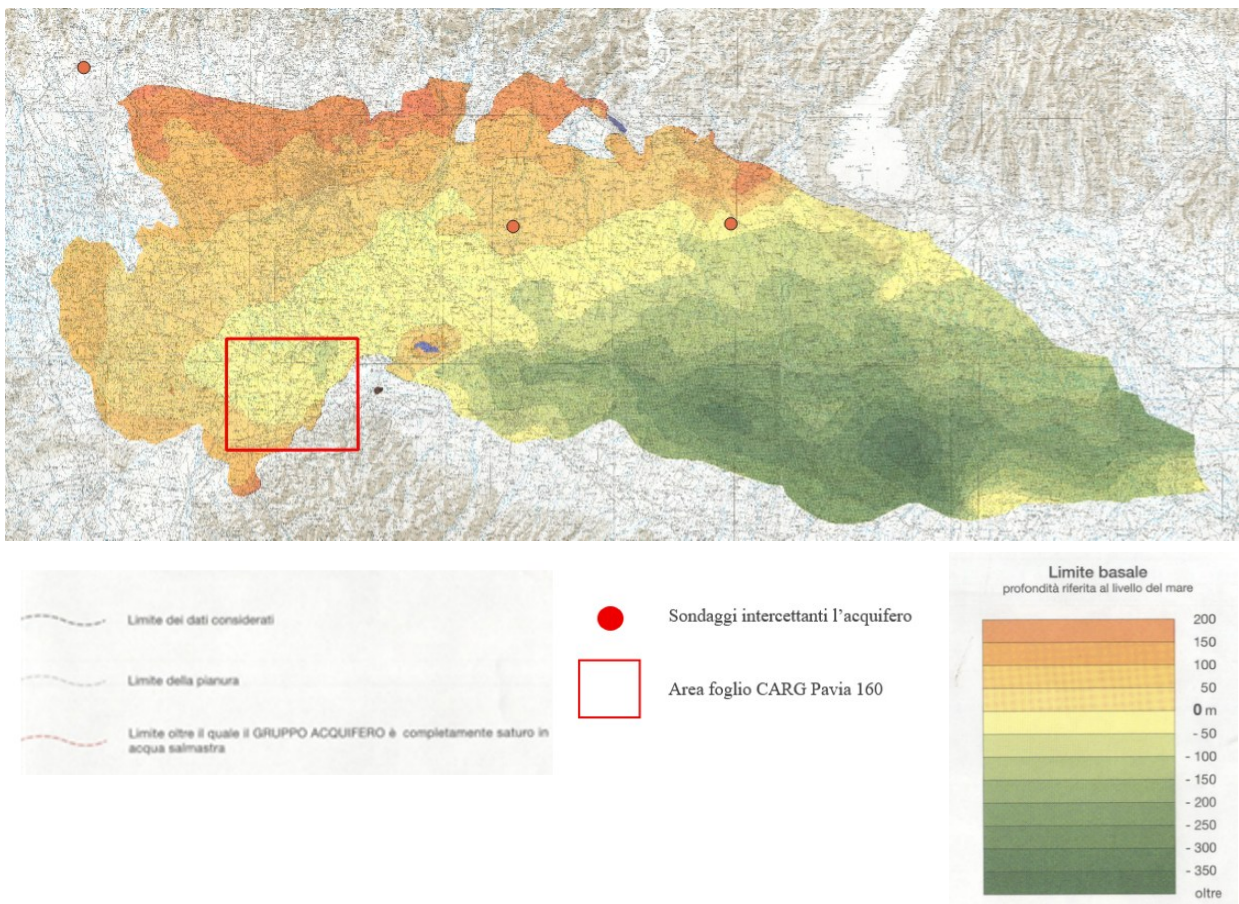


Figura 2.10: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero. Immagine modificata da "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia".

Le isolinee rappresentano la profondità della superficie basale di ciascun Gruppo. Le tavole tematiche mostrano:

- lo spessore cumulativo saturo,
- le superfici di separazione tra i gruppi,
- la base degli acquiferi, corrispondente a livelli con acque salmastre o argillose.

La linea rossa presente nelle mappe dei Gruppi Acquiferi B, C e D rappresenta un limite deposizionale, separando aree dolci da aree con acque salmastre.

Per quanto riguarda il bacino idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola dal punto di vista idrostratigrafico, la Regione Emilia-Romagna ha distinto tre principali Gruppi Acquiferi (A, B e C), che presentano caratteristiche litologiche e deposizionali differenti e riflettono contesti genetici variabili, dai sistemi alluvionali ai depositi marino-marginali. Tali unità risultano strettamente connesse all'evoluzione morfosedimentaria tardo-cenozoica del margine appenninico padano e costituiscono i principali Gruppi Acquiferi affioranti, a loro volta sono articolati in tredici Unità Idrostratigrafiche di Substrato (UIS) di ordine inferiore, denominate anche Complessi Acquiferi.

La classificazione si fonda principalmente su due criteri:

- il volume complessivo di acquiferi contenuti all'interno di ciascuna Unità;
- lo spessore, la continuità e l'estensione areale delle unità a carattere acquifero o impermeabile.

A livello di base, è stato inoltre definito un Acquitarso Basale, costituito da un insieme di unità litostratigrafiche a bassa permeabilità che, estendendosi nel sottosuolo della pianura fino al margine appenninico, rappresenta il limite inferiore della circolazione idrica sotterranea considerata in questo ambito. Esso non corrisponde a una singola unità deposizionale, ma è piuttosto un complesso di formazioni a carattere impermeabile, tra cui la Formazione plio-pleistocenica delle Argille Azzurre e i depositi argillosi del Pliocene intrappenninico.

Le indagini svolte mediante l'integrazione di dati sismici (oltre 30.000 km di linee interpretate) e di pozzo hanno consentito di definire i limiti geometrici e lo spessore totale dei Gruppi Acquiferi A, B e C. Le mappe elaborate (isobate e isopache) hanno permesso di rappresentare:

- la profondità della superficie basale dei singoli Gruppi Acquiferi, riferita al livello del mare;
- lo spessore saturo complessivo con acque dolci, distinguendolo da quello permeato da acque salmastre o saline;
- i limiti laterali delle unità acquifere, spesso coincidenti con superfici di sequenza deposizionale o di litofacies.

La base dei Gruppi Acquiferi affiora localmente lungo il margine appenninico, mentre verso la pianura centrale essa è stata ricostruita attraverso dati di pozzo e di sismica a riflessione. Tali ricostruzioni costituiscono la base per la stima del volume complessivo degli acquiferi della Pianura Emiliano-Romagnola e rappresentano un riferimento fondamentale per gli studi di gestione e tutela delle risorse idriche sotterranee.

| PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE | | | | ETA' (milioni di anni) | SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni) | UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--|------------------------------------|---|--|-------------------------------------|------------------------|--|---|------------------------------------|------|--------------------------|----|
| AFFIORANTI | | SEPOLTE | | | | GRUPPO ACQUIFERO | COMPLESSO ACQUIFERO | | | | | | |
| QUATERNARIO CONTINENTALE | TERRE ROSSE, DILUVIUMI, ALLUVIUMI, TERRAZZI E ALLUVIONI | FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE | UNITA' DI CA DI SOLA | ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI | -0.12 | PLEISTOCENE SUPERIORE - CIOCCENE | A | A1 | | | | | |
| | | | | | | | | A2 | | | | | |
| | DILUVIUMI p.p. | FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE | UNITA' DI VILLA DEL BOSCO | | SUPERSTESMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE | -0.35-0.45 | | PLEISTOCENE MEDIO | B | B1 | | | |
| | | | | | | | | | | B2 | | | |
| QUATERNARIO MARINO | MILAZZANO SABBIE di CASTO VETRO p.p. SABBIE GALLE di IMOLA p.p. | MILAZZANO e CA' ARRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GALLE di IMOLA p.p. | UNITA' DI CA DI SOLA | SUPERSTESMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE | -0.65 | 0.89 | C | C1 | | | | | |
| | | | | | | | | C2 | | | | | |
| | | | | | | | | CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERIDICO FORMAZIONE di TERZA di SOLE p.p. | SUPERSTESMA DEL QUATERNARIO MARINO | SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2 | -0.8 | PLEISTOCENE INFERIORE | C3 |
| | | | | | | | | | | | | | C4 |
| | | | | | | | | CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTEL VARGIATO p.p. | SUPERSTESMA DEL QUATERNARIO MARINO 1 | SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1 | -1.0 | 1.72 | C5 |
| P2 | FORMAZIONE di CASTEL VARGIATO p.p. | SUPERSTESMA DEL QUATERNARIO MARINO 1 | SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1 | FLUCCINE MEDIO SUPERIORE | -2.2 | 1.72 | C | C5 | | | | | |
| | | | | | | | | -3.3-3.6 | 3.55 | FLUCCINE INFERIORE TUSCANE | | | |
| | | | | -3.9 | 3.55 | FLUCCINE INFERIORE TUSCANE | ACQUIFERO BASELE | | | | | | |

Figura 2.11: Inquadramento Idrostratigrafico della pianura Emilio -Romagnola. Immagine presa da " Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia- Romagna".

Il Gruppo Acquifero A, è costituito da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e di conoidi alluvionali, organizzati in corpi lenticolari con spessori molto variabili, da pochi decimetri a diversi metri. I depositi si presentano generalmente eterometrici ed eterogenei, con tessitura clast-supported e matrice sabbiosa. Essi risultano talora disorganizzati o embriciati, scarsamente cementati e con livelli sabbioso-limosi al tetto. La base è spesso caratterizzata da superfici erosive e dalla presenza di paleosuoli. Lo spessore totale in affioramento è molto variabile, da pochi metri a decine di metri, e i contatti con le unità sottostanti sono tipicamente erosivi e in discordanza angolare. Dal punto di vista cronostratigrafico, l'unità è riferibile al Pleistocene medio-Olocene.

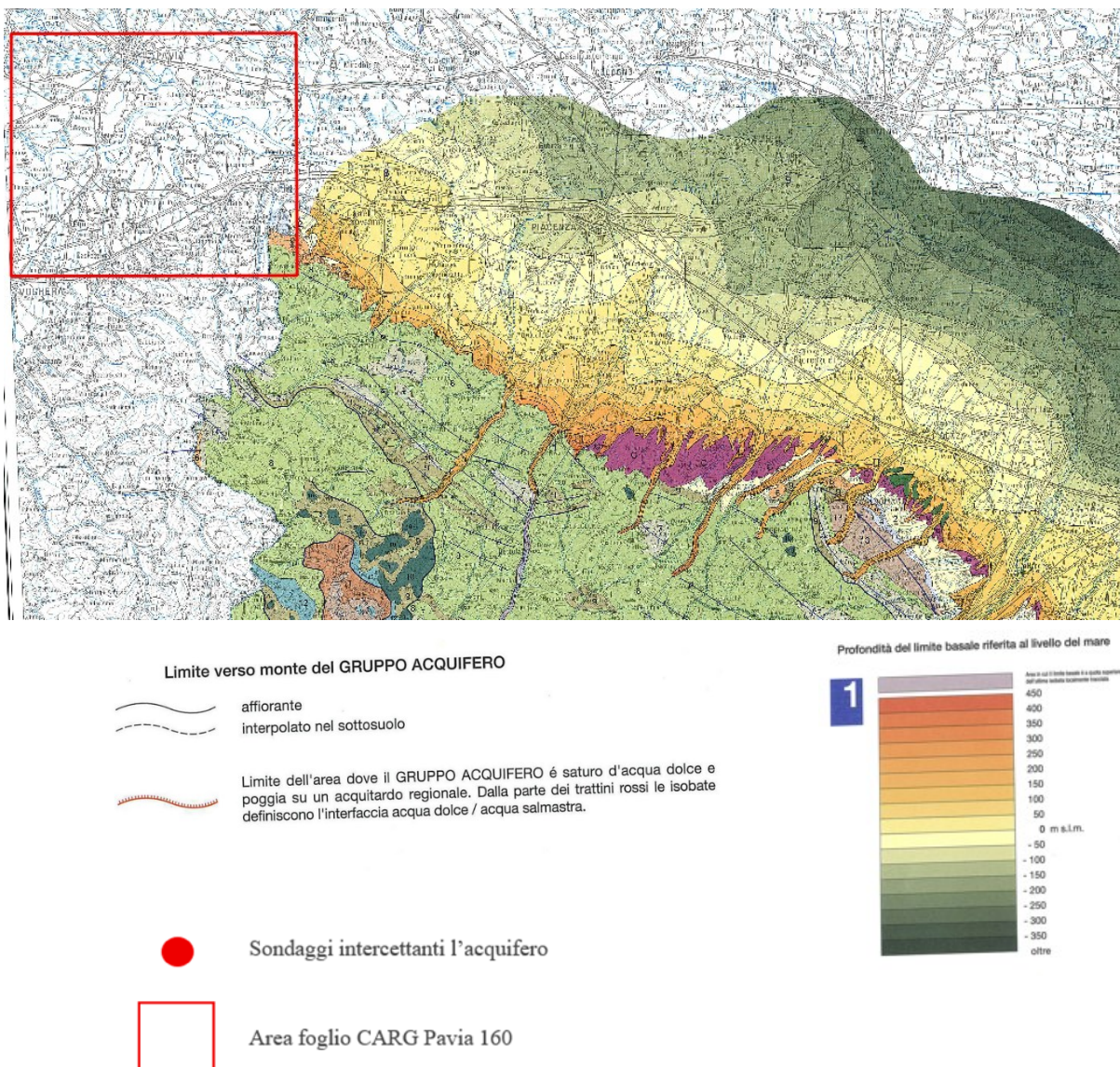


Figura 2.12: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero A. Immagine presa da “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia- Romagna”.

Il Gruppo Acquifero B, è formato prevalentemente da argille limose di pianura alluvionale, nelle quali si rinvencono localmente intercalazioni discontinue di ghiaie, conglomerati eterometrici ed eterogenei e livelli sabbiosi. Anche in questo caso si osservano paleosuoli. Lo spessore in affioramento varia da pochi metri a diverse decine di metri, mentre i contatti con le unità sottostanti sono di tipo erosivo e si presentano frequentemente in discordanza angolare lungo il margine appenninico padano. L'unità, attribuibile al Pleistocene medio.

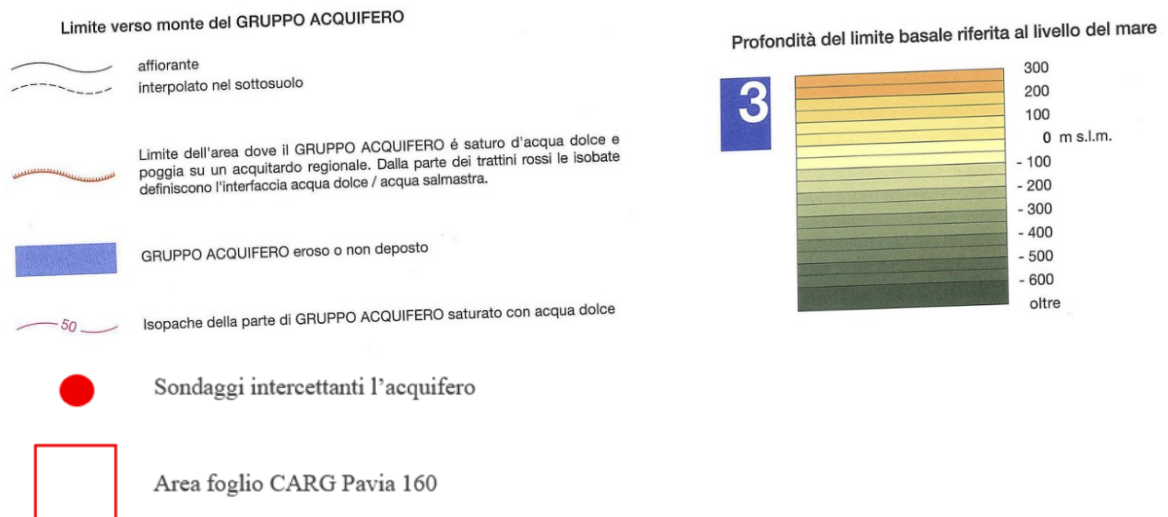
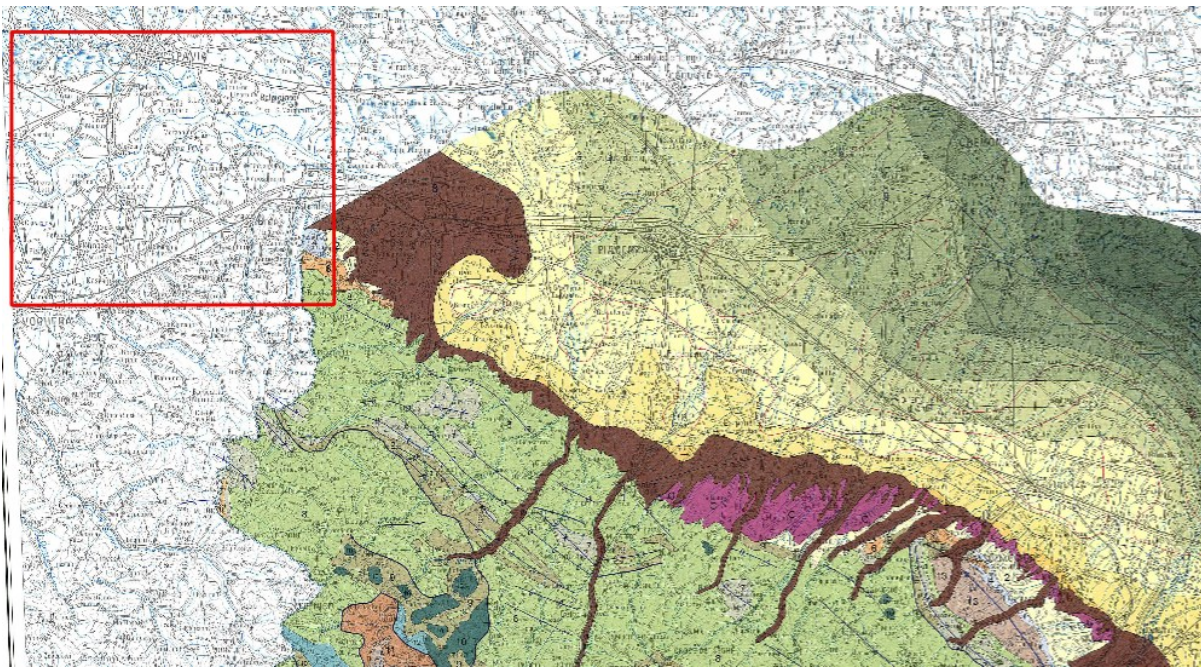


Figura 2.13: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero B. Immagine presa da “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia- Romagna”.

Il Gruppo Acquifero C, è costituito da depositi di delta-conoidi e marino-marginali, caratterizzati da prevalenti sabbie e areniti poco cementate o con cementazione disomogenea. Questi sedimenti risultano generalmente ben selezionati, a granulometria medio-fine, talora grossolana, e mostrano strutture sedimentarie variabili: dalla stratificazione con laminazione incrociata a corpi massivi, spesso arricchiti in bioclasti. Sono frequenti intercalazioni di conglomerati eterogenei e peliti, con spessori da sottili a molto consistenti. Lo spessore complessivo raggiunge raramente i 100 metri. I contatti con le unità sottostanti sono generalmente netti, talvolta erosivi e, in alcuni casi, in discordanza angolare. Questa unità, databile al Pliocene inferiore – Pleistocene medio.

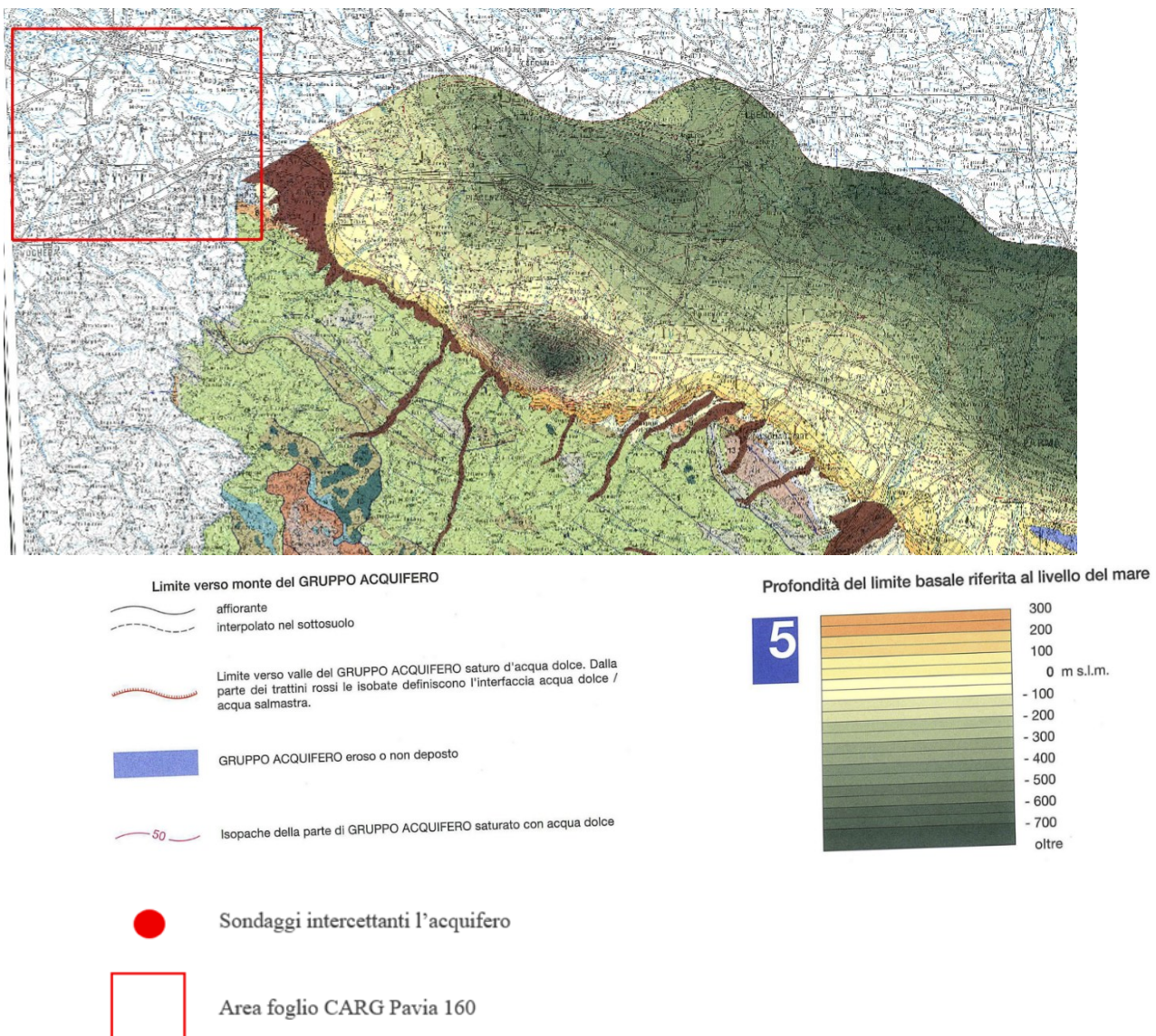


Figura 2.14: limiti geometrici e spessore totale del Gruppo Acquifero C. Immagine presa da “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia- Romagna”.

2.3 – Origine dei sedimenti Fluviali del primo sottosuolo Padano

Il Foglio CARG Pavia 160 rappresenta un settore della Pianura Padana centro-occidentale, collocato in corrispondenza della zona di raccordo tra l'apporto sedimentario alpino (Po, Ticino) e quello appenninico (Staffora e altri corsi minori). Questa porzione di pianura costituisce un archivio sedimentario di primaria importanza per comprendere i processi che hanno determinato l'origine, la distribuzione e la composizione dei sedimenti fluviali del primo sottosuolo padano, ossia la fascia di depositi più superficiali e recente che caratterizza l'assetto geologico-idrostratigrafico dell'area.

Le sabbie dei principali fiumi Padani hanno composizione diverse; in particolare, le maggiori differenze composizionali si osservano tra quelle del fiume Po, Ticino e dei vari affluenti Appenninici quali Scrivia, Staffora, Tidone, Trebbia e Curone.

L'analisi dal punto di vista composizionale di queste sabbie attuali è utile come confronto per correlare la provenienza delle sabbie fluviali Quaternarie con la geologia delle aree sorgente.

Il lavoro di campionamento e di analisi tessiturale e/o petrografico è stato svolto in passato da diverse tesi inedite che mi sono state fornite dal Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Pavia (Massimiliano Cadeddu, 2007; Bottacin Francesco Maria, 2007; Nicola Raimondi Cominesi, 2006; Stefano Fornaroli, 1998; Gianluca Gesso, 1998; Gabriele Ghia, 1998;), l'argomento è stato trattato in Di Giulio et al., 2003.

Di seguito vengono mostrati i campioni georeferenziati attraverso GIS (Fig. 2.15) considerati per questo lavoro e allegati alla tesi, in tabelle Excel, l'elenco di questi con le principali caratteristiche tessiturali (Media e T.I) e composizionali QFL. :

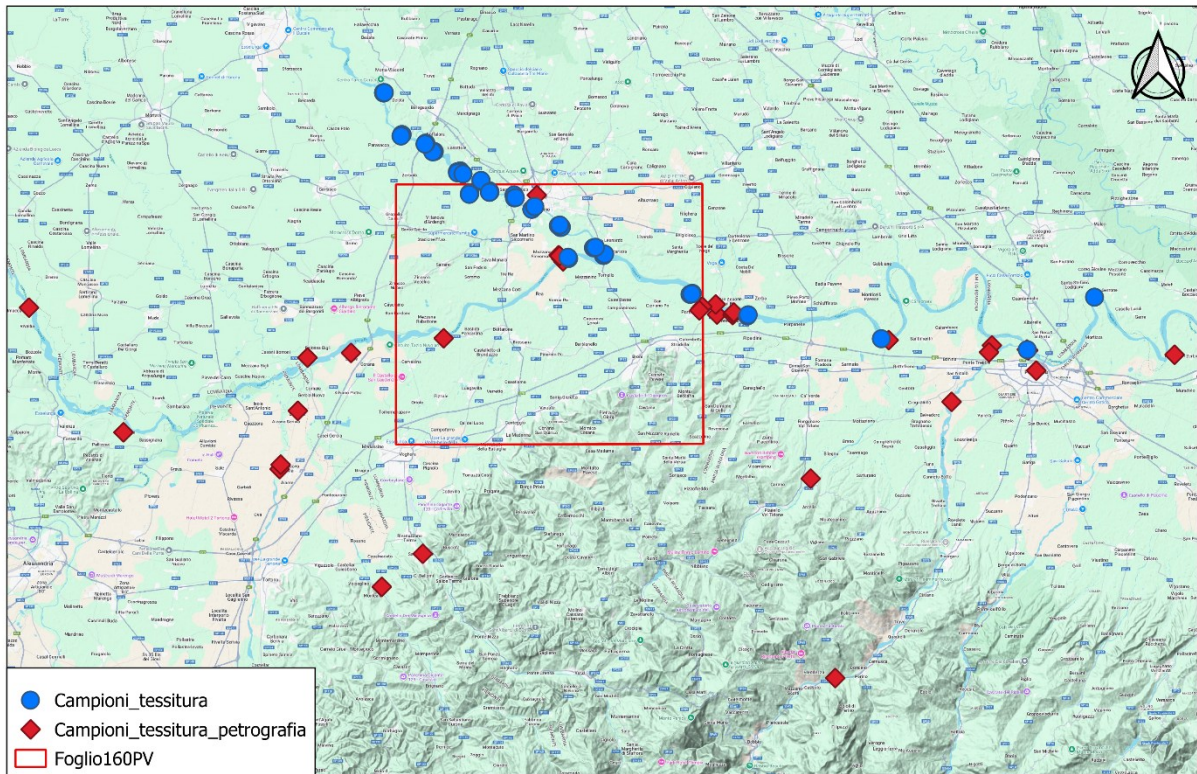


Figure 2.15: Area di studio con campioni considerati per lo studio.

Vengono riportati qui di seguito i diagrammi ternari Quarzo, Feldspati, Litici (QFL), della frazione Litica (Lm, Lv, Ls+c) (Fig. 2.16 e 2.17) e i grafici del rapporto diametro medio (Dm) – Trask Index (T.I.) (Fig. 2.18):

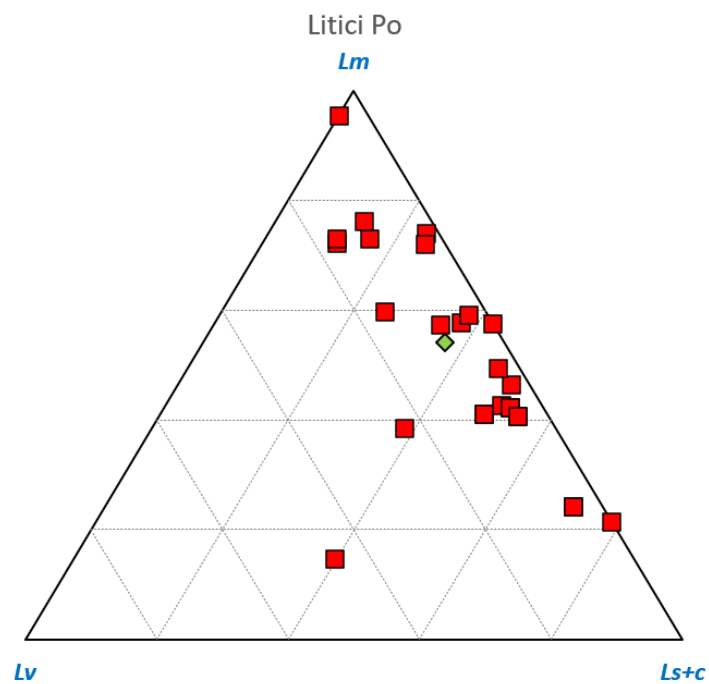
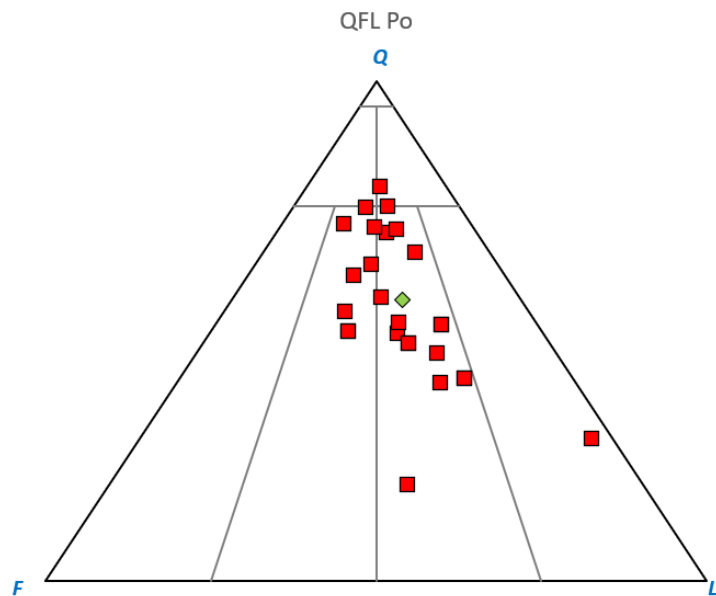


Figure 2.16: Diagrammi ternari QFL e Lm, Lv, Ls+c relativo alla composizione dei campioni Po, in verde la media delle relative composizioni.

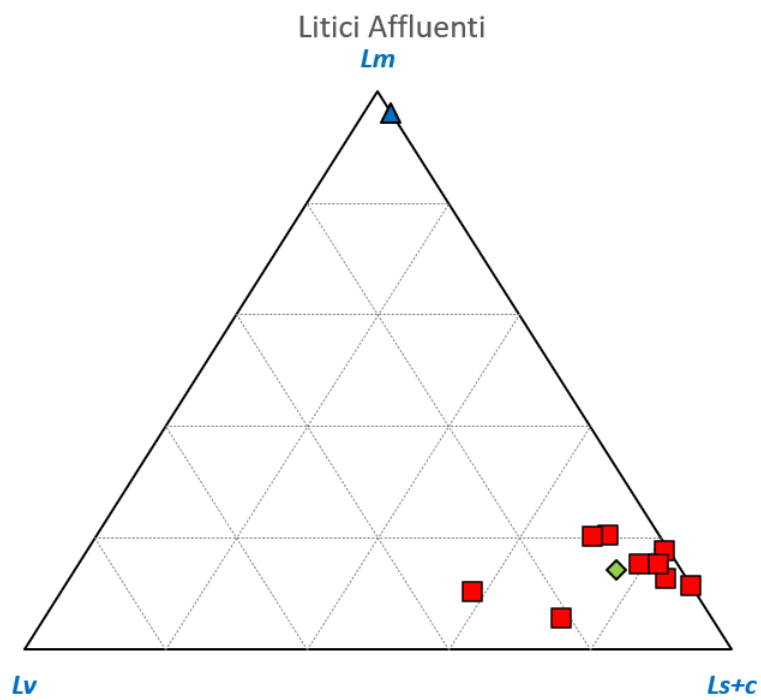
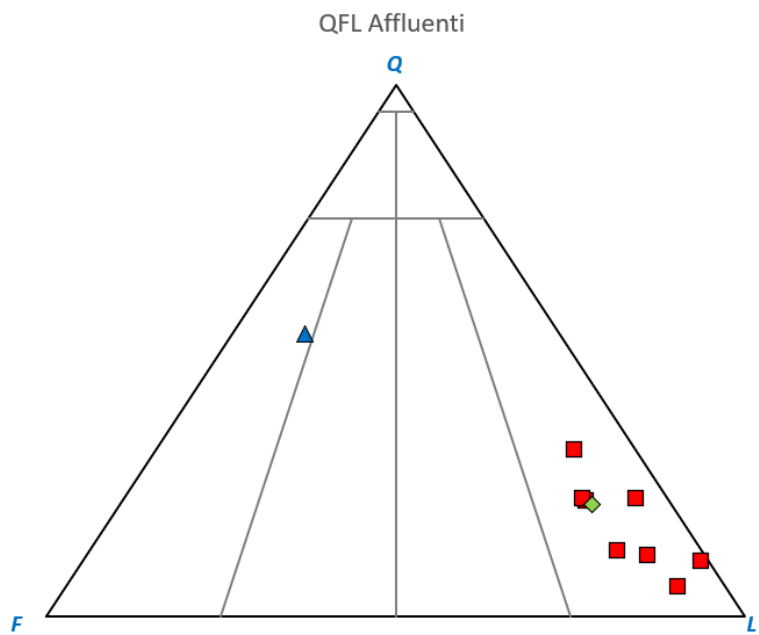


Figure 2.17: Diagrammi ternari QFL e Lm, Lv, Ls+c relativo alla composizione dei campioni degli Affluenti Appenninici in rosso, in blu il Ticino e in verde la media delle relative composizioni.

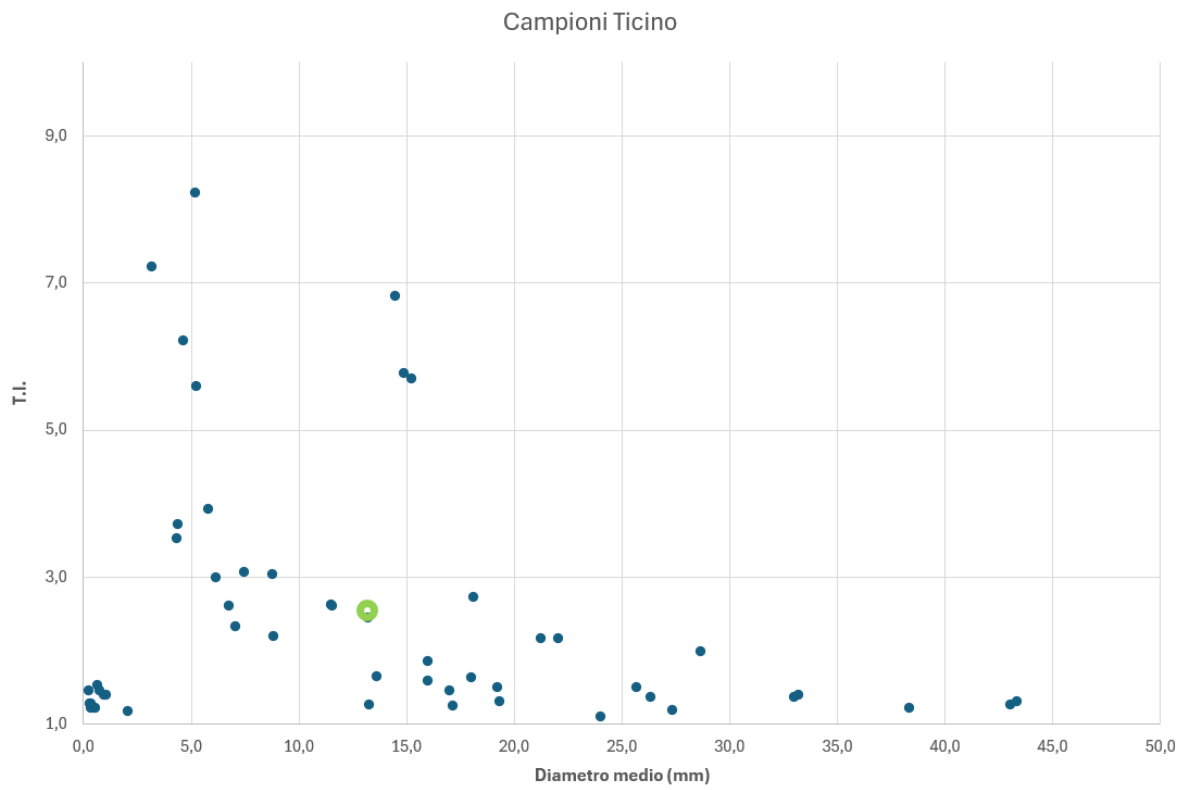
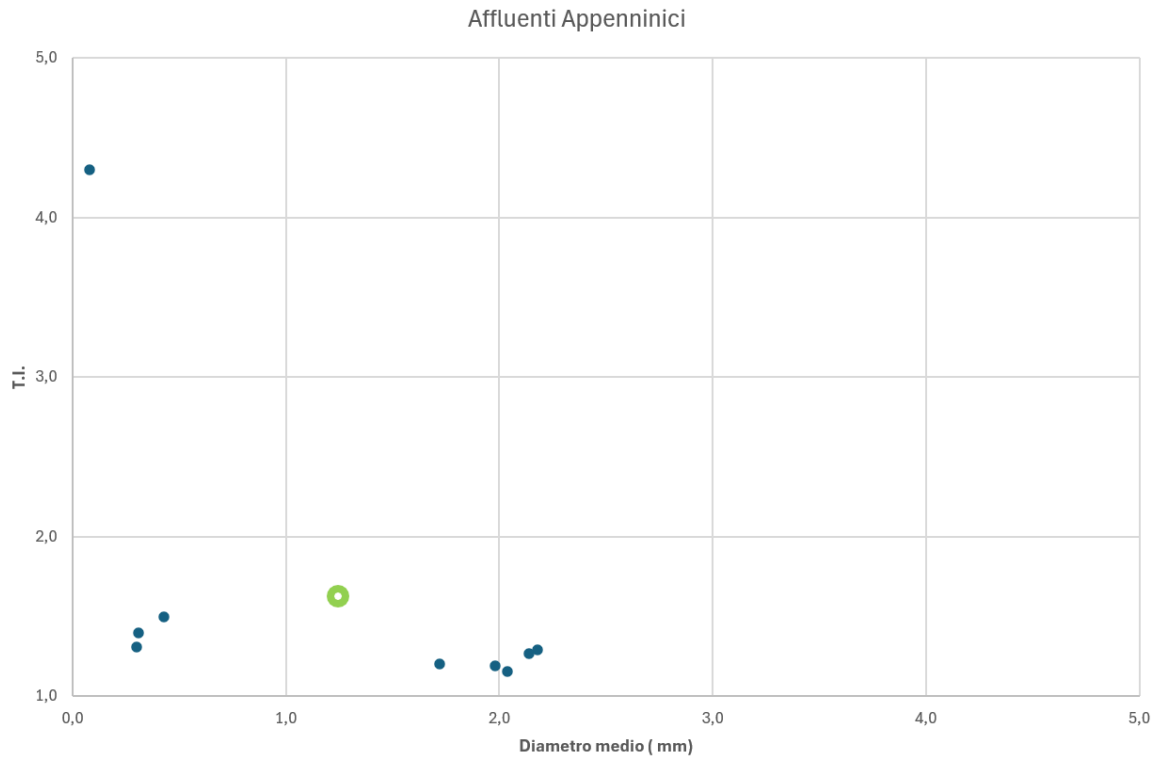


Figure 2.17 : Grafici che mettono in relazione i parametri tessiturali D_m (in ascissa) e $T.I.$ (in ordinate) dei diversi campioni ed in verde la media dei vari campioni.

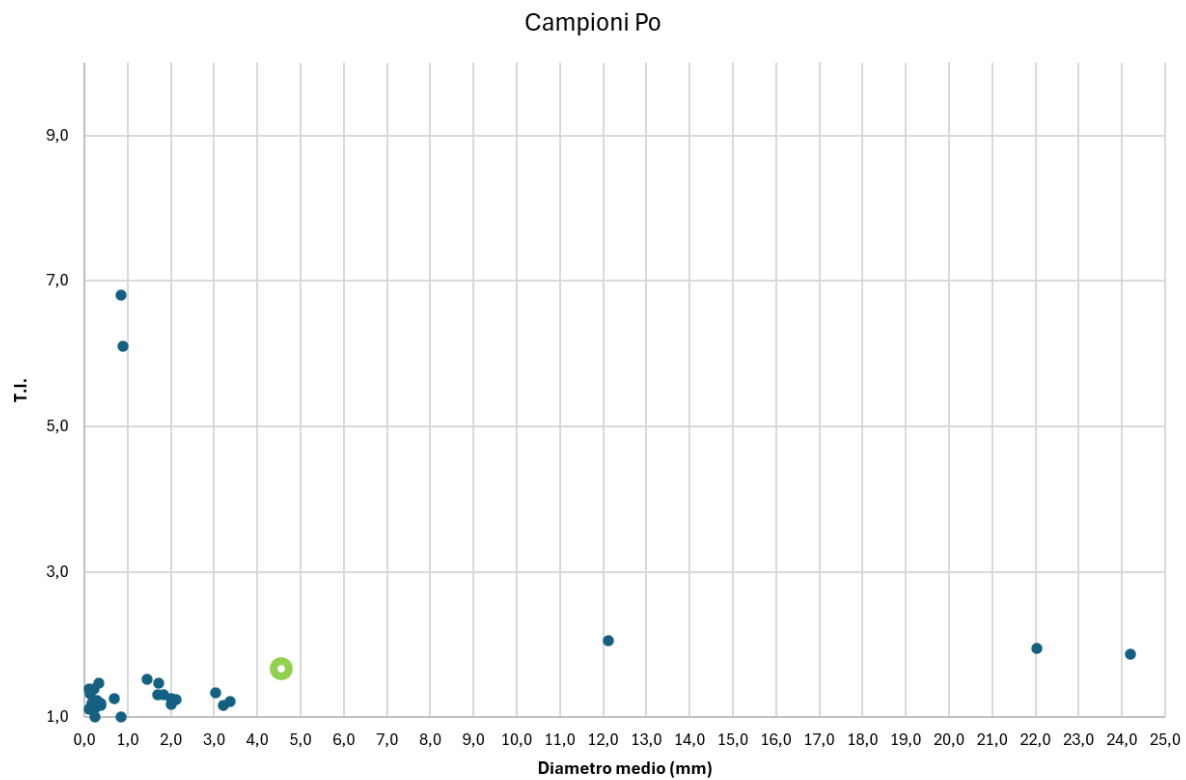


Figure 2.18 : Grafici che mettono in relazione i parametri tessiturali D_m (in ascissa) e $T.I.$ (in ordinate) ed in verde la media dei diversi campioni.

Di seguito vengono mostrate alcune foto delle sezioni dei campioni considerati (da Fig. 2.19 a 2.28)

:

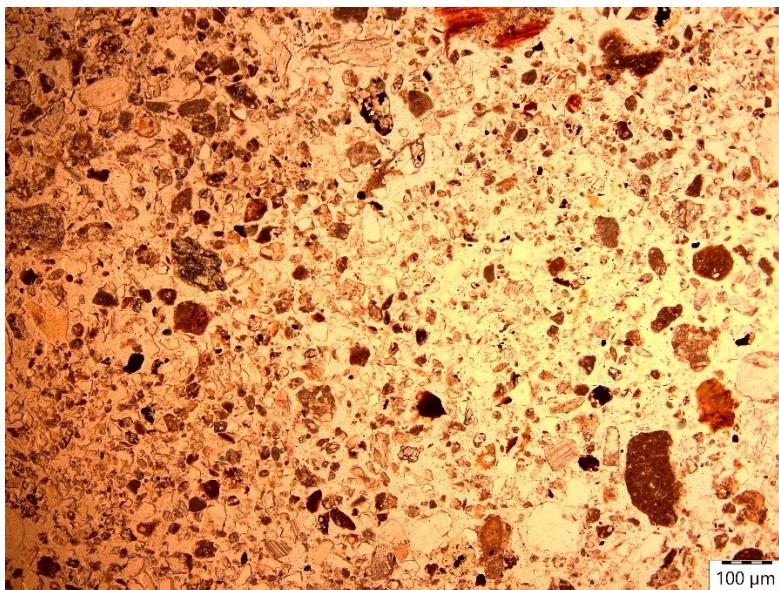


Figure 2.19 : fotografia sezione sottile di sabbie del fiume Curone, rappresentativa della composizione degli affluenti appenninici del Po; campione CUtot al 4X a nicol paralleli.



Figure 2.20 : fotografia sezione sottile di sabbie del fiume Curone, rappresentativa della composizione degli affluenti appenninici del Po; campione CUtot al 4X a nicol incrociati.

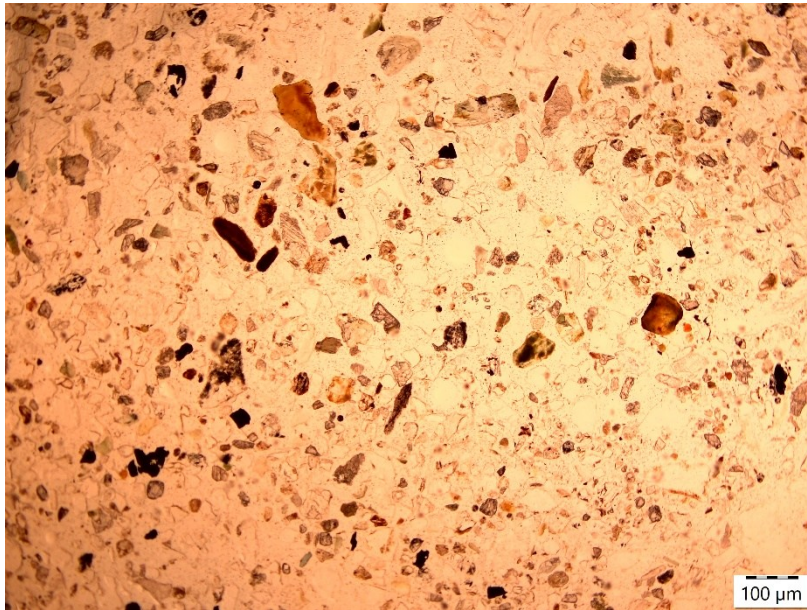


Figure 2.21 : fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Po; campione Po4Btot al 4X a nicol paralleli.

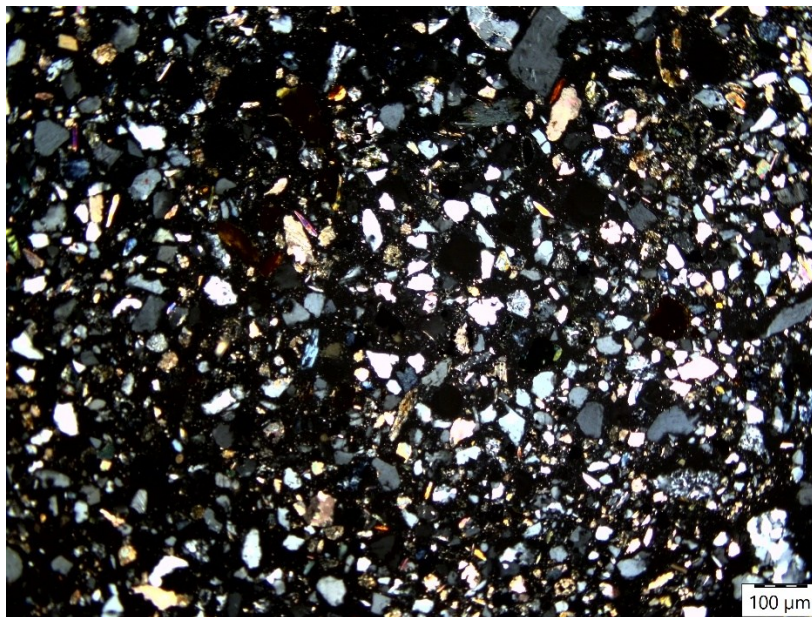


Figure 2.22 : fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Po; campione Po4Btot al 4X a nicol incrociati.

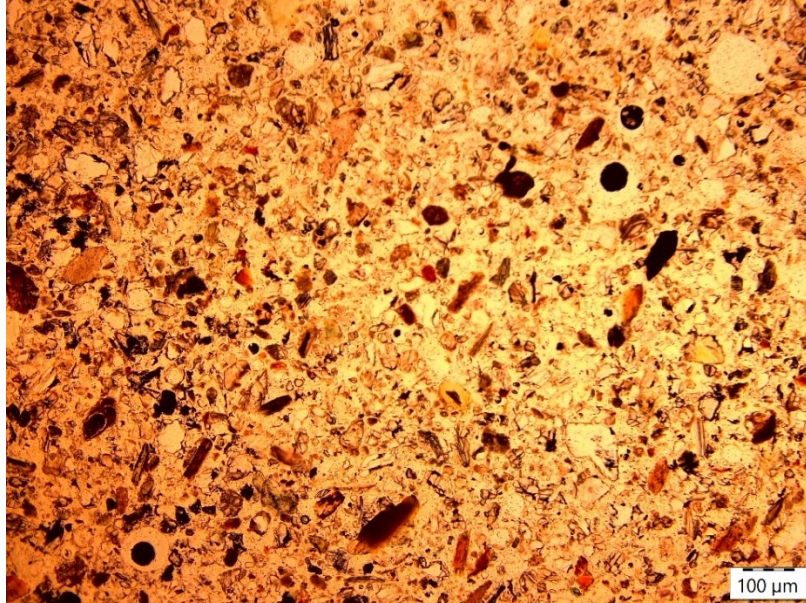


Figure 2.23 : fotografia sezione Po7tot al 4X a nicol paralleli.

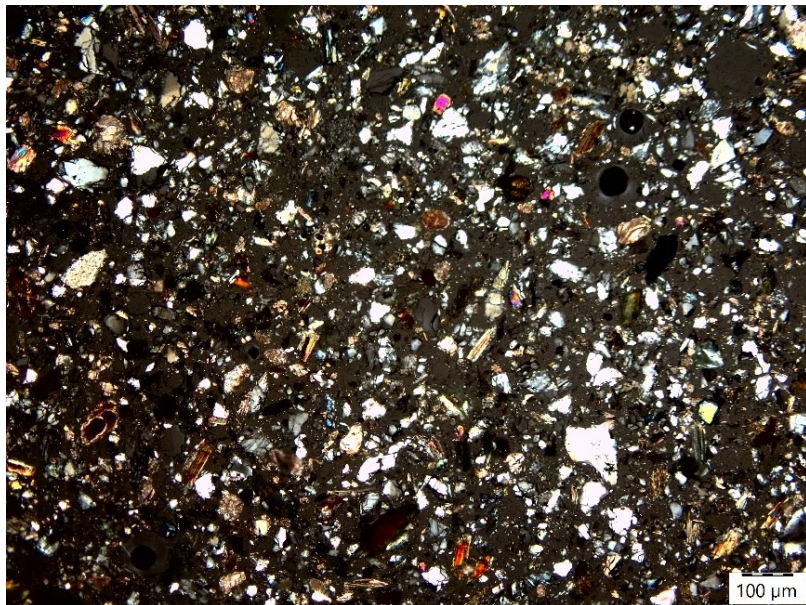


Figure 2.24 : fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Po; campione Po7tot al 4X a nicol incrociati.

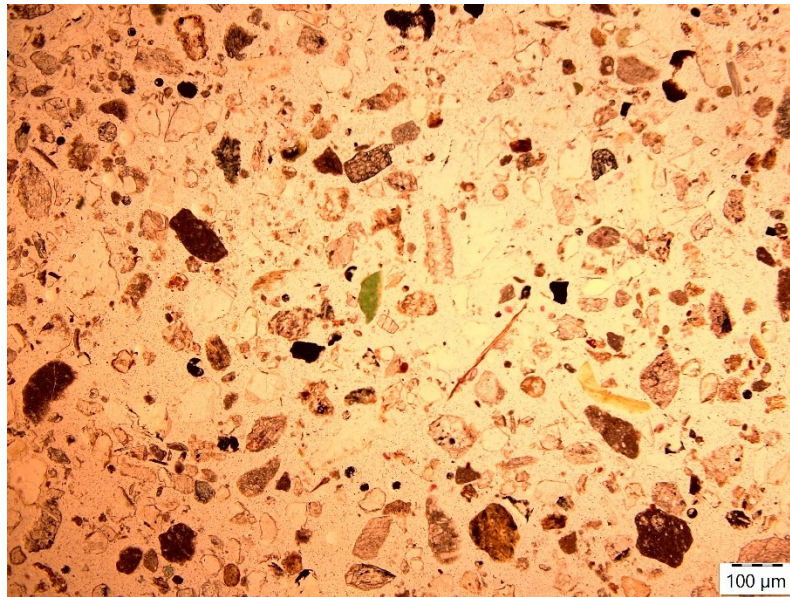


Figure 2.25 : fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Scrivia; campione SCtot al 4X a nicol paralleli.

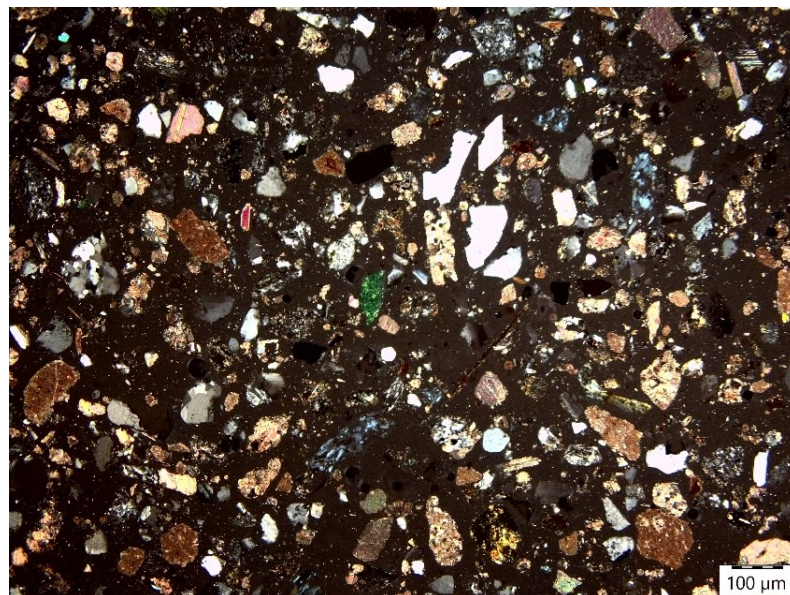


Figure 1.26 : fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Scrivia; campione SCtot al 4X a nicol incrociati.

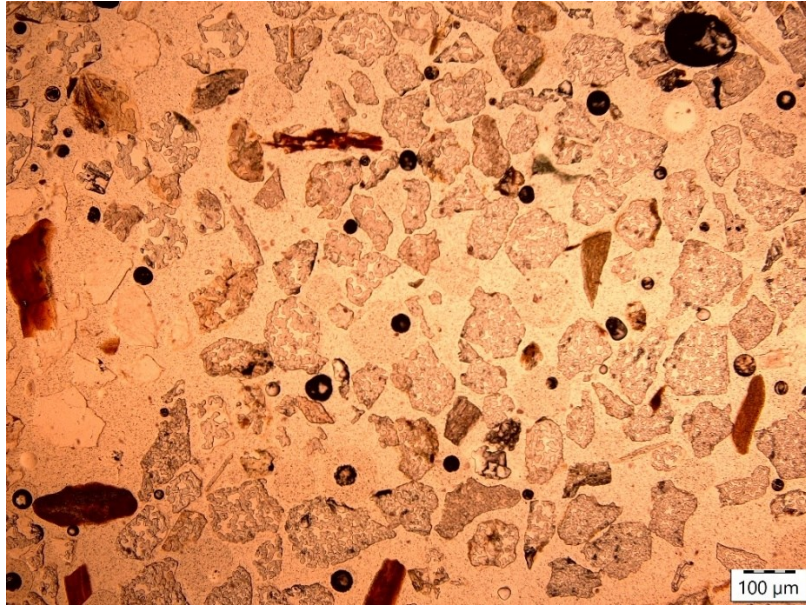


Figure 2.27: fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Ticino; campione TICtot al 4X a nicol paralleli.

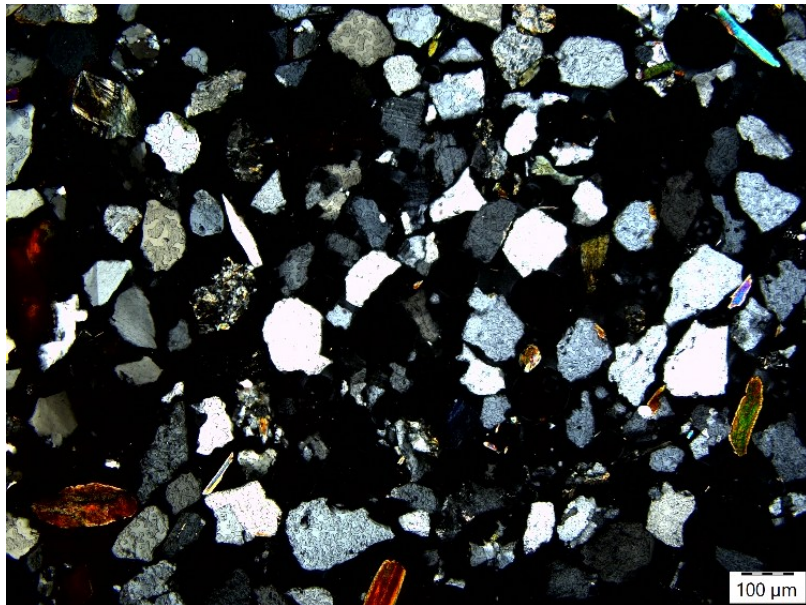


Figure 2.28 : fotografia sezione di sabbie attuali del fiume Ticino; campione TICtot al 4X a nicol incrociati.

Grazie a questo lavoro è stato possibile dimostrare come i campioni di sabbia provenienti dai diversi fiumi (Po, Ticino e affluenti appenninici) presentino differenze significative sia dal punto di vista compositivo che tessiturale.

Di seguito riportate le medie QFL e della frazione Litica dei diversi fiumi (Fig. 2.29) che dimostrano le differenze composizionali.

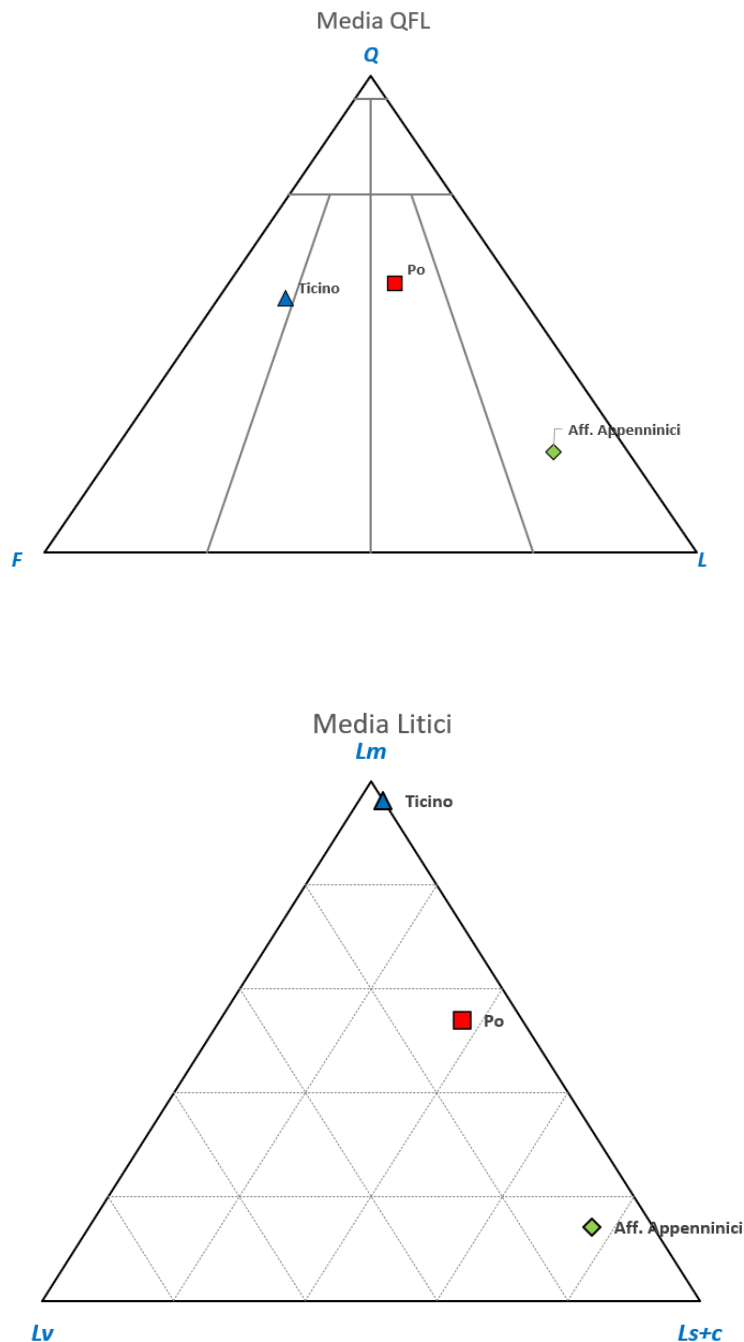


Figure 2.29 : Diagrammi ternari delle medie QFL e Lm, Lv, Ls+c relativo alla composizione dei campioni Po, Ticino e Affluenti Appenninici.

3 – MATERIALI E METODI

3.1 – Nuovo sondaggio a carotaggio continuo eseguito nell’ambito del progetto CARG per la realizzazione del foglio n. 160 “Pavia” presso il Comune di Broni (PV)

Le informazioni presentate in questo capitolo sono tratte dal report finale del sondaggio a carotaggio redatto dal Dott. Geol. Michele Carbone.

Nel contesto del progetto CARG Pavia 160, nei mesi di settembre e ottobre 2025 è stato eseguito nel territorio comunale di Broni (PV) un sondaggio profondo a carotaggio continuo verticale, con predisposizione per indagini geognostiche in foro. L’intervento è stato realizzato dalla ditta Georicerche Srl, con sede amministrativa in Via Veneto n. 40, Due Carrare (PD), per conto dell’Università di Pavia, con l’obiettivo di raggiungere una profondità di circa 150 metri dal piano campagna.

- Le attività sono state eseguite secondo le specifiche fornite dalla D.LL./Progettista ed hanno riguardato:

- l’esecuzione di n.1 sondaggio profondo a carotaggio continuo spinto fino ad una profondità di 150 metri dal p.c.;

l’installazione di n.1 tubo interamente cieco in PVC \varnothing 3” (76,2 mm) propedeutico per l’esecuzione di successive indagini geofisiche Down-Hole in foro.

L’ubicazione del sondaggio è raffigurata in immagine satellitare (Figura 3.1) e le sue coordinate cartografiche, espresse nel sistema del modello geoide: WGS84 – UTM32N, sono esplicitate in Tabella 3.1.



Figura 3.1: Ortofoto dell'ubicazione del sondaggio CARG Pavia 160.

| Sondaggio | Latitudine (N) | Longitudine (E) | Quota (m s.l.m.) | Profondità (m da p.c.) |
|--------------|----------------|-----------------|------------------|------------------------|
| CARG PAVIA 1 | 45° 3'43.33" | 9°12'28.86" | 66,00 | 150,00 |

Tabella 3.1: Tabella riportante le caratteristiche del sondaggio

La perforazione è stata condotta mediante il metodo del carotaggio continuo, tecnica che consente il prelievo di un campione (carota) pressoché inalterato in maniera continua lungo tutto il tratto perforato (150 m.d.p.c.), permettendo una ricostruzione dettagliata della successione litostratigrafica incontrata.

L'indagine è stata eseguita utilizzando una perforatrice idraulica Comacchio modello MC-T10 (Figura 3.2) montata su carro gommato, scelta perché trattasi di un'apparecchiatura versatile e idonea all'esecuzione di sondaggi geognostici anche in condizioni complesse.

L'unità di perforazione è dotata di:

- testa di rotazione ad avanzamento modulabile
- centralina idraulica di regolazione della coppia e della spinta
- sistema di circolazione del fluido di perforazione (acqua o fango)
- argano per l'estrazione del carotiere.

Per la perforazione è stato adottato un carotiere semplice con diametro di 101 mm, equipaggiato con corona in widia, particolarmente efficace nei terreni sciolti, mediamente consistenti o lievemente cementati.

L'avanzamento a rotazione continua e con pressione controllata garantisce una progressiva penetrazione nel substrato e un recupero più integro del materiale.

Per favorire la penetrazione e l'evacuazione dei detriti, è stata utilizzata la circolazione di acqua immessa all'interno delle aste e fuoriuscita in testa foro, con funzione oltre che di raffreddamento della corona anche stabilizzazione delle pareti e asportazione del detrito di perforazione.

A intervalli regolari il carotiere è stato estratto tramite argano e aperto per il recupero del materiale prelevato.

Le carote estratte, dalla profondità di 5m a 150m, sono state posizionate in cassette catalogatrici (Figura 3.3), etichettate con profondità iniziale e finale, divise circa a metà in maniera da evidenziare possibili stratificazioni (Figura 3.4) e successivamente descritte.

Durante la perforazione è stata rilevata la presenza della falda ad una profondità di 9,50 metri dal piano campagna.

Alla fine del sondaggio il geologo incaricato ha potuto ricostruire una prima stratigrafia (Figure 3.5 e 3.6) attraversata durante la perforazione e al termine delle operazioni di carotaggio il foro di sondaggio è stato attrezzato con un tubo in PVC interamente cieco del diametro esterno di 3", propedeutico per consentire le successive indagini geofisiche in foro.

L'intercapedine presente tra tubo/foro è stata cementata dal basso verso l'alto mediante inserimento di tubo di iniezione.

A protezione della testa del tubo cieco è stato installato un pozzetto in cls 30x30 cm munito di chiusino in ghisa carrabile.

Presso il dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia è stata svolta poi una ricostruzione stratigrafica dettagliata del tratto di sondaggio 5 – 20 metri dal piano campagna, per presenza di litologia sabbiosa- ghiaiosa.



Figura 3.2: Foto perforatrice idraulica Comacchio modello MC-T10 con l'intero cantiere del sondaggio.



Figura 3.3: Esempio di carota posta in cassette catalogatrici.



Figure 3.4: Divisione delle carote per mostrare stratificazioni.

STRATIGRAFIA

| m.s.lm | R v | o mm | metri | LITOLOGIA | DESCRIZIONE | metri batt. | Prel. % 0 --- 100 | Cass. | A | Pz |
|--------|--------|---------|-------|-----------|--|----------------|----------------------|-------|---|----|
| 65 | | | 1 | | Terreno vegetale di coltivo con tracce di radici. Colore marrone scuro. | 1 | | | | |
| 64 | | | 2 | | Argilla limosa beige/taupe con striature grige, consistente | 2 | | | | |
| 63 | | | 3 | | | 3 | | | | |
| 62 | | | 4 | | | 4 | | | | |
| 61 | | | 5 | | Argilla grigia con striature beige/ocra, consistente | 5 | | | | |
| 60 | | | 6 | | | 6 | | | | |
| 59 | | | 7 | | Limo sabbioso, consistente, colore grigio bluastro | 7 | | | | |
| 58 | | | 8 | | | 8 | | | | |
| 57 | | | 9 | | | 9 | | | | |
| 56 | | | 10 | | Sabbia media monogranulare, sciolta, colore grigia taupe. | 10 | | | | |
| 55 | | | 11 | | | 11 | | | | |
| 54 | | | 12 | | Sabbia, ghiaiosa, con ciottoli arrotondati centimetrici. Colore grigio scuro. | 12 | | | | |
| 53 | | | 13 | | | 13 | | | | |
| 52 | | | 14 | | | 14 | | | | |
| 51 | | | 15 | | | 15 | | | | |
| 50 | | | 16 | | Ghiaia e ciottoli arrotondati pluricentimetrici. Colore grigio scuro, bluastro. | 16 | | | | |
| 49 | | | 17 | | | 17 | | | | |
| 48 | | | 18 | | Limi sabbiosi, consistente, di colore grigio marroncino. | 18 | | | | |
| 47 | | | 19 | | | 19 | | | | |
| 46 | | | 20 | | Limi argillosi, molto consistente, di colore grigio | 20 | | | | |
| 45 | | | 21 | | | 21 | | | | |
| 44 | | | 22 | | | 22 | | | | |
| 43 | | | 23 | | | 23 | | | | |
| 42 | | | 24 | | | 24 | | | | |
| 41 | | | 25 | | | 25 | | | | |
| 40 | | | 26 | | | 26 | | | | |
| 39 | | | 27 | | | 27 | | | | |
| 38 | | | 28 | | | 28 | | | | |
| 37 | | | 29 | | | 29 | | | | |
| 36 | | | 30 | | | 30 | | | | |
| 35 | | | 31 | | | 31 | | | | |
| 34 | | | 32 | | | 32 | | | | |
| 33 | | | 33 | | | 33 | | | | |
| 32 | | | 34 | | | 34 | | | | |
| 31 | | | 35 | | | 35 | | | | |
| 30 | | | 36 | | | 36 | | | | |
| 29 | | | 37 | | | 37 | | | | |
| 28 | | | 38 | | | 38 | | | | |
| 27 | | | 39 | | | 39 | | | | |
| 26 | | | 40 | | | 40 | | | | |
| 25 | | | 41 | | | 41 | | | | |
| 24 | | | 42 | | | 42 | | | | |
| 23 | | | 43 | | | 43 | | | | |
| 22 | | | 44 | | | 44 | | | | |
| 21 | | | 45 | | | 45 | | | | |
| 20 | | | 46 | | | 46 | | | | |
| 19 | | | 47 | | | 47 | | | | |
| 18 | | | 48 | | | 48 | | | | |
| 17 | | | 49 | | | 49 | | | | |
| 16 | | | 50 | | | 50 | | | | |
| 15 | | | 51 | | Limi debolmente sabbiosi, consistente, di colore grigio | 51 | | | | |
| 14 | | | 52 | | | 52 | | | | |
| 13 | | | 53 | | Limi argillosi, molto consistente, di colore grigio | 53 | | | | |
| 12 | | | 54 | | | 54 | | | | |
| 11 | | | 55 | | | 55 | | | | |
| 10 | | | 56 | | | 56 | | | | |
| 9 | | | 57 | | | 57 | | | | |
| 8 | | | 58 | | | 58 | | | | |
| 7 | | | 59 | | | 59 | | | | |
| 6 | | | 60 | | | 60 | | | | |
| 5 | | | 61 | | Limi debolmente sabbiosi, molto consistente, di colore grigio | 61 | | | | |
| 4 | | | 62 | | | 62 | | | | |
| 3 | | | 63 | | | 63 | | | | |
| 2 | | | 64 | | Limi debolmente argillosi, molto consistente, di colore grigio | 64 | | | | |
| 1 | | | 65 | | | 65 | | | | |
| 0 | | | 66 | | | 66 | | | | |
| -1 | | | 67 | | | 67 | | | | |
| -2 | | | 68 | | | 68 | | | | |
| -3 | | | 69 | | | 69 | | | | |
| -4 | | | 70 | | | 70 | | | | |
| -5 | | | 71 | | | 71 | | | | |
| -6 | | | 72 | | | 72 | | | | |
| -7 | | | 73 | | | 73 | | | | |
| -8 | | | 74 | | | 74 | | | | |
| -9 | | | 75 | | | 75 | | | | |
| -10 | | | 76 | | Limi debolmente sabbiosi grigi, consistente, con livelli grigi scuri per presenza di sostanza organica | 76 | | | | |
| -11 | | | 77 | | | 77 | | | | |
| -12 | | | 78 | | | 78 | | | | |
| -13 | | | 79 | | | 79 | | | | |
| -14 | | | 80 | | | 80 | | | | |
| -15 | | | 81 | | | 81 | | | | |
| -16 | | | 82 | | | 82 | | | | |
| -17 | | | 83 | | | 83 | | | | |
| -18 | | | 84 | | | 84 | | | | |
| -19 | | | 85 | | | 85 | | | | |
| -20 | | | 86 | | | 86 | | | | |
| -21 | | | 87 | | | 87 | | | | |
| -22 | | | 88 | | | 88 | | | | |
| -23 | | | 89 | | | 89 | | | | |
| -24 | | | 90 | | | 90 | | | | |
| -25 | | | 91 | | Limi debolmente argillosi grigi, consistente, con rari livelli grigi scuri per presenza di sostanza organica | 91 | | | | |
| -26 | | | 92 | | | 92 | | | | |
| -27 | | | 93 | | | 93 | | | | |
| -28 | | | 94 | | | 94 | | | | |
| -29 | | | 95 | | | 95 | | | | |

Figure 3.5: Stratigrafia ricostruita al termine del sondaggio da p.c. a 95m dal p.c.

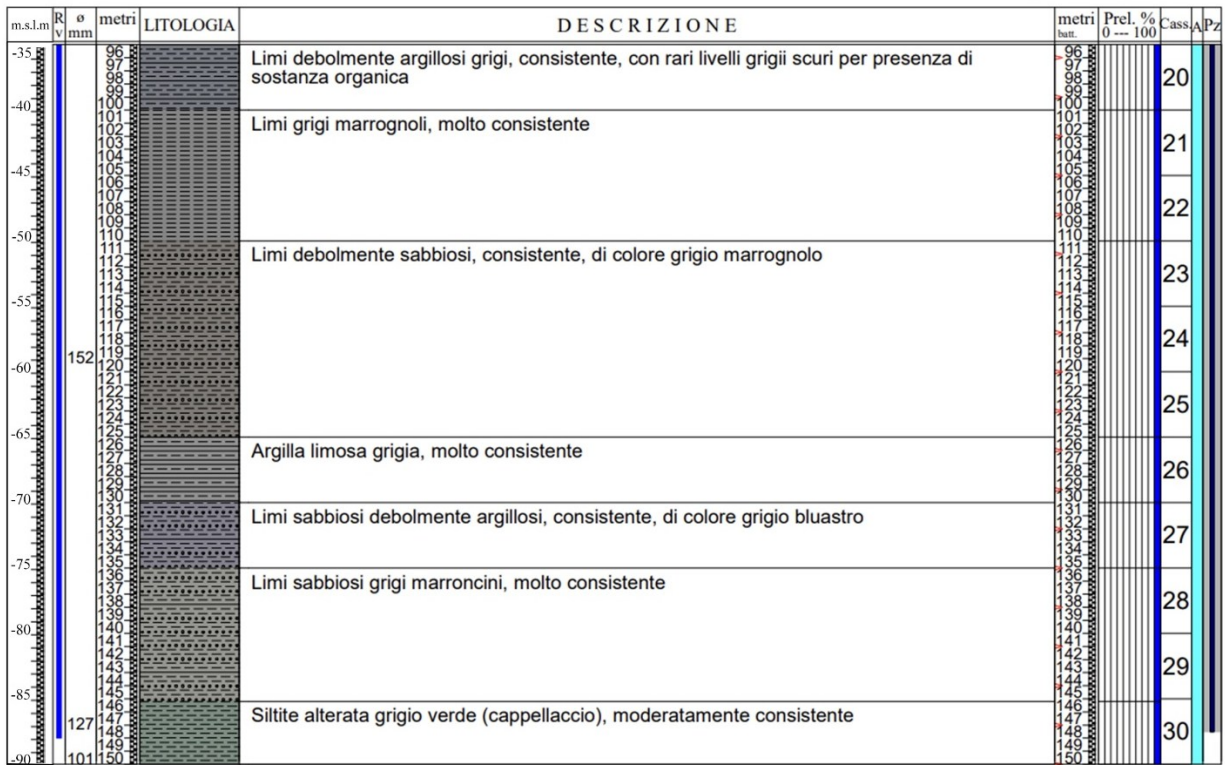
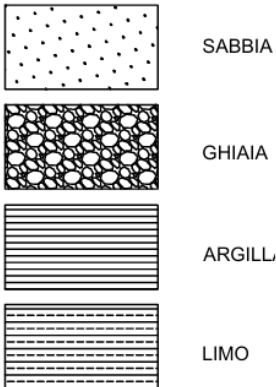


Figure 3.6: Stratigrafia ricostruita al termine del sondaggio da 96m a 150m dal p.c.

LEGENDA



3.2 - Metodi di analisi della tessitura e della composizione dei campioni studiati

Dalle carote ottenute dal sondaggio, nell'intervallo stratigrafico compreso tra 5 m e 20 m di profondità, sono stati prelevati 15 campioni rappresentativi delle litologie sabbiose intercettate (Fig. 3.7 e 3.8). Tali campioni sono stati selezionati con l'obiettivo di coprire uniformemente l'intero intervallo investigato e di documentare le principali variazioni litologiche rilevate durante il carotaggio continuo con l'obiettivo di svolgere un'analisi petrografica semi-quantitativa presso il laboratorio petrografico presso l'Università degli studi di Pavia.



Figure 3.7 e 3.8: Fotografia del momento del campionamento

Per integrare le osservazioni qualitative e definire in maniera più approfondita la tessitura dei sedimenti, sono stati prelevati ulteriori 8 campioni e su di essi sono state condotte analisi granulometriche mediante setacciatura standard.

Le analisi granulometriche sono state condotte presso il laboratorio geotecnico presso lo studio "STOPPA STUDIO DI GEOLOGI ASSOCIATO, con sede in Strada Biandrate 24 a Novara, ai sensi della normativa A.S.T.M. D6913 (ex A.S.T.M. D422).

3.3 - Analisi tessiturale

3.3.1 - Metodo

Per questa analisi, come illustrato nel precedente capitolo, sono stati prelevati 8 campioni a profondità analoghe rispetto i campioni destinati alle analisi petrografiche; nella tabella seguente sono riportati tutti i campioni con le rispettive profondità (Tab. 3.2):

| Campione | Profondità | Peso a secco (g) |
|-----------------|--------------------|-------------------------|
| CP1 – 9.5 | Da 9,40 a 9,60 m | 571,910 |
| CP1 – 10.5 | Da 10,40 a 10,60 m | 494,050 |
| CP1 – 11.5 | Da 11,40 a 11,60 m | 719,030 |
| CP1 – 12.25 | Da 12,15 a 12,35 m | 662,890 |
| CP1 – 12.75 | Da 12,65 a 12,85 m | 639,360 |
| CP1 – 13.5 | Da 13,40 a 13,60 m | 558,660 |
| CP1 – 14.5 | Da 14,40 a 14,60 m | 550,290 |
| CP1 – 15.1 | Da 15,00 a 15,20 m | 838,690 |

Tabella 3.2: Tabella riportante campioni utilizzati per le analisi granulometriche con rispettiva profondità e peso a secco.

Le sabbie campionate in genere possiedono ancora un certo contenuto di acqua; dunque, si rende necessario riscaldarle in forno ad una temperatura di 105° C per circa 24 ore così da eliminare tutta l'umidità. Una volta raffreddatesi si procede a pesare il campione, in genere si tratta di una quantità compresa tra 200 a 1000 grammi.

Il motivo di questa variabilità è dovuto a due principali fattori: il primo è la significatività dell'analisi rispetto al campione reale (se si tratta di una ghiaia, pochi ciottoli potrebbero alterare i parametri che si andranno a calcolare se la quantità iniziale è piccola rispetto al peso dei ciottoli stessi), in secondo luogo è necessario garantire, al termine dell'analisi, una quantità non inferiore a 10/15 g di trattenuto della frazione compresa tra 0,5 e 0,25 mm (coincidente con la sabbia media) per ragioni sia normative sia di affidabilità del risultato. Tale frazione rappresenta infatti spesso la granulometria centrale nelle distribuzione delle sabbie ed è quindi una delle più influenti nella definizione della curva granulometrica. Il rispetto di questo quantitativo assicura che il numero di granuli analizzato sia sufficientemente elevato e che la frazione risulti statisticamente rappresentativa del sedimento reale.

Dopo aver pesato a “secco” il campione, questo viene introdotto in una pila di setacci a maglie via via decrescenti verso il basso della colonna, precedentemente puliti e pesati vuoti. Per questo lavoro sono stati utilizzati dei set di setacci appartenenti alla normativa B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M. E11, le classi granulometriche dei setacci espressi in mm sono: 4 - 2 - 1 - 0,5 - 0,425 - 0,300 - 0,250 - 0,106 - 0,075 - 0,063.

Successivamente viene avviato il vibrovaglio, che produce uno scuotimento continuo per un tempo sufficiente affinché ogni frazione di sedimento sia trattenuta nel rispettivo vaglio, nel caso specifico è stato ritenuto sufficiente un tempo di 20 min.

Al termine del tempo impostato, ciascun setaccio con all'interno il rispettivo trattenuto viene pesato; sottraendo il peso iniziale del vaglio pulito e vuoto si ottengono i grammi di campione trattenuti su ogni setaccio. Conoscendo il peso iniziale del campione si è potuto conoscere la percentuale di ogni trattenuto rispetto al campione asciutto.

3.3.2 - Elaborazione dei dati

Una volta completata la fase di setacciatura, in cui è stato determinato il peso e la percentuale dei trattenuti su ciascun setaccio rispetto al campione totale, si è potuto procedere alla fase successiva di elaborazione dei dati. Per questa fase, è stato impiegato un foglio di calcolo specificatamente progettato e calibrato in funzione dei setacci utilizzati, il quale ha permesso di elaborare i dati in maniera precisa e automatica. L'utilizzo di tale strumento ha facilitato la ricostruzione della curva granulometrica del campione, rappresentata in scala logaritmica, che consente di visualizzare in modo chiaro la distribuzione delle diverse frazioni granulometriche presenti nel materiale esaminato.

Infine, per ogni campione analizzato, è stato possibile procedere con la classificazione secondo la normativa AGI (Associazione Geotecnica Italiana), che ha consentito la categorizzazione dei campioni dalla loro composizione granulometrica (Fig. 3.9)

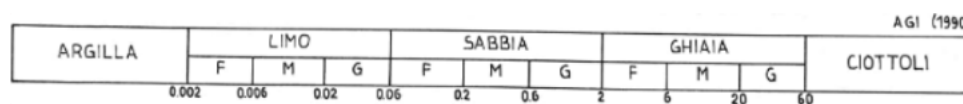


Figure 3.9: Tabella riportante la classificazione AGI (1990).

Utilizzando la convezione proposta da questa classificazione, il nome a ciascun sedimento viene assegnato seguendo questa procedura:

- il nome del sedimento è dato dalla frazione granulometrica con percentuale maggiore (es: ghiaia);
- quando la seconda frazione granulometrica, in ordine di percentuale in peso, è compresa tra il 50 % e il 25%, si usa “CON” per unire i due nomi (es: ghiaia con limo);
- si usa il suffisso “OSO” se la percentuale in peso della frazione successiva è compresa tra il 25% e il 10% (es: ghiaia con limo sabbiosa);
- viene usato il suffisso “OSO” e “DEBOLMENTE” se la percentuale della frazione successiva è compresa tra il 10% ed il 5% (es: ghiaia con limo debolmente limosa);

L'elaborazione dei dati ha portato per ogni singolo campione analizzato alla redazione di un report finale, che riporta i risultati dell'analisi granulometrica in modo dettagliato.

Per ciascun campione, una volta redatto il report finale riportante la curva cumulativa in scala logaritmica, poi rielaborata in Excel, il dato percentuale del trattenuto di ciascun vaglio è stato utilizzato per studiare il sedimento stesso mediante la creazione di istogrammi di frequenza e curve di frequenza, dalle quali è stato poi possibile ricavare informazioni sulle varie popolazioni granulometriche.

Sono stati quindi calcolati i seguenti parametri chiave, che forniscono informazioni sulle modalità di trasporto a cui sono stati soggetti i campioni:

- **Trask Index (T.I.)** o coefficiente di cernita o di classazione (Sorting) che fornisce il grado di selezionamento del campione, calcolato con la formula:

$$S_0 = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}}$$

Dove:

D_{75} = rappresenta il diametro in mm corrispondente al 75% di passante della curva cumulativa;

D_{25} = rappresenta il diametro in mm corrispondente al 25% di passante della curva cumulativa;

Questo rapporto è sempre > 1, per il $S=1$ si ha il valore di cernita massima, La cernita del sedimento analizzato peggiora all'aumentare di questo coefficiente.

Le classi di cernita per le sabbie sono riportate nella seguente tabella (Tab. 3.3):

| T.I. | Classe di cernita |
|--------------|---------------------------|
| 1<T.I.<1,1 | estremamente ben cernita |
| 1,1<T.I.<1,2 | molto ben cernita |
| 1,2<T.I.<1,4 | ben cernita |
| 1,4<T.I.<2,0 | moderatamente ben cernita |
| 2,0<T.I.<2,7 | scarsamente cernita |
| 2,7<T.I.<5,7 | molto poco cernita |

Tabella 3.3: Tabella riportante le classi di cernita.

- **Dm** o diametro medio calcolato con la seguente formula:

$$D_m = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (\text{Folk e Ward, 1957})$$

Dove:

- **ϕ_{16}** rappresenta il 16° percentile sulla curva cumulativa, ossia il diametro in Phi corrispondente al 16 % del sedimento.
- **ϕ_{50}** rappresenta il 50° percentile sulla curva cumulativa, ossia il diametro in Phi corrispondente al 50 % del sedimento.
- **ϕ_{84}** rappresenta il 84° percentile sulla curva cumulativa, ossia il diametro in Phi corrispondente al 84 % del sedimento.

- **Moda** che corrisponde alla classe granulometrica con maggior frequenza (picco più alto dell'istogramma);
- **Mediana** ovvero il diametro corrispondente al 50% della curva cumulativa;

3.4 – Analisi petrografica

3.4.1 - Metodo

Dei 15 campioni destinati all'analisi petrografica, 8 sono rappresentativi della granulometria "fine" (sabbia e argilla) e indicati con il prefisso CP1; mentre 7 sono rappresentativi della granulometria grossolana (ghiaia) e indicati con il prefisso CP1-C.

I campioni sono riportati nella tabella che segue (Tab. 3.4):

| Campione | Profondità |
|-----------------|-------------------|
| CP1 – 9.5 | 9.5m |
| CP1 – 10.5 | 10.5m |
| CP1 – 11.5 | 11.5m |
| CP1 – 12.25 | 12.25m |
| CP1 – 12.75 | 12.75m |
| CP1 – 13.5 | 13.5m |
| CP1 – 14.5 | 14.5m |
| CP1 – 15.1 | 15.1m |
| CP1 – C13.6 | 13.6m |
| CP1 – C13.7 | 13.7m |
| CP1 – C13.8 | 13.8m |
| CP1 – C13.9 | 13.9m |
| CP1 – C14.0 | 14.0m |
| CP1 – C14.1 | 14.1m |
| CP1 – C14.6 | 14.6m |

Tabella 3.4: Tabella riportante i campioni destinati all'analisi petrografica

Per ciascuno di questi campioni successivamente la preparazione delle sezioni sottili da parte di un laboratorio esterno all'Università di Pavia è stata effettuata un'analisi petrografica.

Per costruire la sezione sottile il sedimento sciolto è stato inglobato con delle resine affinché diventasse un cilindretto trasparente. Questo cilindretto è stato poi tagliato ad uno spessore standard di 30 micron e incollato su un vetrino per microscopio ottico

L'esame semi-quantitativo al microscopio ottico polarizzatore ha consentito di stimare visivamente la composizione modale principale tra quarzo, feldspati e frammenti litici e di riconoscere eventuali caratteri diagnostici dei clasti del sedimento.

La stima visiva della composizione modale si è basata sulle seguenti tavole comparative (Fig. 3.10)

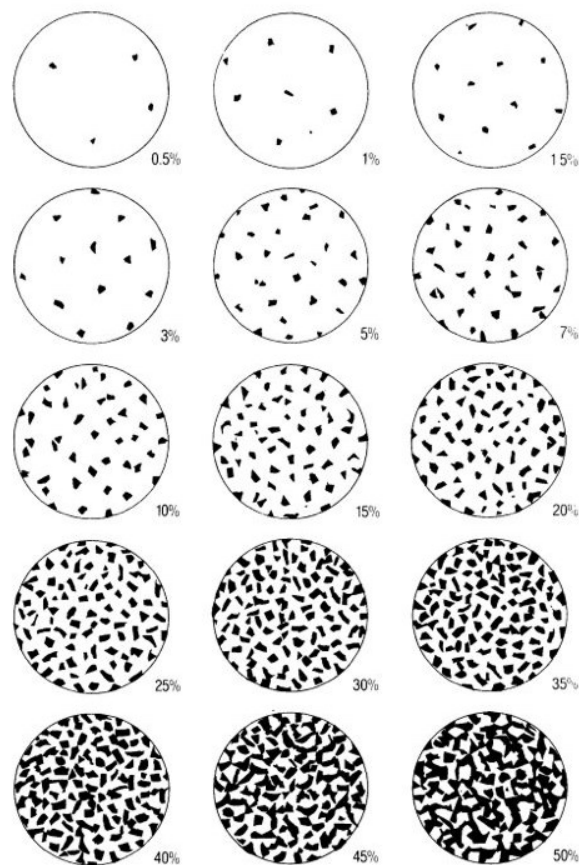


Figure 3.10: Tavole comparative per analisi semi-quantitativa

I dati ottenuti sono stati confrontati con le caratteristiche composizionali delle sabbie attuali trasportate e deposte dal Po, dal Ticino e dai principali affluenti appenninici, al fine di evidenziare eventuali affinità petrografiche con gli apporti sedimentari dei diversi sistemi fluviali attivi e di ricavare indicazioni sulla possibile provenienza dei depositi sabbiosi intercettati dal sondaggio.

4 – RISULTATI OTTENUTI DALLE ANALISI

4.1 - Ricostruzione stratigrafica di dettaglio

Di seguito viene riportata un estratto della ricostruzione stratigrafica di dettaglio, dell'intervallo di carota 5 – 10 metri dal piano campagna (Figura 4.1, 4.2, 4.3) delle carote prelevate dal sondaggio CARG Pavia 160, l'analisi è stata svolta presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia dove sono al momento conservate le casse contenenti le carote ottenute dal sondaggio.

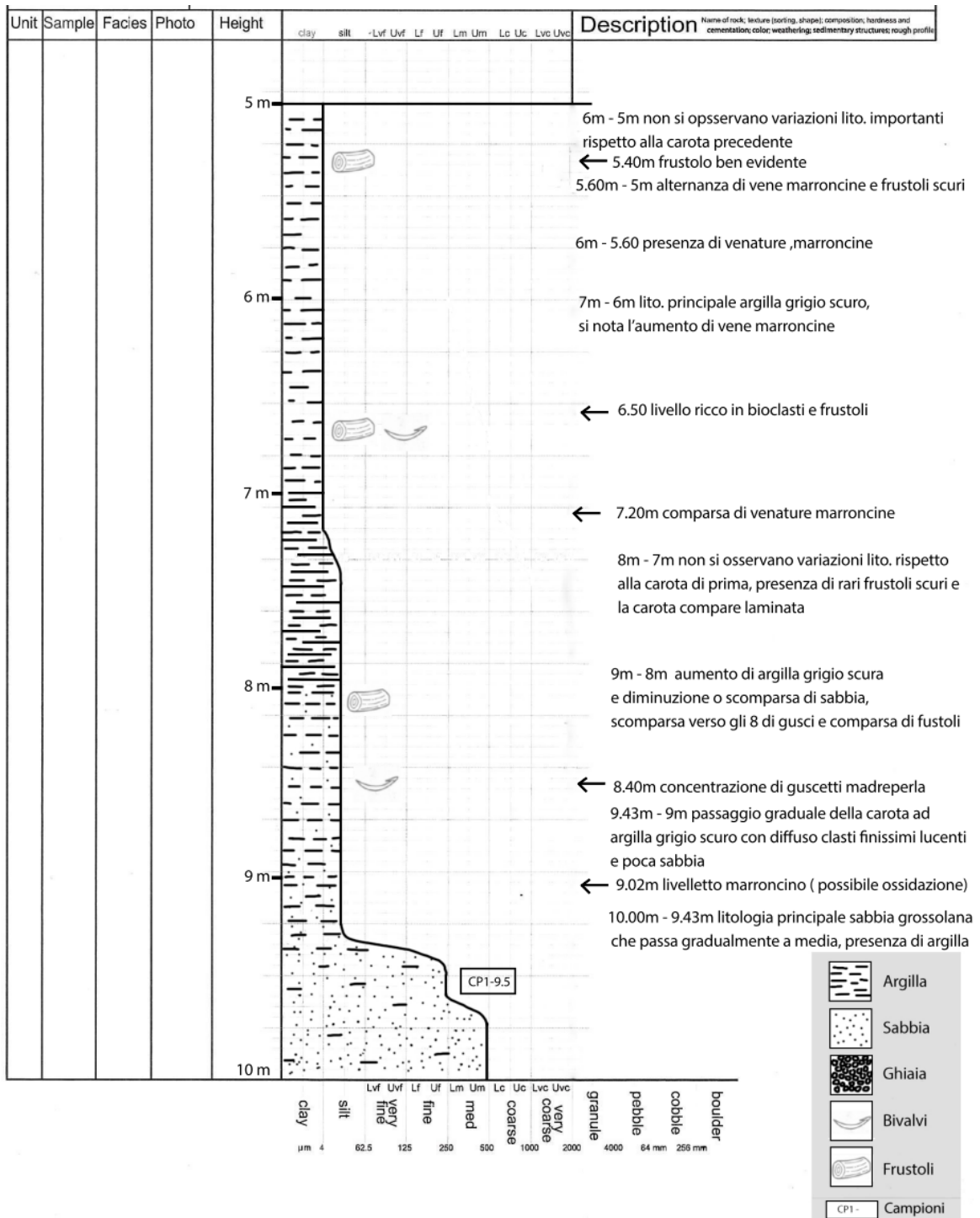


Figure 4.1: Log stratigrafico del tratto di carotaggio 5 -10 metri dal piano campagna del sondaggio CARG Pavia 160.

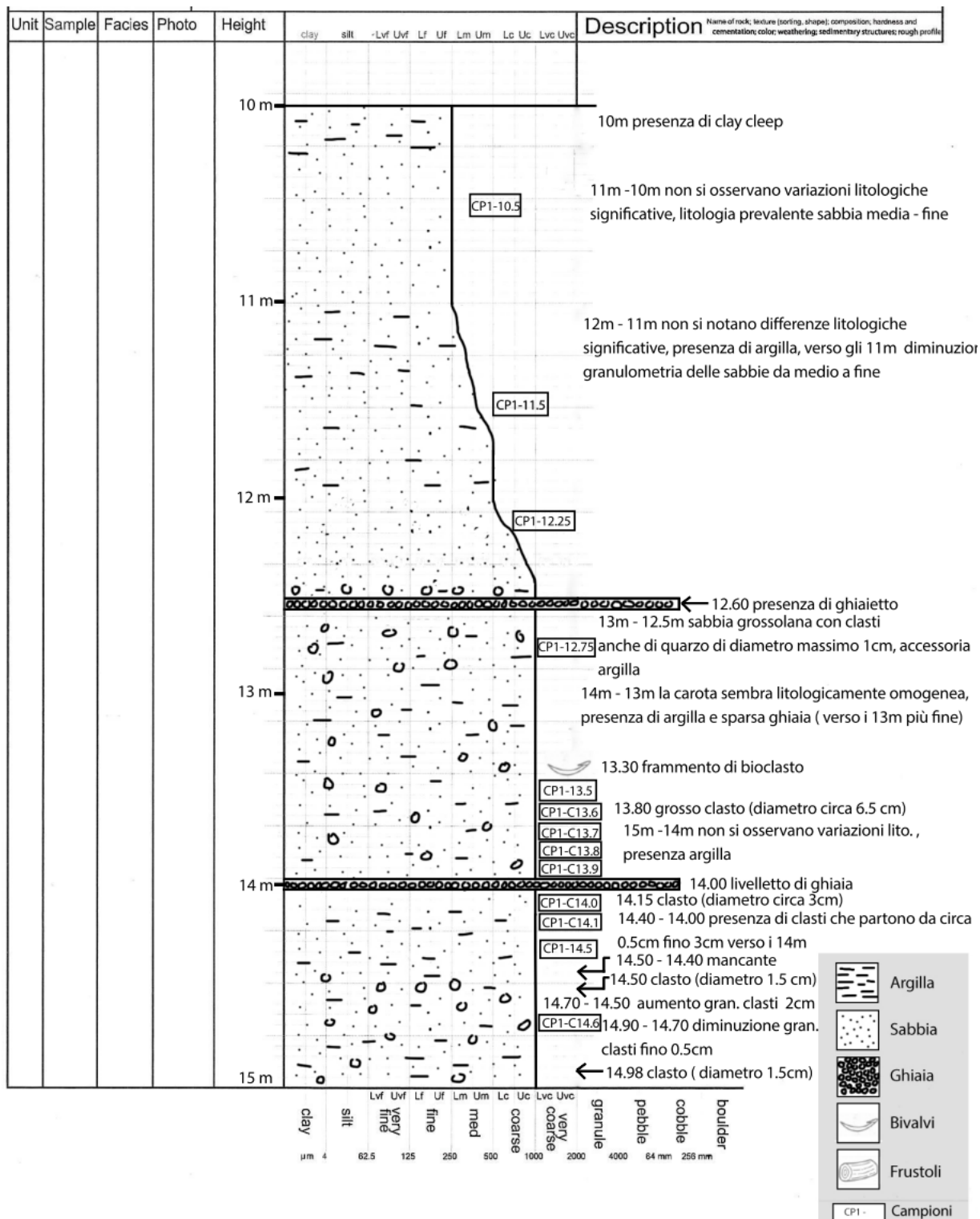


Figure 4.2: Log stratigrafico del tratto di carotaggio 10 -15 metri dal piano campagna del sondaggio CARG Pavia 160.

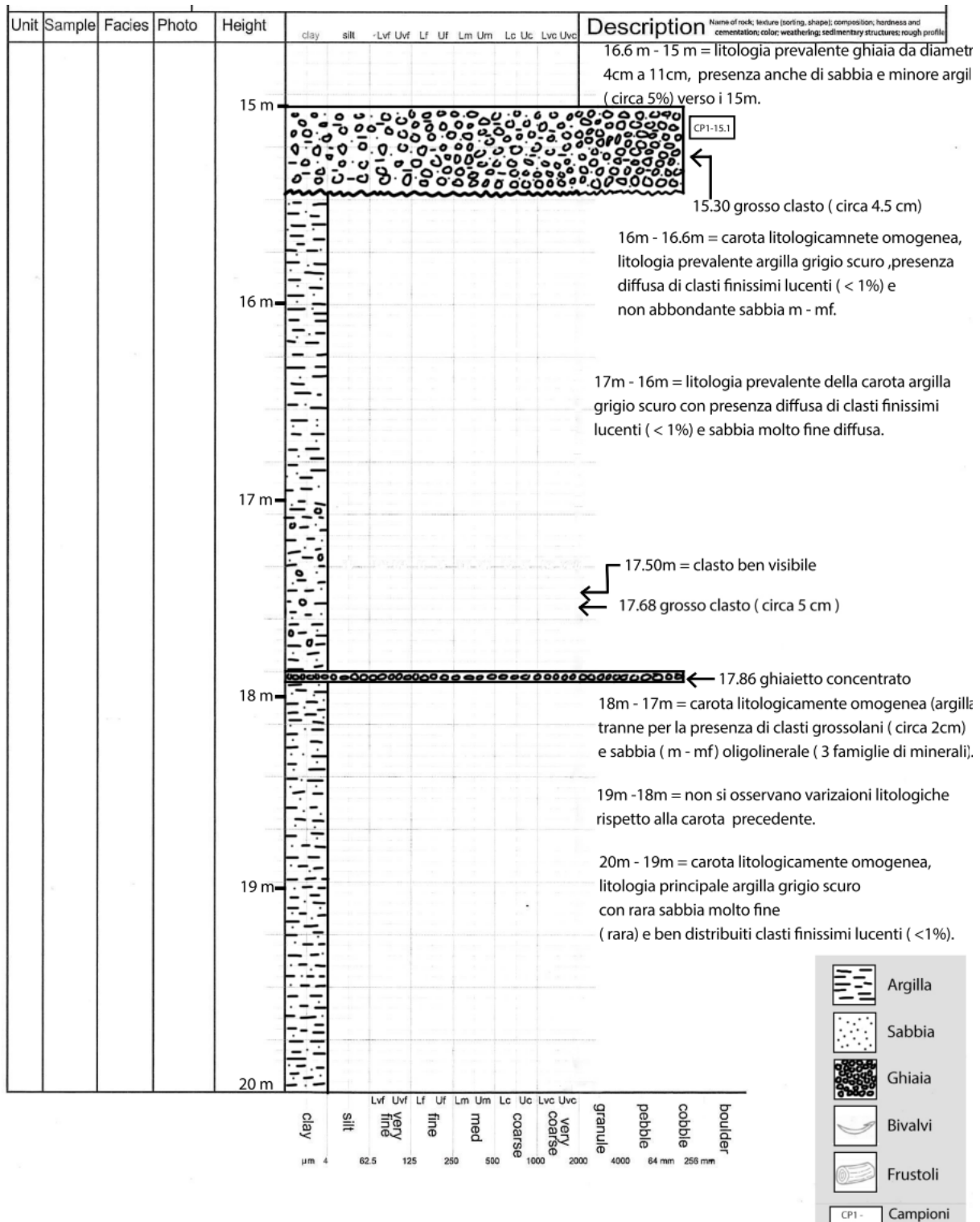


Figure 4.3: Log stratigrafico del tratto di carotaggio 15 -20 metri dal piano campagna del sondaggio CARG Pavia 160.

4.2 - Analisi granulometrica dei campioni del sondaggio CARG Pavia 160

4.2.1 - Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi granulometriche

Il presente capitolo espone una sintesi dei i risultati conseguiti attraverso lo studio granulometrico effettuato sui campioni del sondaggio CARG Pavia 160. Nel capitolo successivo è riportata una tabella riepilogativa dei parametri granulometrici chiave ottenuti (Tab. 4.9).

Campione: CP1-9.5

Classificazione AGI: Sabbia media limosa e debolmente ghiaiosa

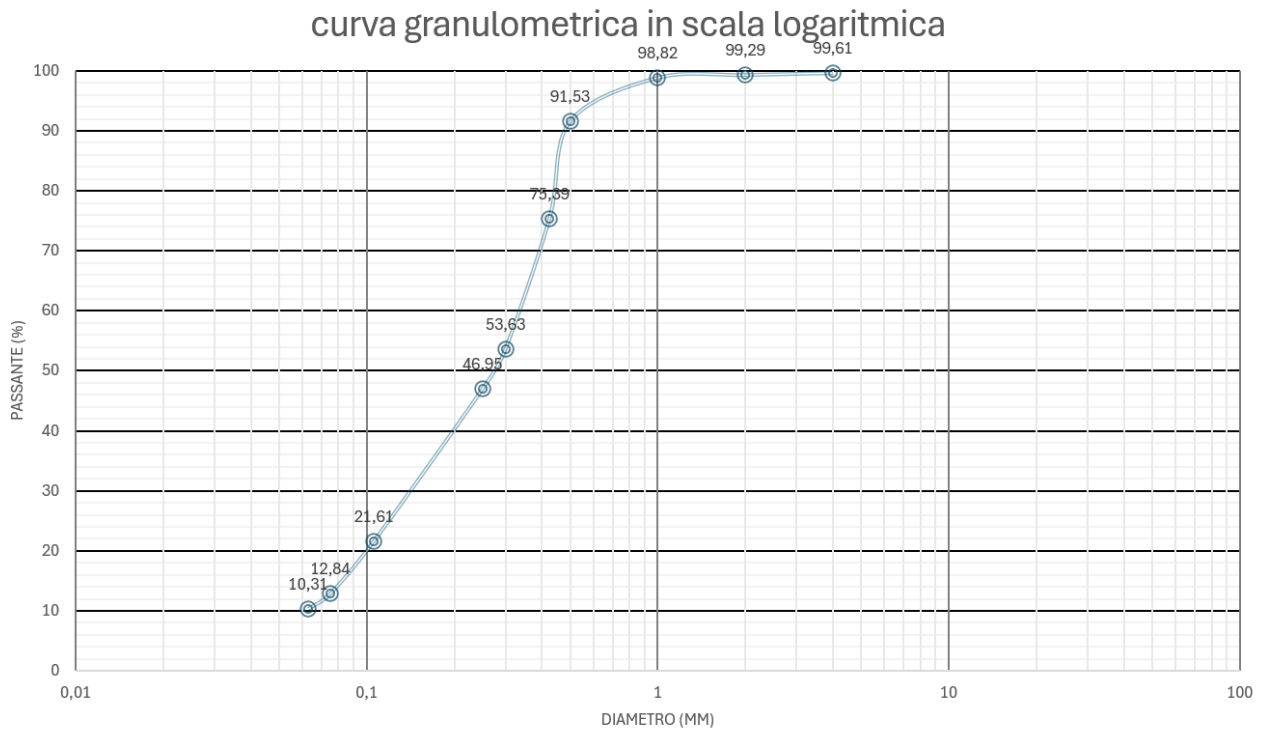


Figure 4.4: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CP1-9.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 99,61 |
| 2 | 99,29 |
| 1 | 98,82 |
| 0,5 | 91,53 |
| 0,425 | 75,39 |
| 0,300 | 53,63 |
| 0,250 | 46,95 |
| 0,106 | 21,61 |
| 0,075 | 12,84 |
| 0,063 | 10,31 |

Tabella 4.1: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

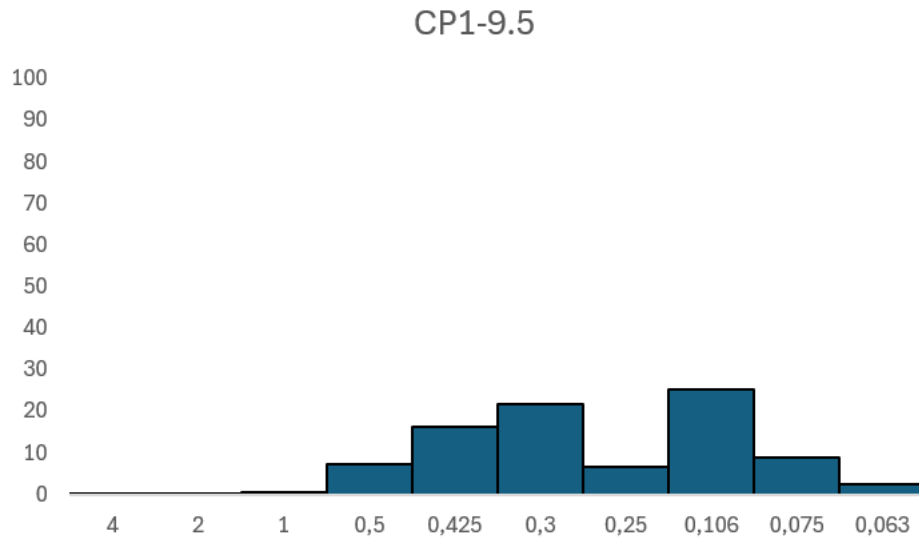


Figure 4.5: Istogramma di frequenza del campione CP1-9.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

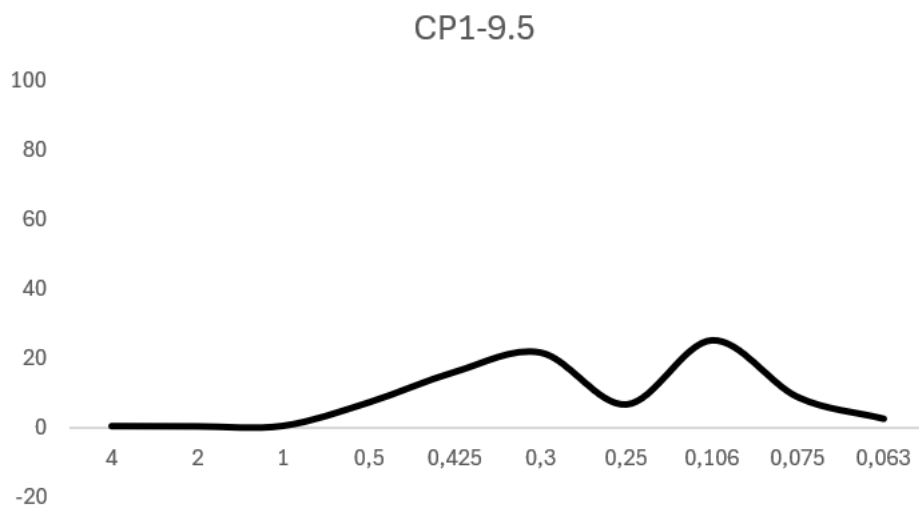


Figure 4.6: Curva di frequenza del campione CP1-9.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 0,106 mm

Mediana: 0,28mm

Dm: 2,12 ϕ = 0,230 mm

T.I.: 1,85 mm

Classe di cernita: moderatamente ben cernito

Campione: CP1-10.5

Classificazione AGI: Sabbia media debolmente ghiaiosa

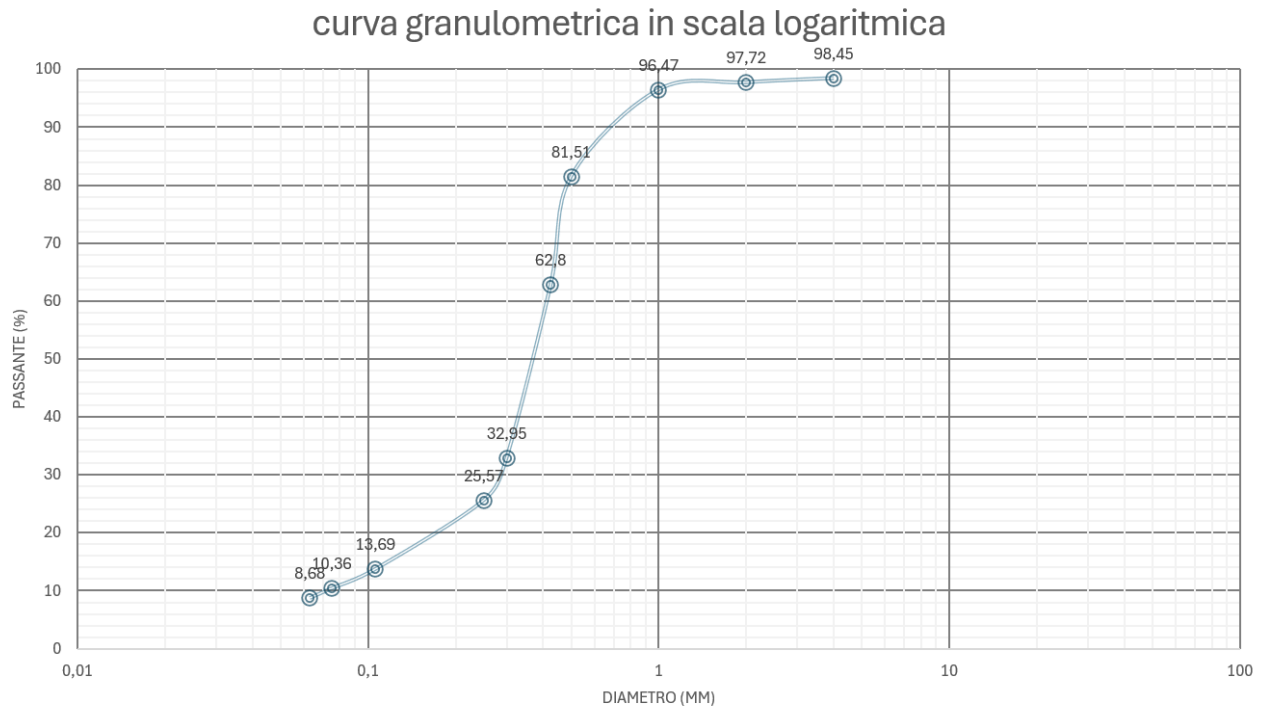


Figure 4.7: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CP1-9.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 98,45 |
| 2 | 97,72 |
| 1 | 96,47 |
| 0,5 | 81,51 |
| 0,425 | 62,80 |
| 0,300 | 32,95 |
| 0,250 | 25,57 |
| 0,106 | 13,69 |
| 0,075 | 10,36 |
| 0,063 | 8,68 |

Tabella 4.2: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

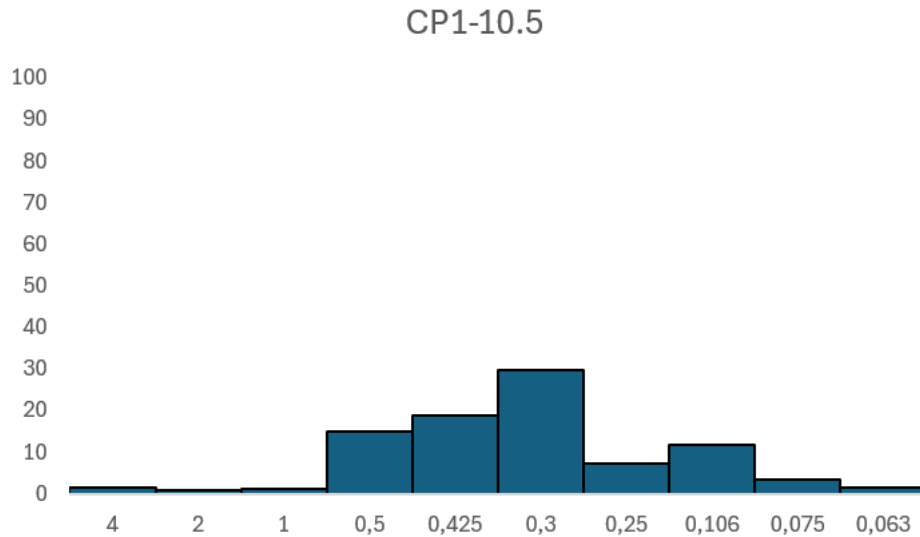


Figure 4.8: Istogramma di frequenza del campione CP1-10.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

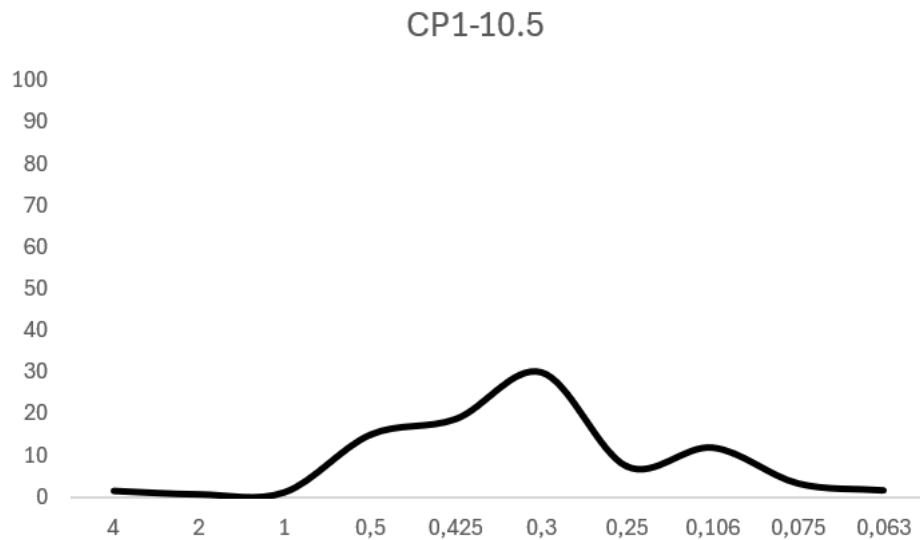


Figure 4.9: Curva di frequenza del campione CP1-10.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 0,3 mm

Mediana: 0,38 mm

Dm: 1,77 ϕ = 0,293 mm

T.I.: 1,38 mm

Categoria di cernita: ben cernito

Campione: 11.5

Classificazione AGI: Sabbia media

Fuso granulometrico

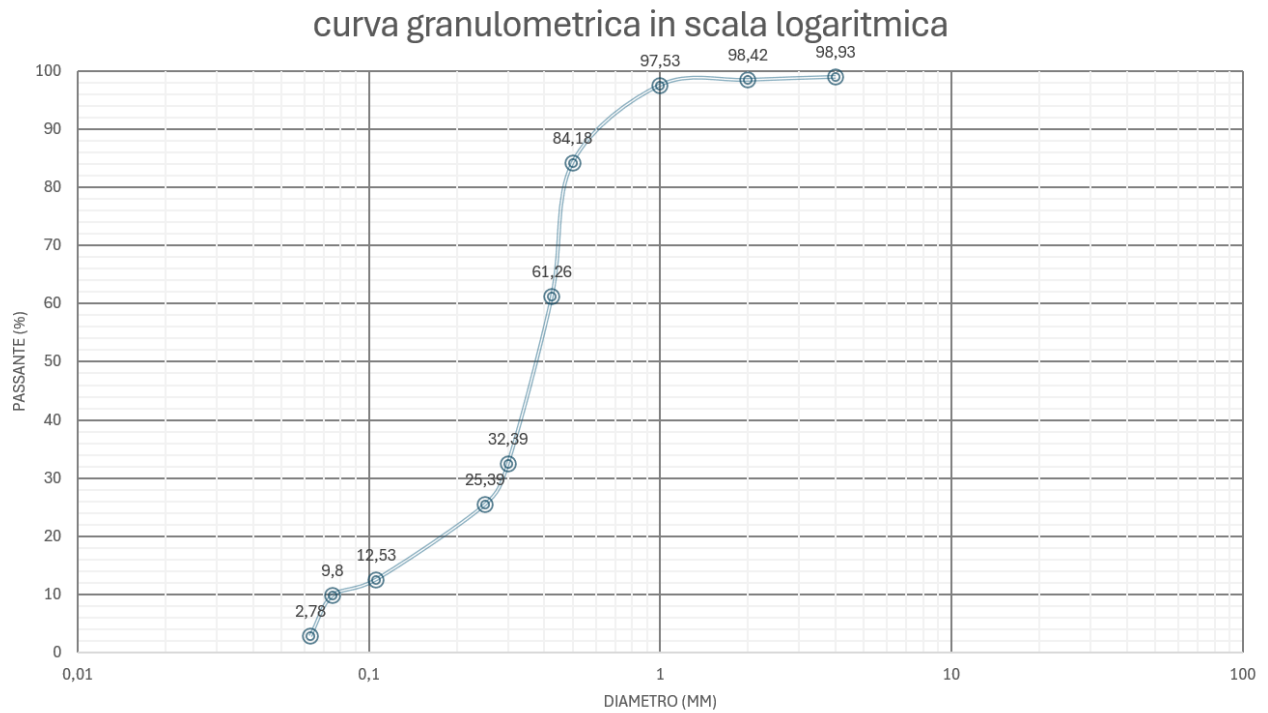


Figure 4.10: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CP1-11.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 98,93 |
| 2 | 98,42 |
| 1 | 97,53 |
| 0,5 | 84,18 |
| 0,425 | 61,26 |
| 0,300 | 32,39 |
| 0,250 | 25,39 |
| 0,106 | 12,53 |
| 0,075 | 9,80 |
| 0,063 | 2,78 |

Tabella 4.3: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

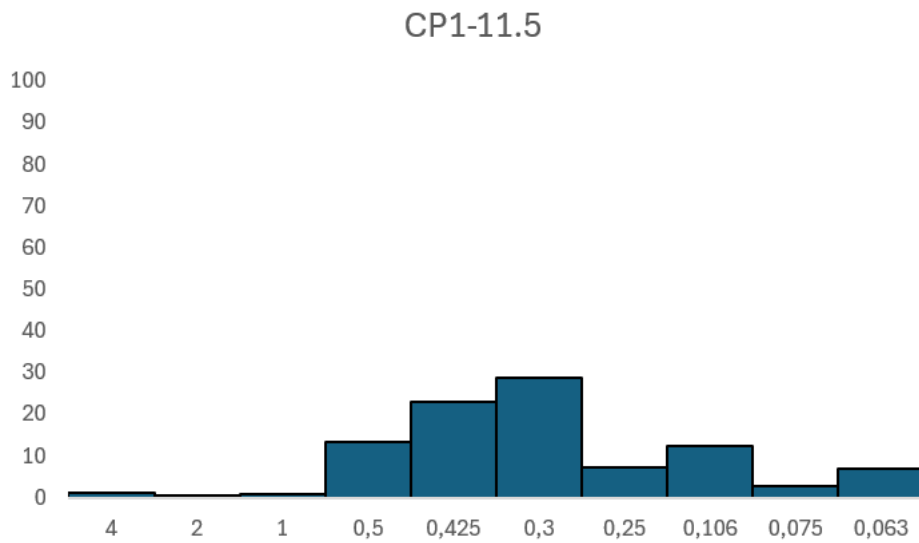


Figure 4.11: Istogramma di frequenza del campione CP1-11.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

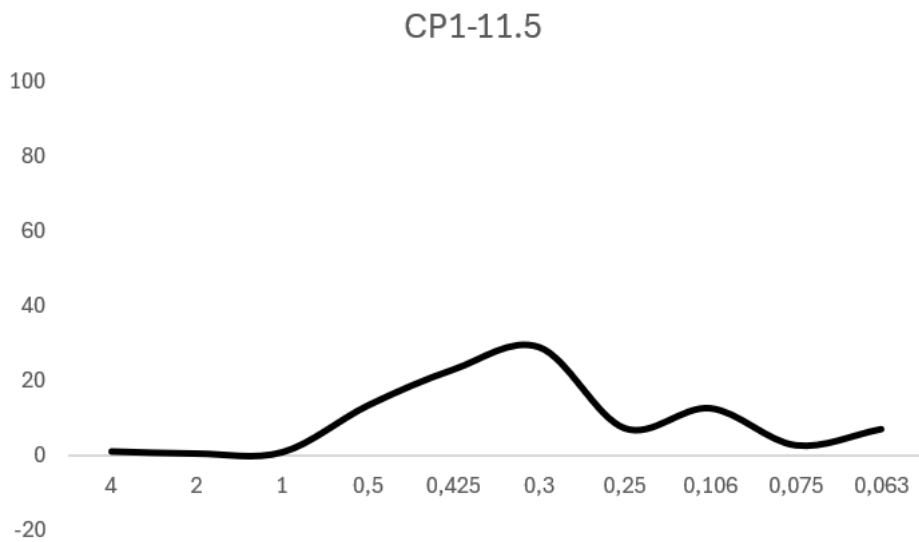


Figure 4.12: Curva di frequenza del campione CP1-11.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 0,3 mm

Mediana: 0,38 mm

Dm: 1,75 ϕ = 0,297 mm

T.I.: 1,38 mm

Classe di cernita: ben cernito

Campione: 12.25

Classificazione AGI: Sabbia media ghiaiosa

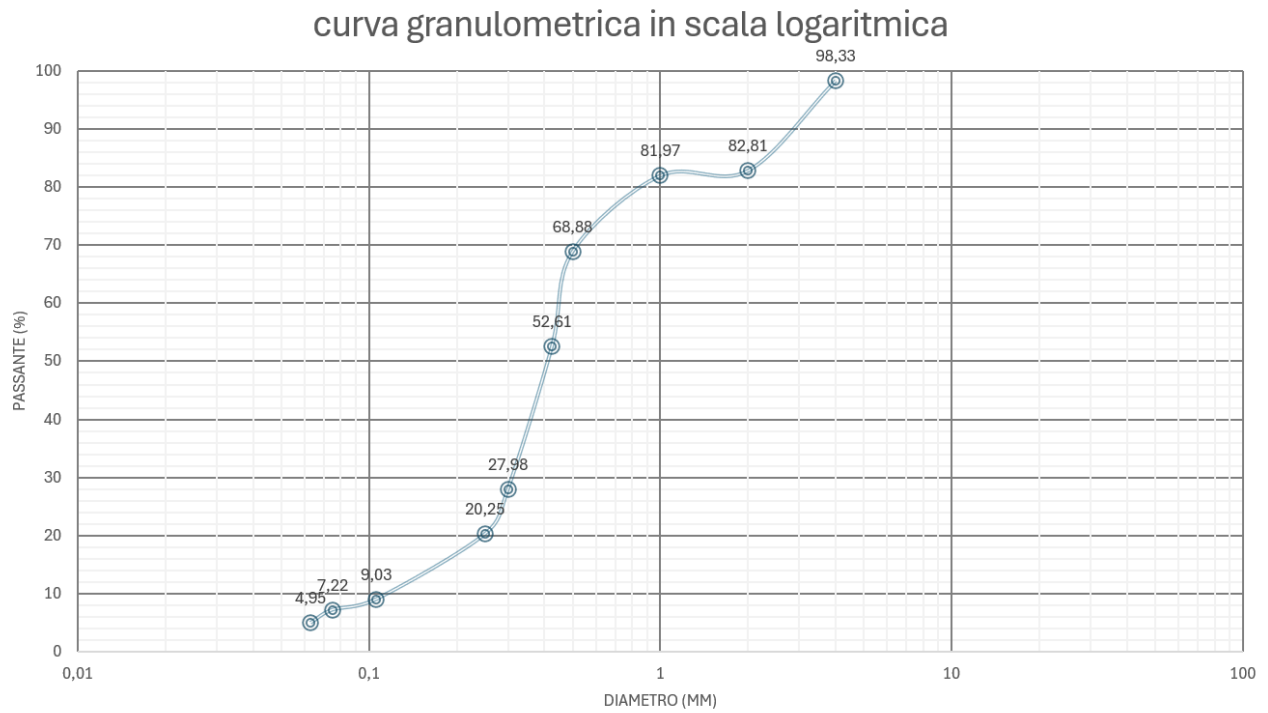


Figure 4.13: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CPI-12.25 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 98,33 |
| 2 | 82,81 |
| 1 | 81,97 |
| 0,5 | 68,88 |
| 0,425 | 52,61 |
| 0,300 | 27,98 |
| 0,250 | 20,25 |
| 0,106 | 9,03 |
| 0,075 | 7,22 |
| 0,063 | 4,95 |

Tabella 4.4: tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

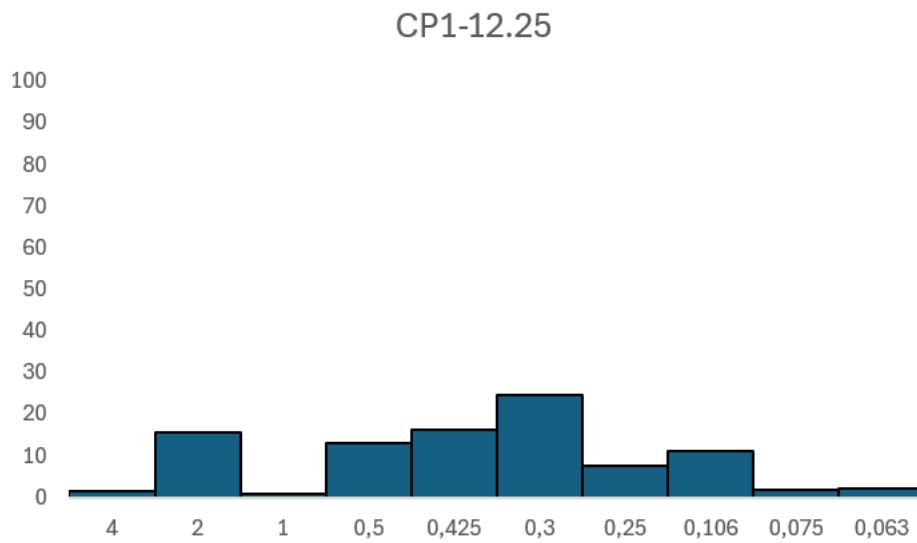


Figure 4.14: Istogramma di frequenza del campione CP1-12.25 del sondaggio CARG Pavia 160.

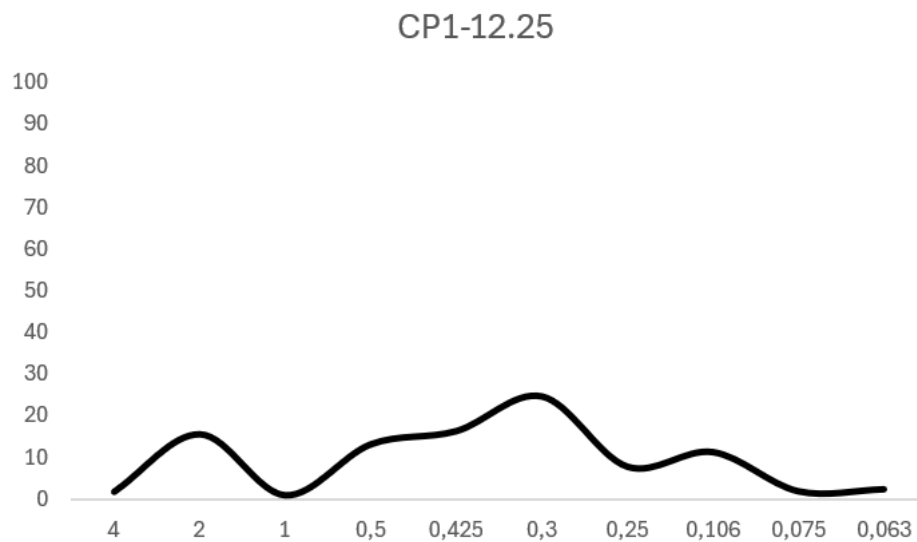


Figure 4.15: Curva di frequenza del campione CP1-12.25 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 0,3 mm

Mediana: 0,40 mm

Dm: 0,38 ϕ = 0,768 mm

T.I.: 1,46 mm

Classe di cernita: moderatamente ben cernito

Campione: 12.75

Classificazione AGI: Sabbia media con ghiaia debolmente limosa

curva granulometrica in scala logaritmica

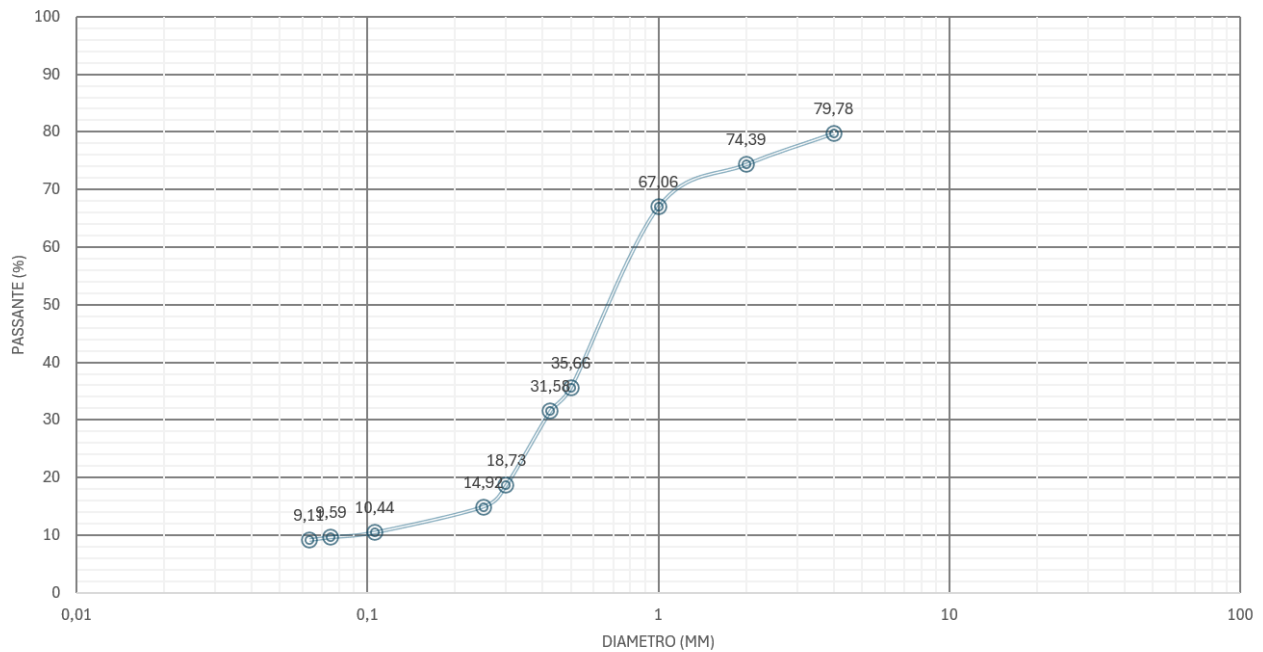


Figure 4.16: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CPI-12.75 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 79,78 |
| 2 | 74,39 |
| 1 | 67,06 |
| 0,5 | 35,66 |
| 0,425 | 31,58 |
| 0,300 | 18,73 |
| 0,250 | 14,92 |
| 0,106 | 10,44 |
| 0,075 | 9,59 |
| 0,063 | 9,11 |

Tabella 4.5: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

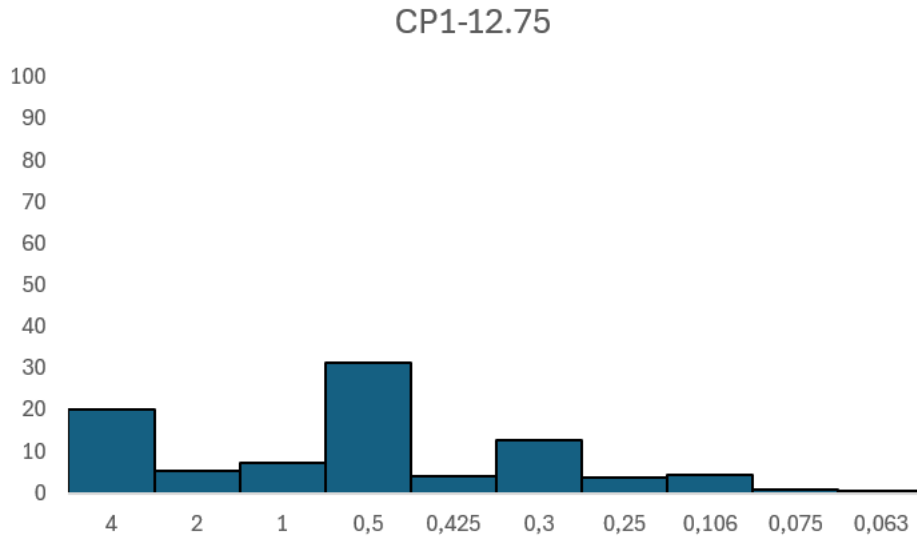


Figure 4.17: Istogramma di frequenza del campione CP1-12.75 del sondaggio CARG Pavia 160.

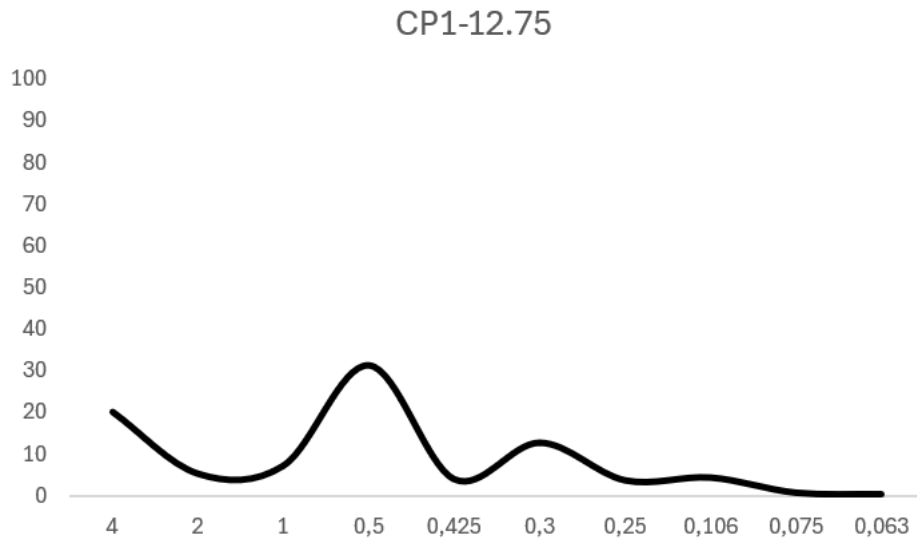


Figure 4.18: Curva di frequenza del campione CP1-12.75 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 0,5 mm

Mediana: 0,70 mm

Dm: Nan

T.I.: 2,41 mm

Classe di cernita: scarsamente cernito

Campione: 13.5

Classificazione AGI: Sabbia media con ghiaia

curva granulometrica in scala logaritmica

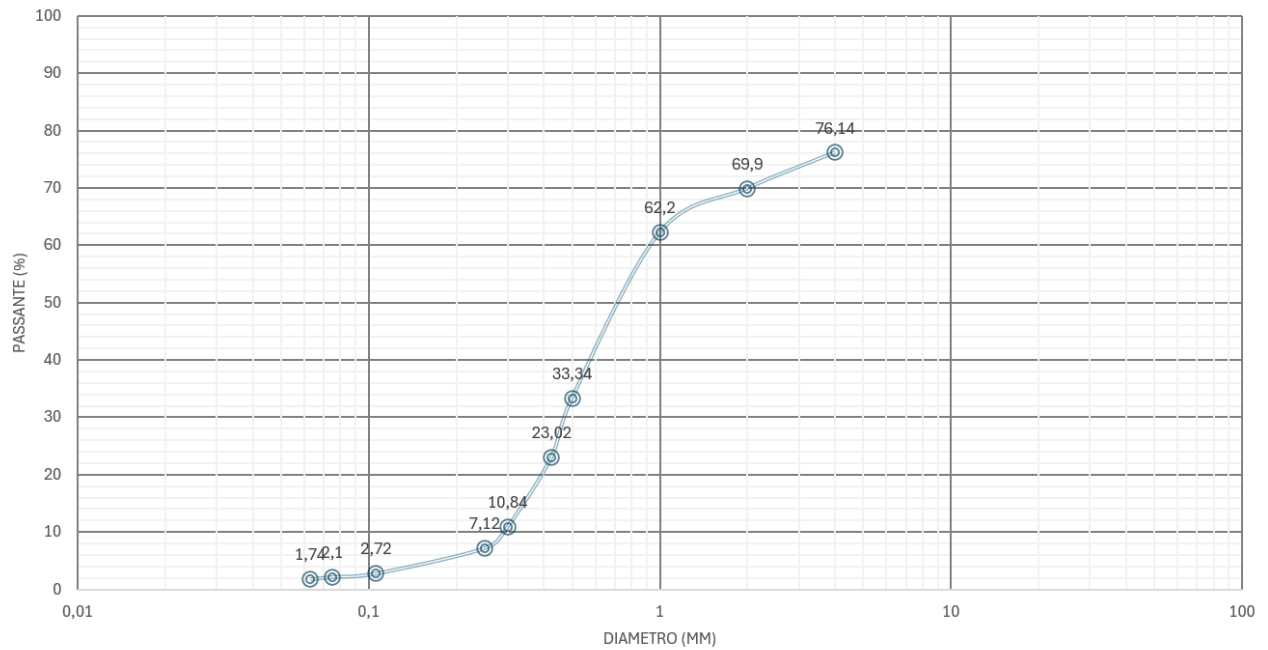


Figure 4.19: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CPI-13.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 76,14 |
| 2 | 69,90 |
| 1 | 62,20 |
| 0,5 | 33,34 |
| 0,425 | 23,02 |
| 0,300 | 10,84 |
| 0,250 | 7,12 |
| 0,106 | 2,72 |
| 0,075 | 2,10 |
| 0,063 | 1,74 |

Tabella 4.6: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

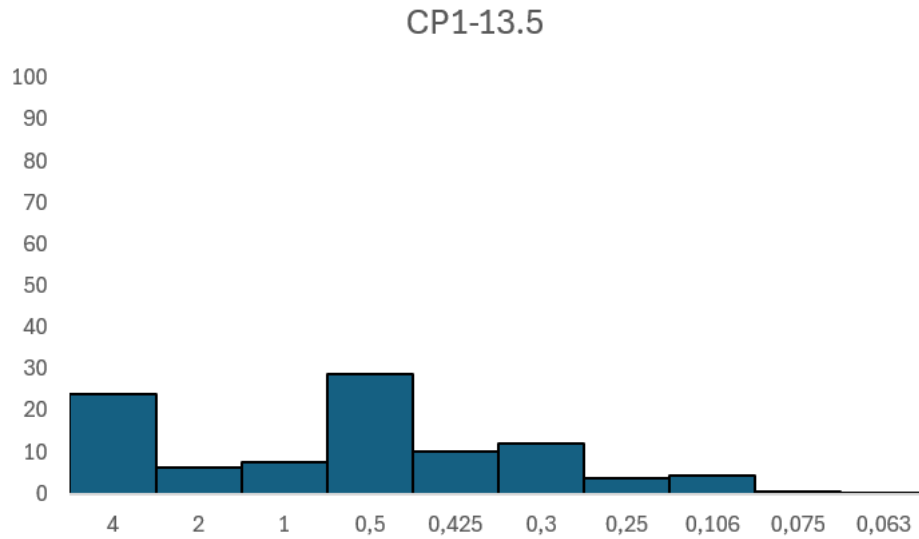


Figure 4.20: Istogramma di frequenza del campione CP1-13.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

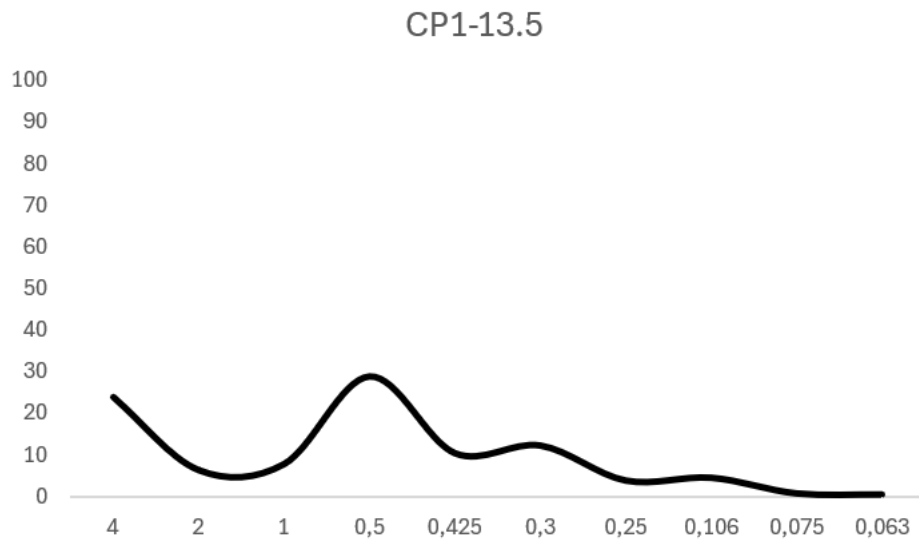


Figure 4.21: Curva di frequenza del campione CP1-13.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 0,5 mm

Mediana: 0,72 mm

Dm: Nan

T.I.: 2,80 mm

Classe di cernita: molto poco cernito

Campione: 14.5

Classificazione AGI: Sabbia media- grossolana ghiaiosa

curva granulometrica in scala logaritmica

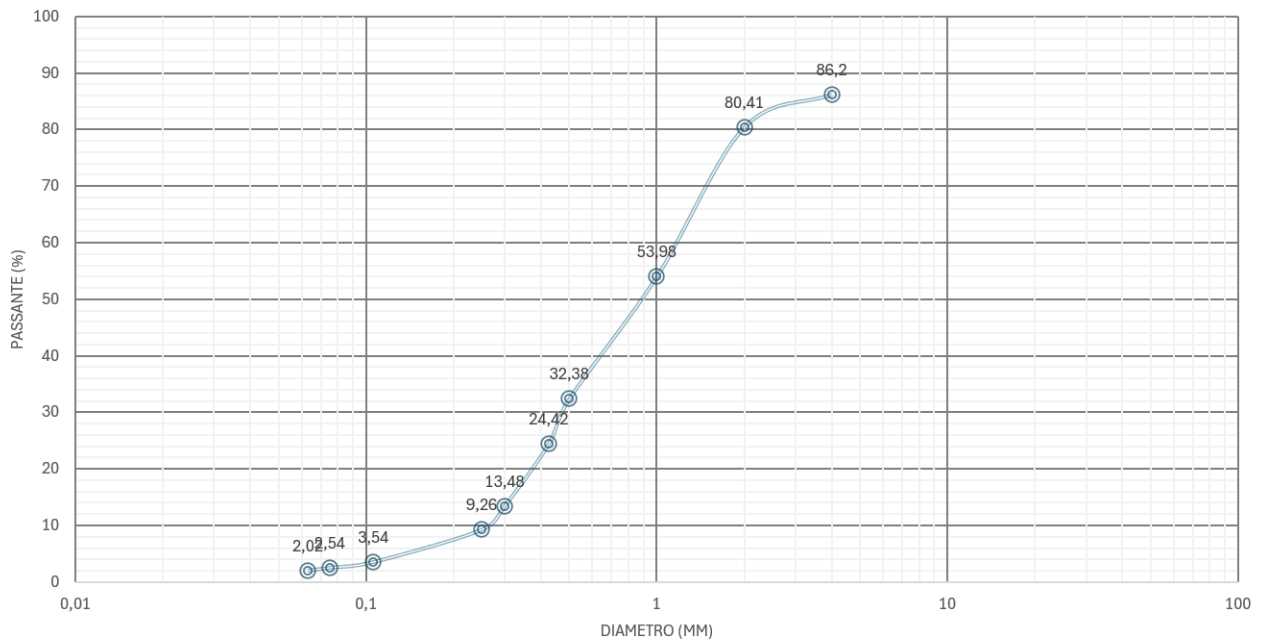


Figure 4.22: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CPI-14.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 86,20 |
| 2 | 80,41 |
| 1 | 53,98 |
| 0,5 | 32,28 |
| 0,425 | 24,42 |
| 0,300 | 13,48 |
| 0,250 | 9,26 |
| 0,106 | 3,25 |
| 0,075 | 2,54 |
| 0,063 | 2,02 |

Tabella 4.7: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

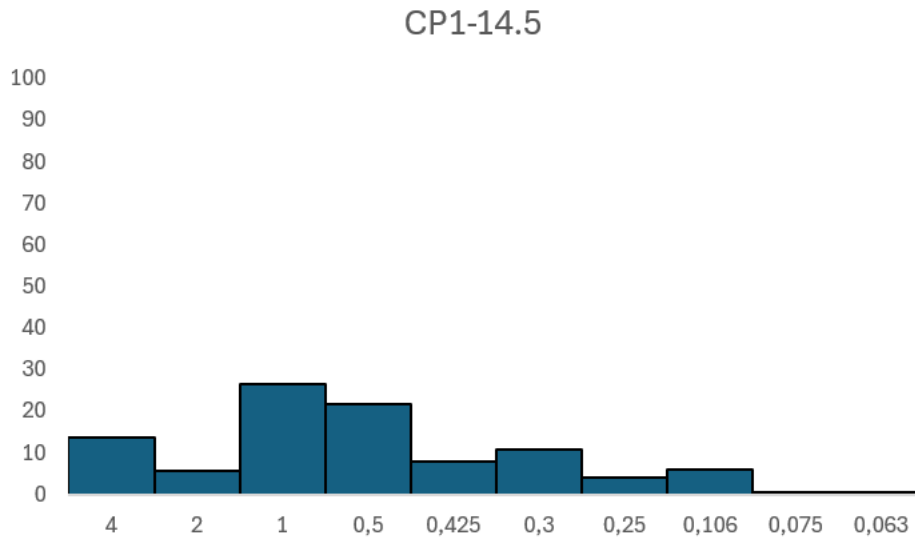


Figure 4.23: Istogramma di frequenza del campione CP1-14.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

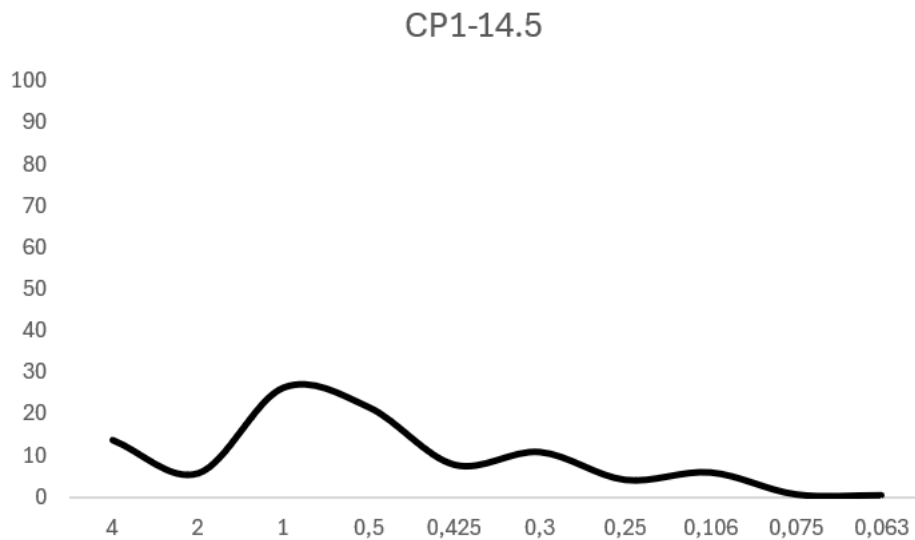


Figure 4.24: Curva di frequenza del campione CP1-14.5 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 1 mm

Mediana: 0,90 mm

Dm: 0,13 $\phi = 0,913$

T.I.: 2,07 mm

Classe di cernita: scarsamente cernito

Campione: 15.1

Classificazione AGI: Sabbia con ghiaia debolmente limosa

curva granulometrica in scala logaritmica

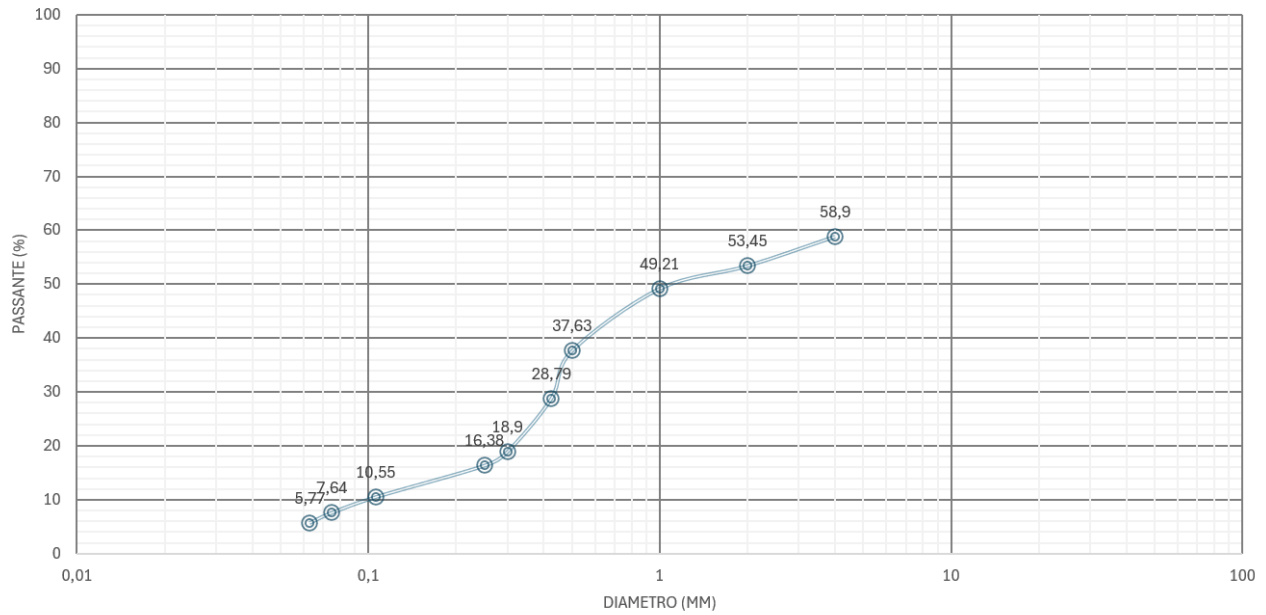


Figure 4.25: Curva granulometrica in scala logaritmica del campione CP1-15.1 del sondaggio CARG Pavia 160.

Dati:

| Φ (mm) | Passante (%) |
|----------------|-----------------|
| 4 | 58,90 |
| 2 | 53,45 |
| 1 | 49,21 |
| 0,5 | 37,63 |
| 0,425 | 28,79 |
| 0,300 | 18,90 |
| 0,250 | 16,38 |
| 0,106 | 10,55 |
| 0,075 | 7,64 |
| 0,063 | 5,77 |

Tabella 4.8: Tabella riportante diametro setaccio con rispettiva percentuale di passante.

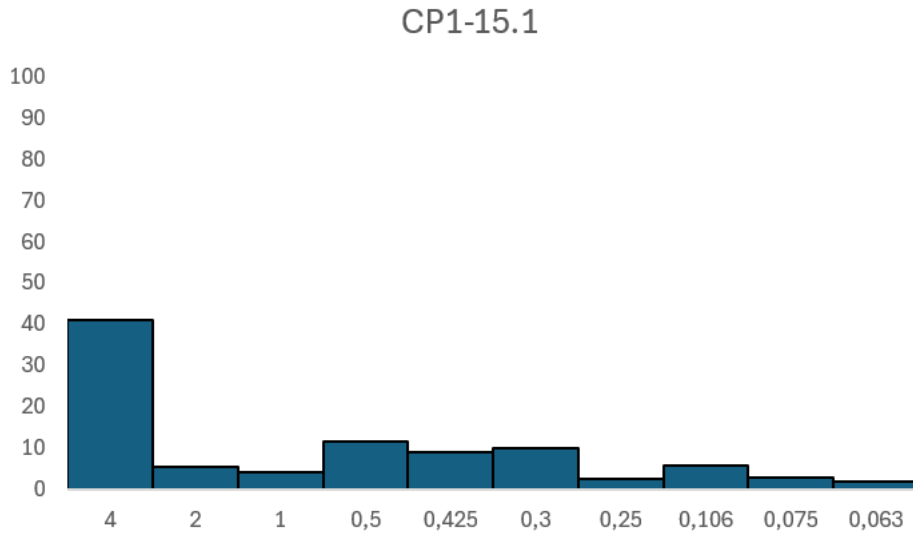


Figure 4.26: Istogramma di frequenza del campione CP1-15.1 del sondaggio CARG Pavia 160.

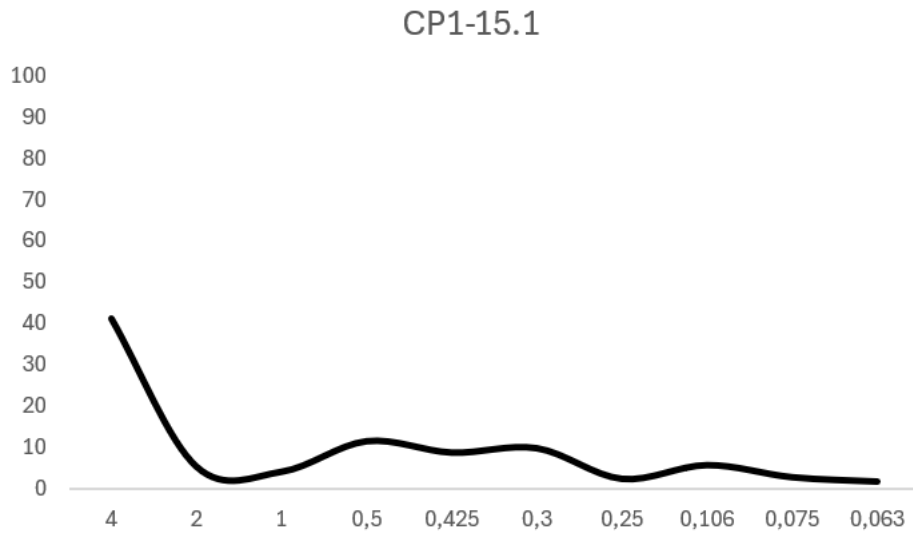


Figure 4.27: Curva di frequenza del campione CP1-15.1 del sondaggio CARG Pavia 160.

Moda: 4 mm

Mediana: 1,00 mm

Dm: Nan

T.I.: Nan

Classe di cernita: Nan

4.2.2 - Parametri tessiturali chiave

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei parametri tessiturali chiave per ogni campione analizzato del sondaggio CARG Pavia 160.

| Campione | Dm (mm) | T.I. (mm) | Moda (mm) | Mediana (mm) |
|------------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|
| CP1-9.5 | 0,230 | 1,85 | 0,106 | 0,28 |
| CP1-10.5 | 0,293 | 1,38 | 0,30 | 0,38 |
| CP1-11.5 | 0,297 | 1,38 | 0,30 | 0,38 |
| CP1-12.25 | 0,768 | 1,46 | 0,30 | 0,40 |
| CP1-12.75 | Nan | 2,41 | 0,50 | 0,70 |
| CP1-13.5 | Nan | 2,80 | 0,50 | 0,72 |
| CP1-14.5 | 0,913 | 2,07 | 1,00 | 0,90 |
| CP1-15.1 | Nan | Nan | 4,00 | 1,00 |

Tabella 4.9: Tabella di riepilogo dei parametri granulometrici chiave

Di seguito viene riportato, analogamente a quanto già effettuato per i campioni di sabbie attuali descritti precedentemente, i parametri tessiturali Dm e T.I. determinati a seguito dell'analisi granulometrica eseguita sui campioni in esame (Fig.4.28), indicato in verde la media dei valori:

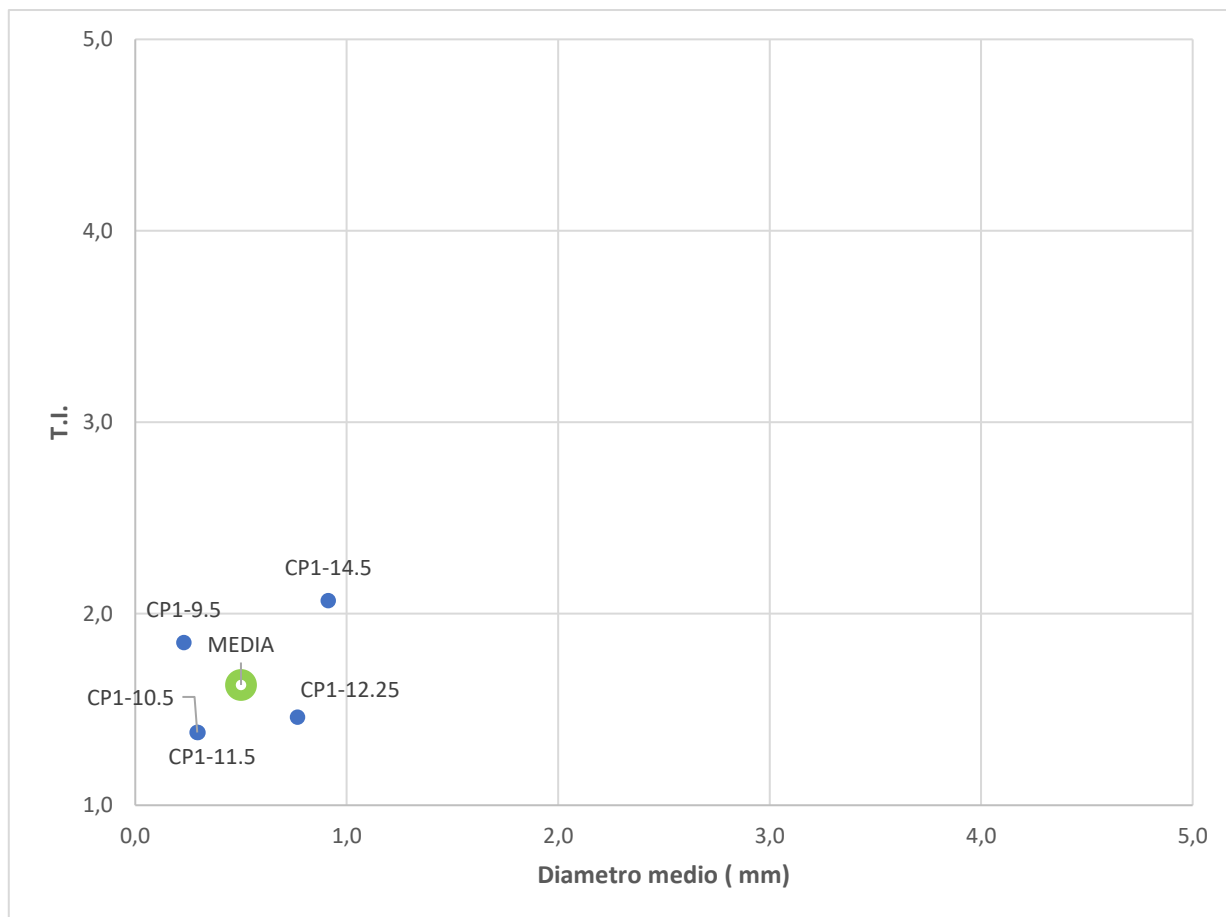


Figura 4.28: Relazione tra diametro medio (D_m) e Trask Index (T.I.) dei campioni in esame del sondaggio CARG Pavia 160.

4.3 - Analisi petrografica

4.3.1 - Campioni di sabbia nuovo sondaggio CARG Pavia 160

Descrizione semi-quantitativa e foto (da Fig. 4.31 a Fig. 4.51) dei campioni di sabbie provenienti dal nuovo sondaggio CARG Pavia 160:

- ❖ **CP1-9,5:** La sezione mostra una composizione stimata del 50% di quarzo, 10% di feldspati e 40% di frammenti litici. Di questi, la quasi totalità è rappresentata da grani metamorfici; è possibile trovare, ma in quantità inferiore, grani sedimentari, mentre i grani vulcanici sono praticamente assenti. Sono stati individuati all'interno della sezione come grani accessori miche.

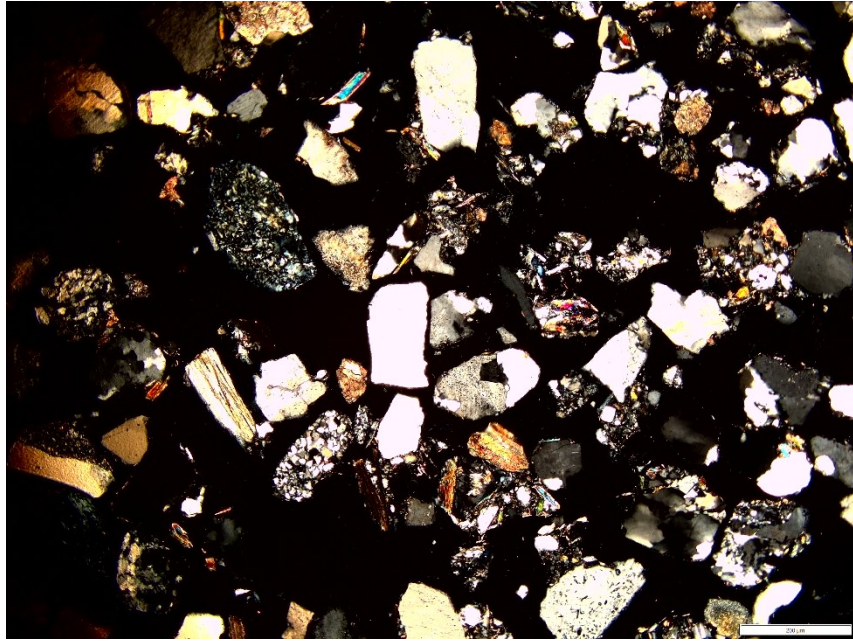


Figura 4.29: Panoramica della sezione sottile CPI-9.5 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

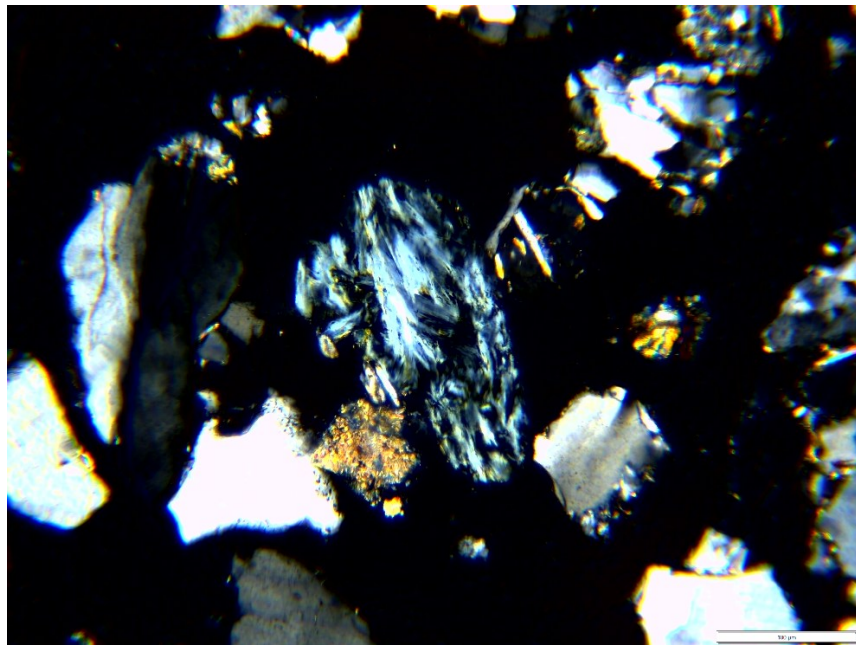


Figura 4.30: Dettaglio di frammento litico metamorfico Serpentinoscisto a nicol X.

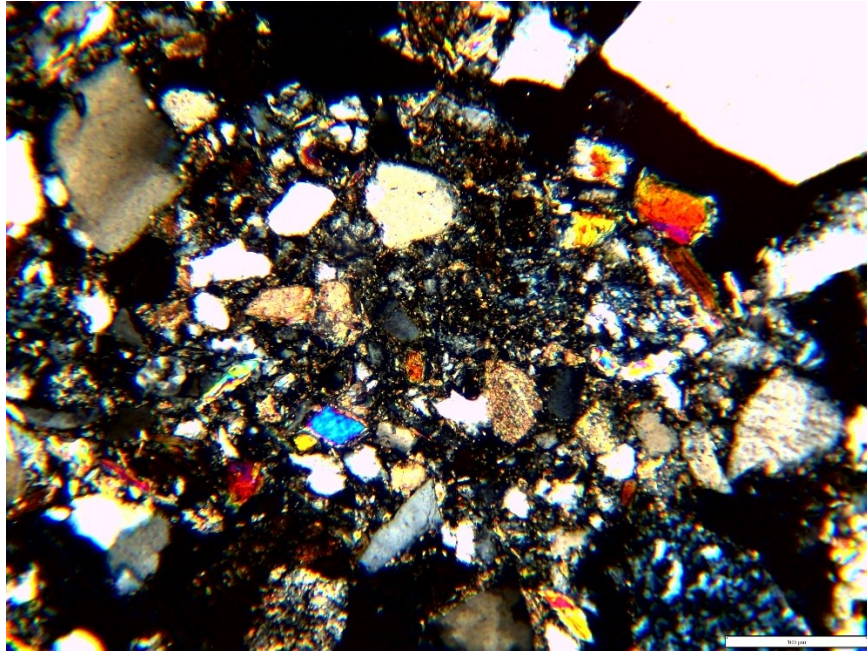


Figura 4.31: Dettaglio di frammento litico sedimentario a nicol X.

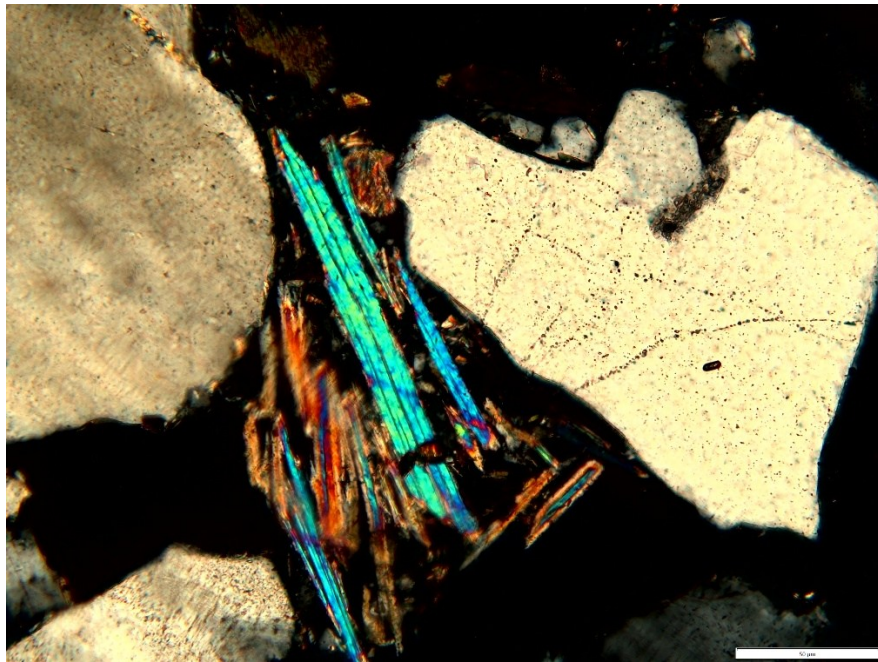


Figura 4.32: Dettaglio di mica tra due grani di quarzo a nicol X.

- ❖ **CP1-10,5:** La sezione mostra una composizione stimata del 50% di quarzo, 15% di feldspati e 35% di frammenti litici. I litici metamorfici sono i più presenti mentre in minor quantità è possibile trovare anche litici sedimentari.

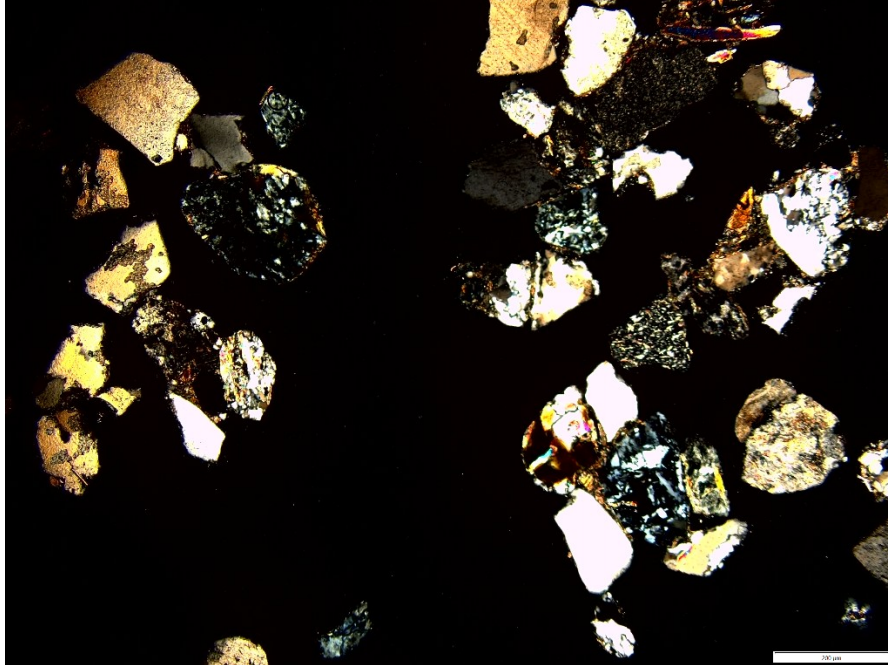


Figura 4.33: Panoramica della sezione sottile CP1-10.5 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

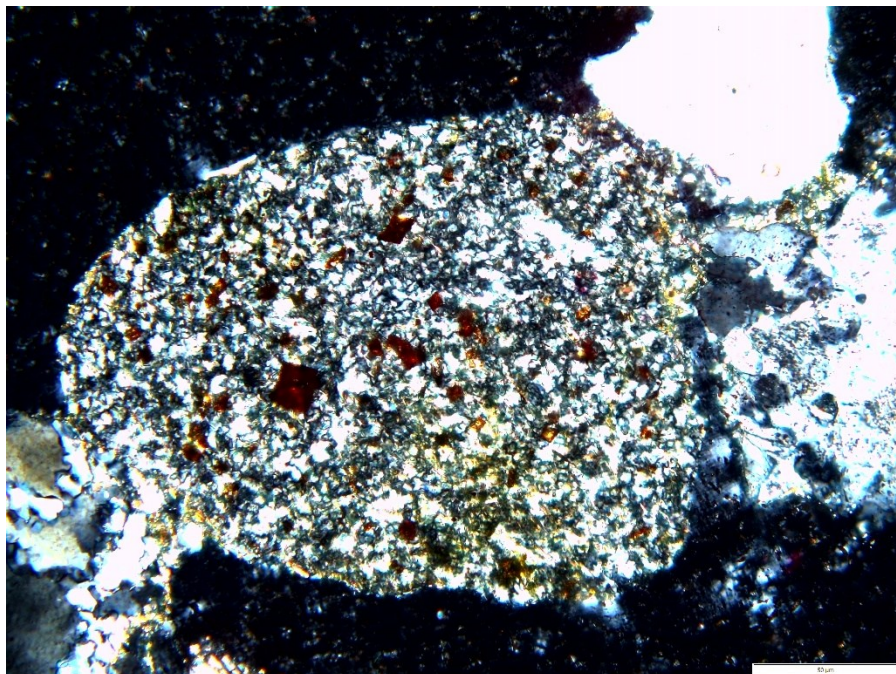


Figura 4.34: Dettaglio di frammento litico sedimentario a nicol X.

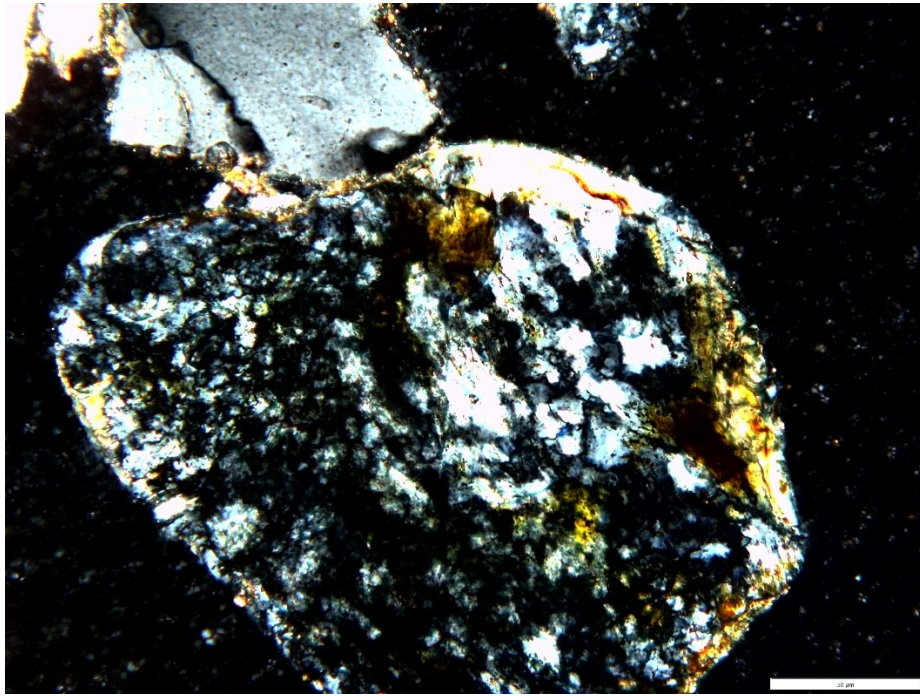


Figura 4.35: Dettaglio di frammento litico metamorfico Serpentiniscisto a nicol X.

- ❖ **CP1-11,5:** Discreto quantitativo di quarzo pari al 45%, 10% di feldspati e 35% di frammenti litici. I grani metamorfici risultano essere che in questo campione come per i precedenti in maggioranza rispetto a quelli sedimentari.

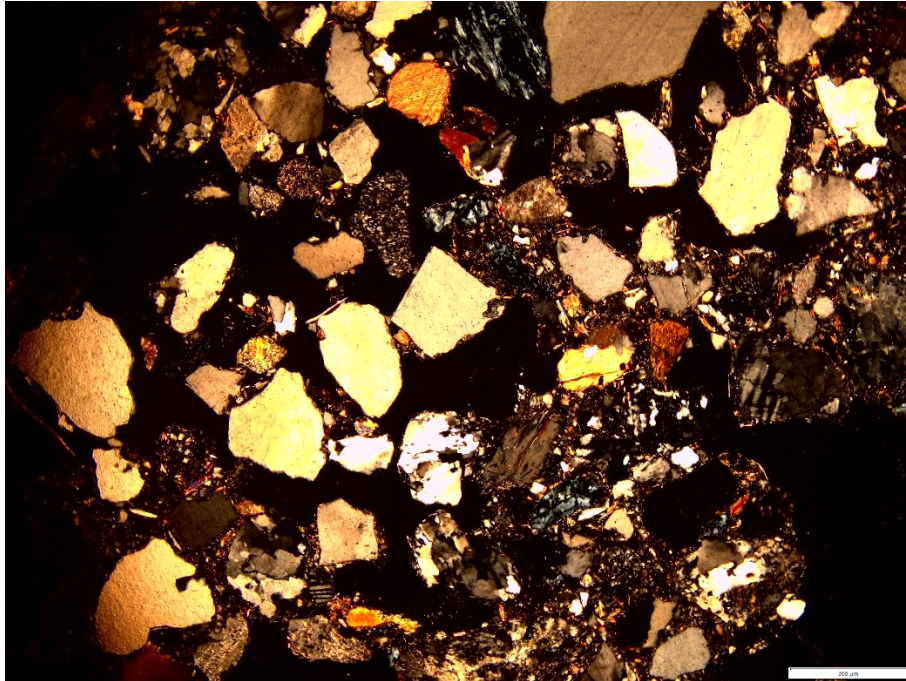


Figura 4.36: Panoramina della sezione sottile CP1-11.5 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

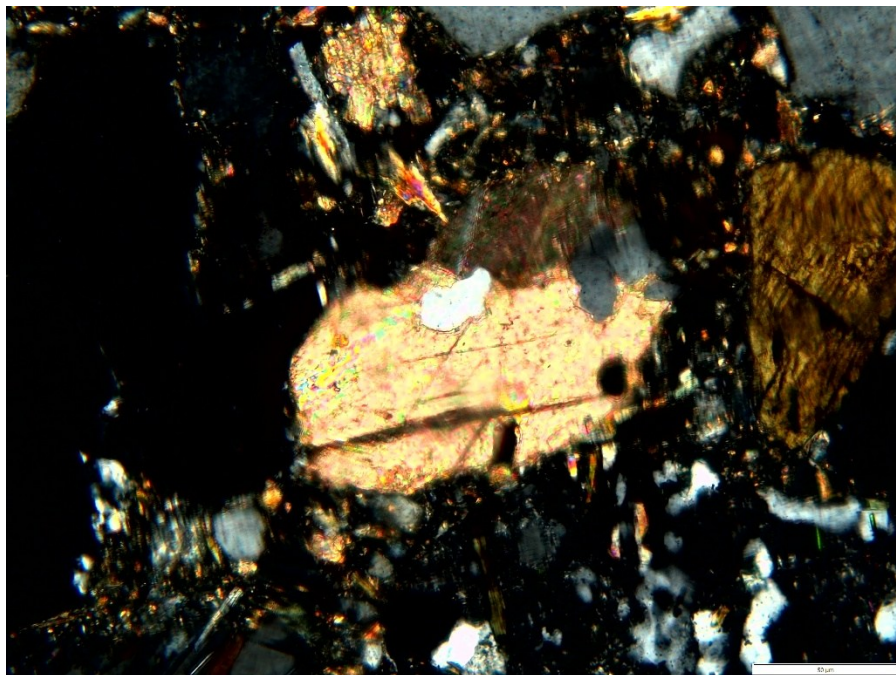


Figura 4.37: Dettaglio di frammento litico sedimentario (calcite) a nicol X.

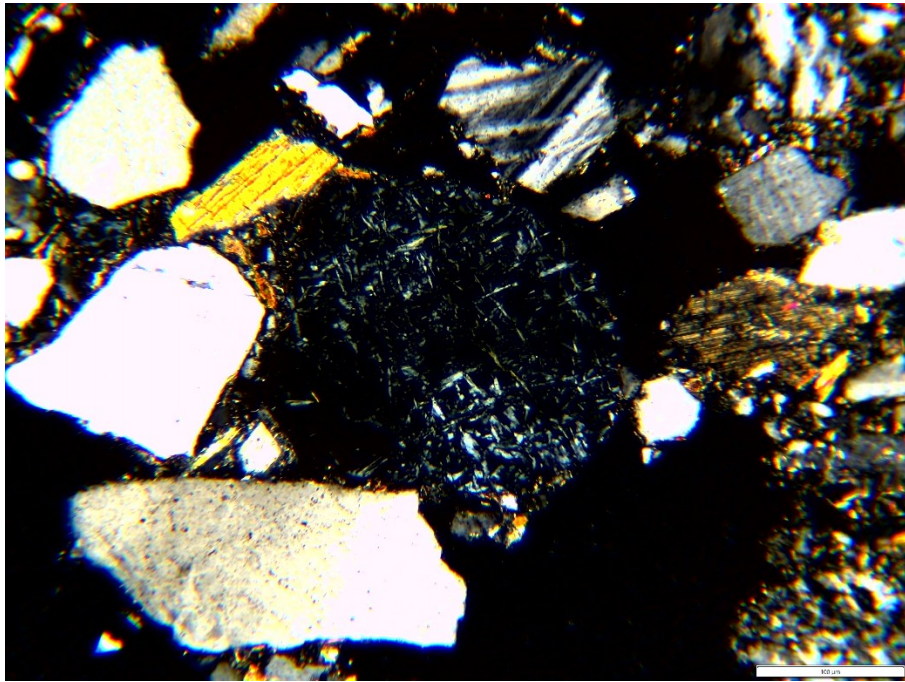


Figura 4.38: Dettaglio di frammento litico metamorfico a nicol X.

- ❖ **CP1-12,25**: Quantitativo di quarzo 45%, 20% di feldspati e 35% di frammenti litici. Come per i scorsi campioni si osserva la maggioranza di litici metamorfici e minori litici sedimentari e l'assenza o quasi di litici vulcanici. Sono stati individuati all'interni della sezione come grani accessori minerali pesanti.

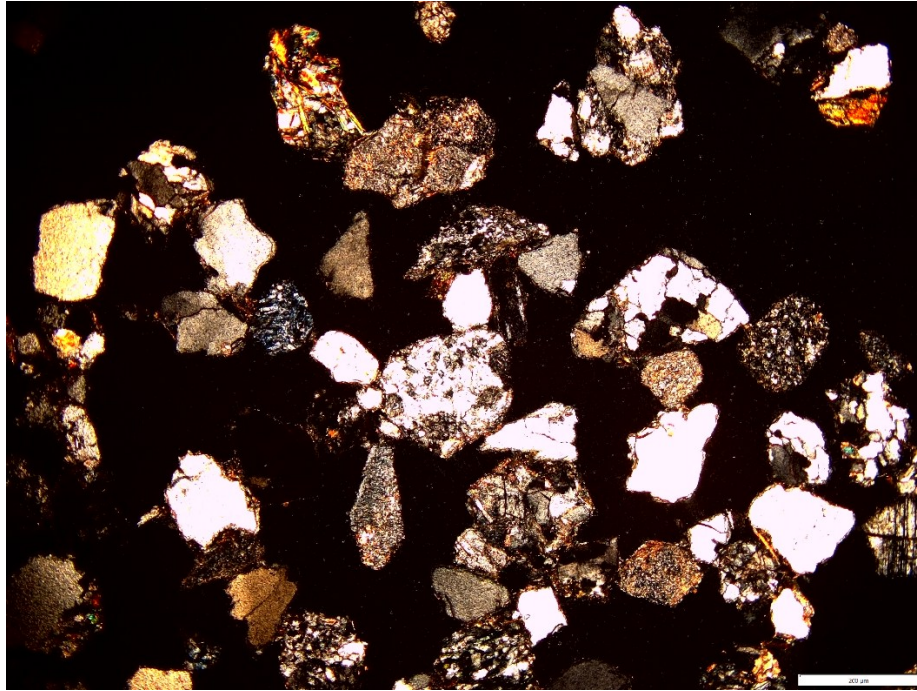


Figura 4.39: Panoramica della sezione sottile CP1-12.25 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

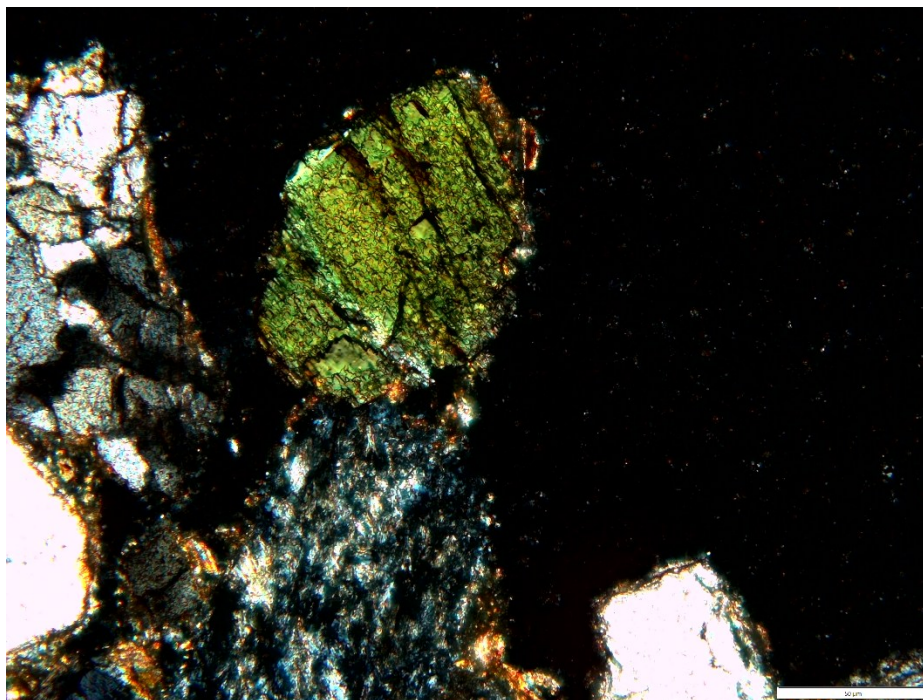


Figura 4.40: Dettaglio di granulo di minerale pesante a nicol X.

- ❖ **CP1-12,75**: Questo campione è assimilabile a quello precedente con un quantitativo di quarzo del 50%, feldspati 5% e litici, principalmente metamorfici, del 45%. Presenza di olivina alterata come minerale accessorio.

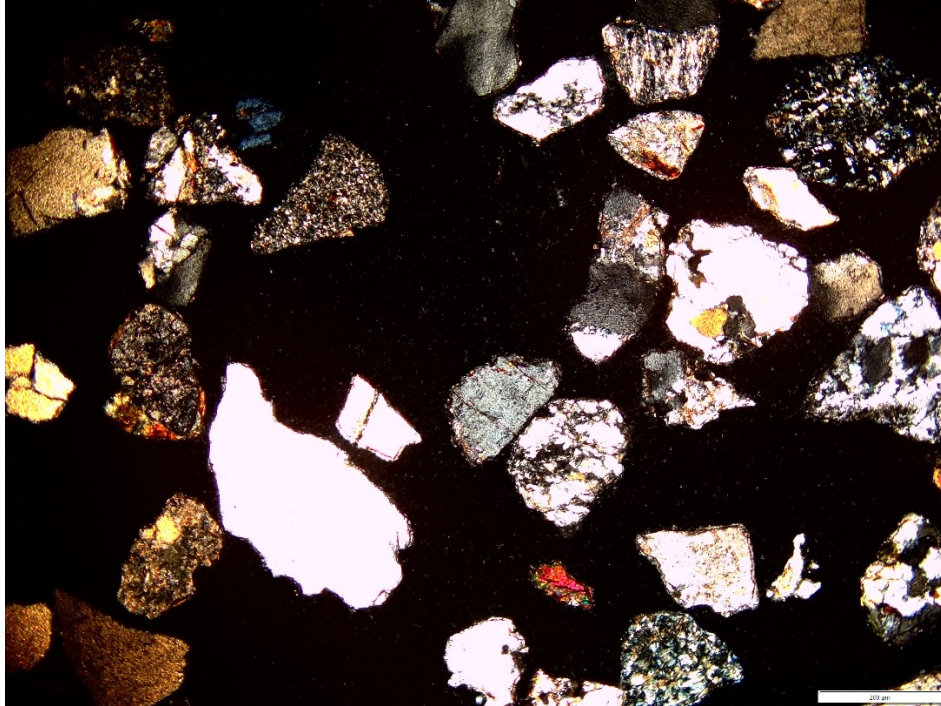


Figura 4.41: Panoramina della sezione sottile CP1-12.75 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

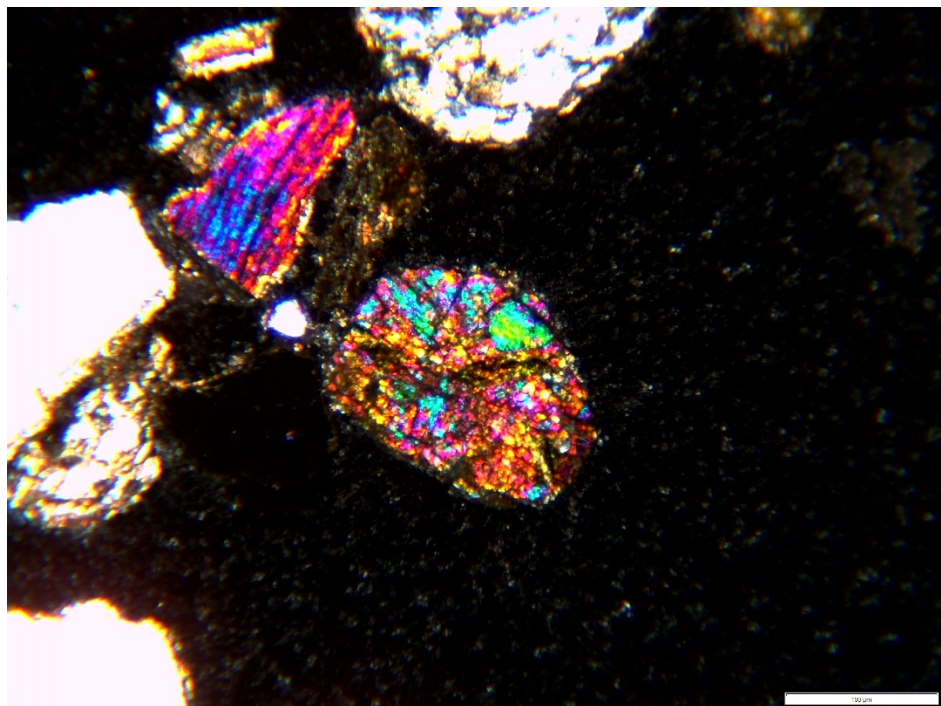


Figura 4.42: Dettaglio di frammento di Olivina a nicol X.

- ❖ **CP1-13,5**: Campione in cui si vede un quantitativo di litici particolarmente alto rispetto ai campioni precedenti superando il quarzo come costituente principale: quarzo 45%, 5% di feldspati e 50% di frammenti litici. Di questi restano principali i frammenti litici metamorfici.

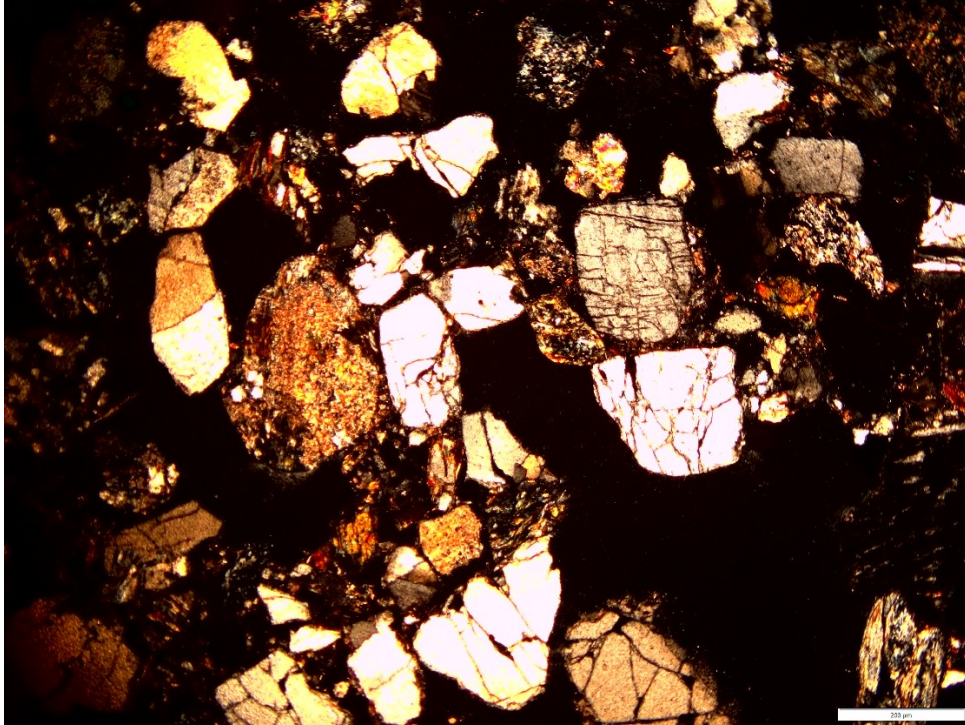


Figura 4.43: Panoramica della sezione sottile CP1-13.5 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

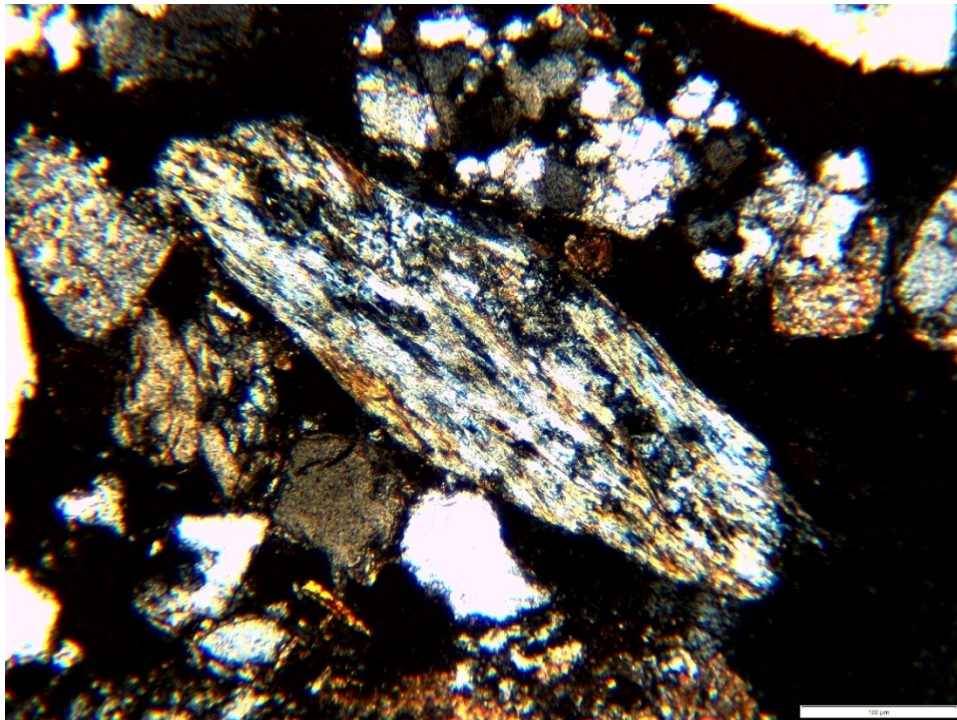


Figura 4.44: Dettaglio di frammento litico metamorfico (Serpentinoscisto) a nicol X.

- ❖ **CP1-14,5:** La sezione mostra una composizione stimata simile a quella del campione precedente: 45% di quarzo, 5% di feldspati e 50% di frammenti litici. Di questi, la quasi totalità è rappresentata da grani metamorfici. In particolare, sono stati individuati all'interno della sezione litici metamorfici polimineralici con anfiboli.

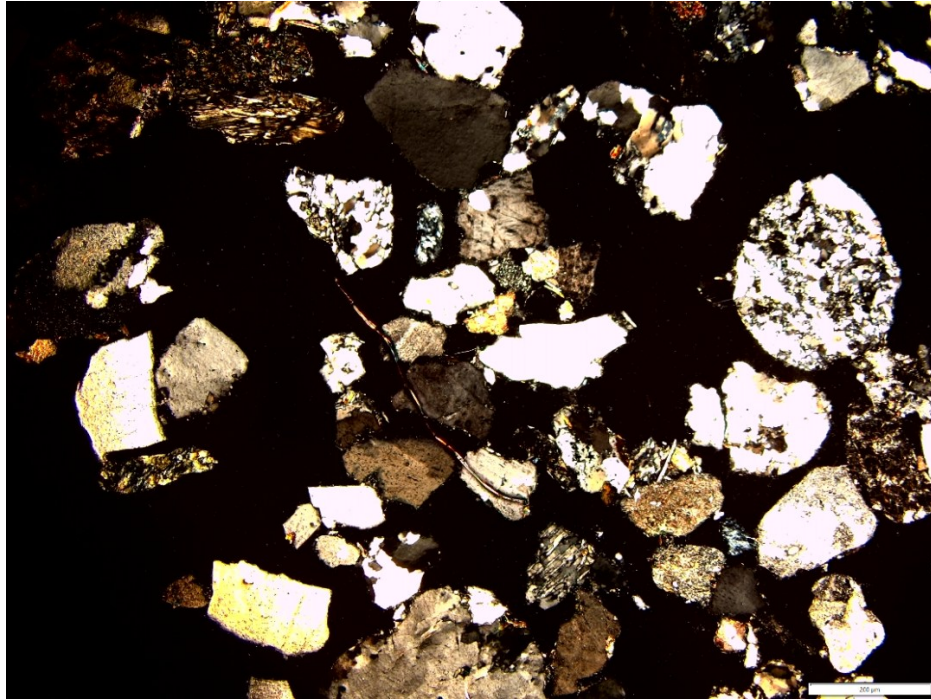


Figura 4.45: Panoramica della sezione sottile CP1-14.5 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

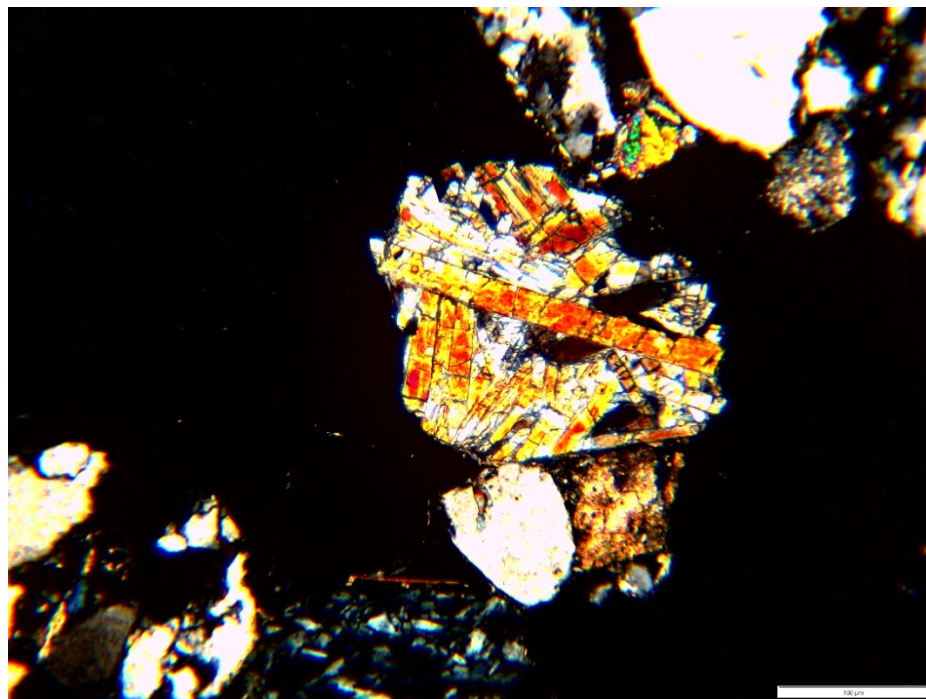


Figura 4.46: Dettaglio di frammento litico metamorfico (Anfibolo) a nicol X.

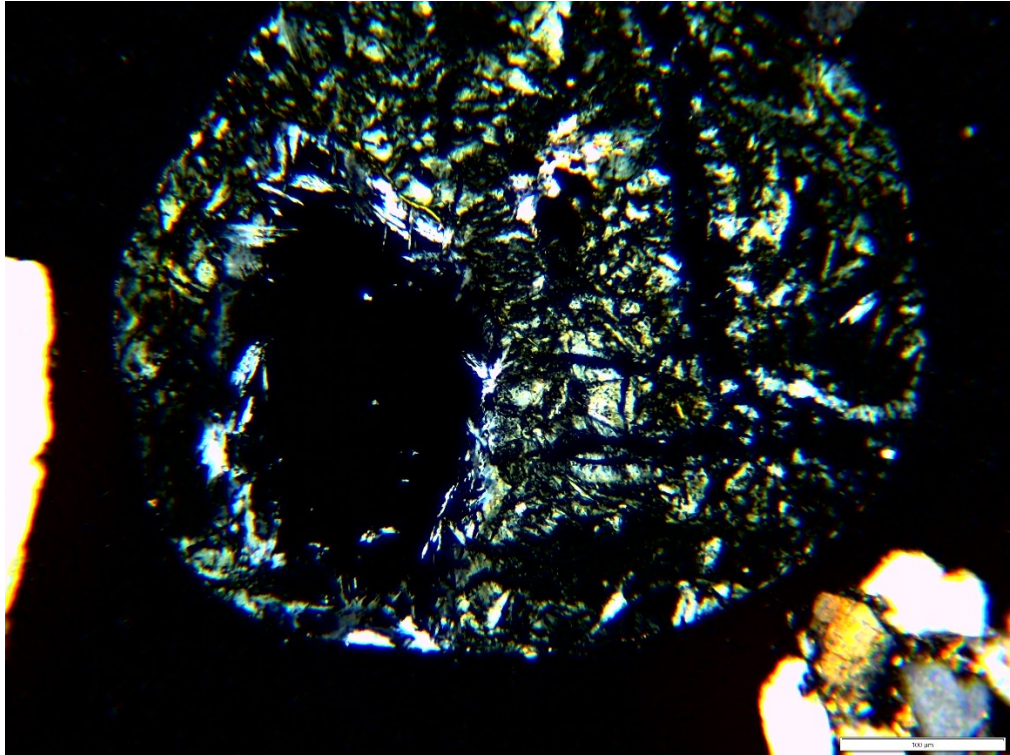


Figura 4.47: Dettaglio di frammento litico metamorfico (Serpentinoscisto) a nicol X.

- ❖ **CP1-15,1:** Questo campione è assimilabile a quello precedente con un quantitativo di quarzo del 45%, feldspati 10% e litici del 45%. Si osserva la presenza oltre che di anfiboli anche di calcite come litico sedimentario.

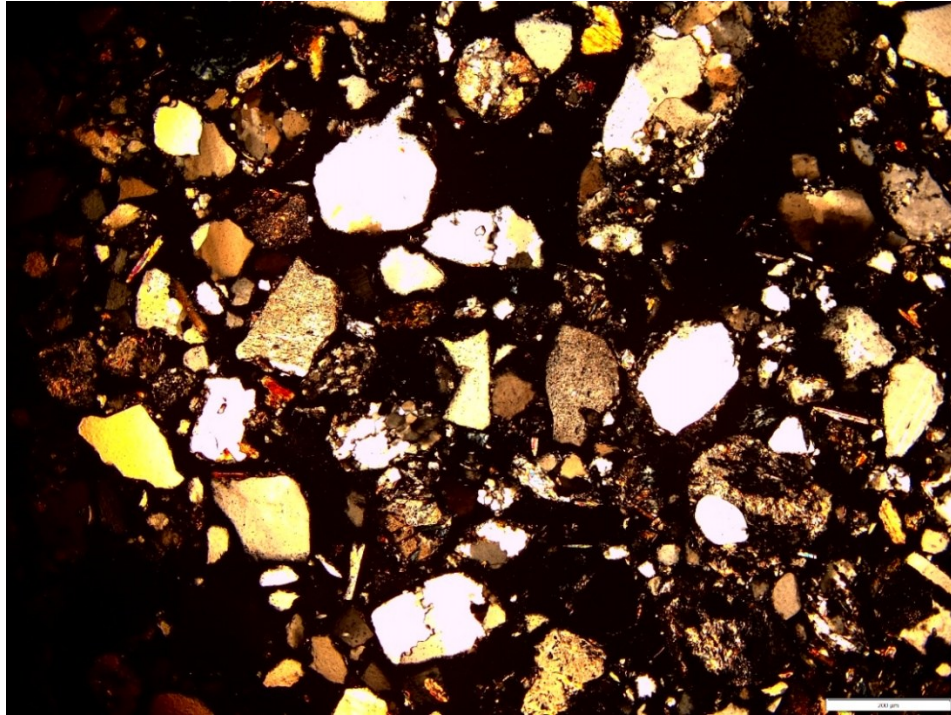


Figura 4.48: Panoramina della sezione sottile CP1-15.1 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

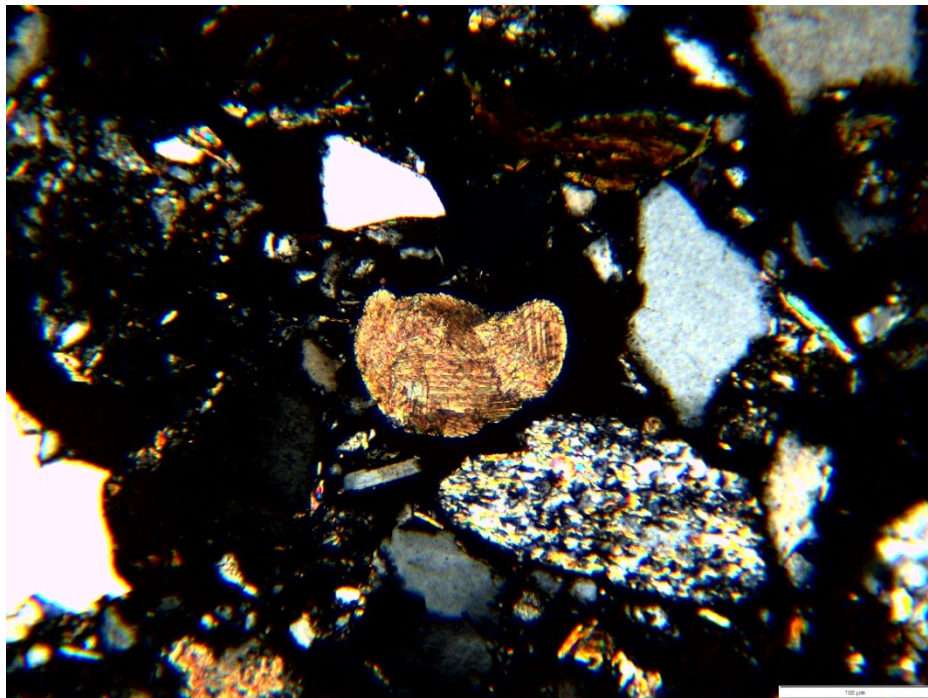


Figura 4.49: Dettaglio di frammento litico sedimentario (Calcite) a nicol X .

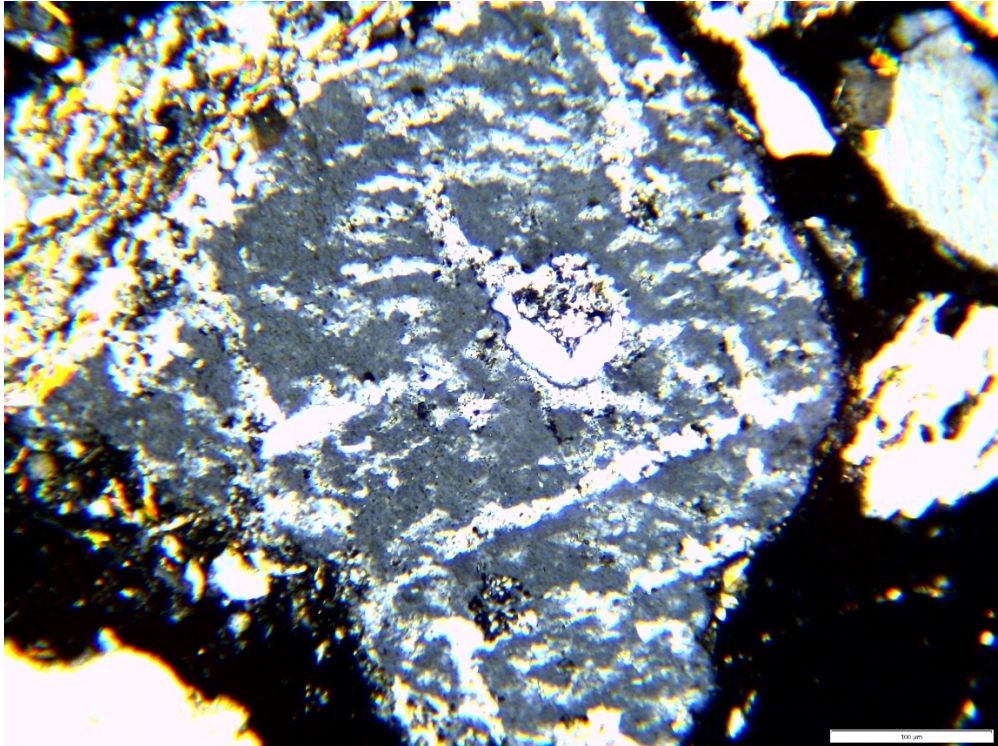


Figura 4.50: Dettaglio di grano di feldspato a nicol X (K-feldspato con strutture pertitiche).

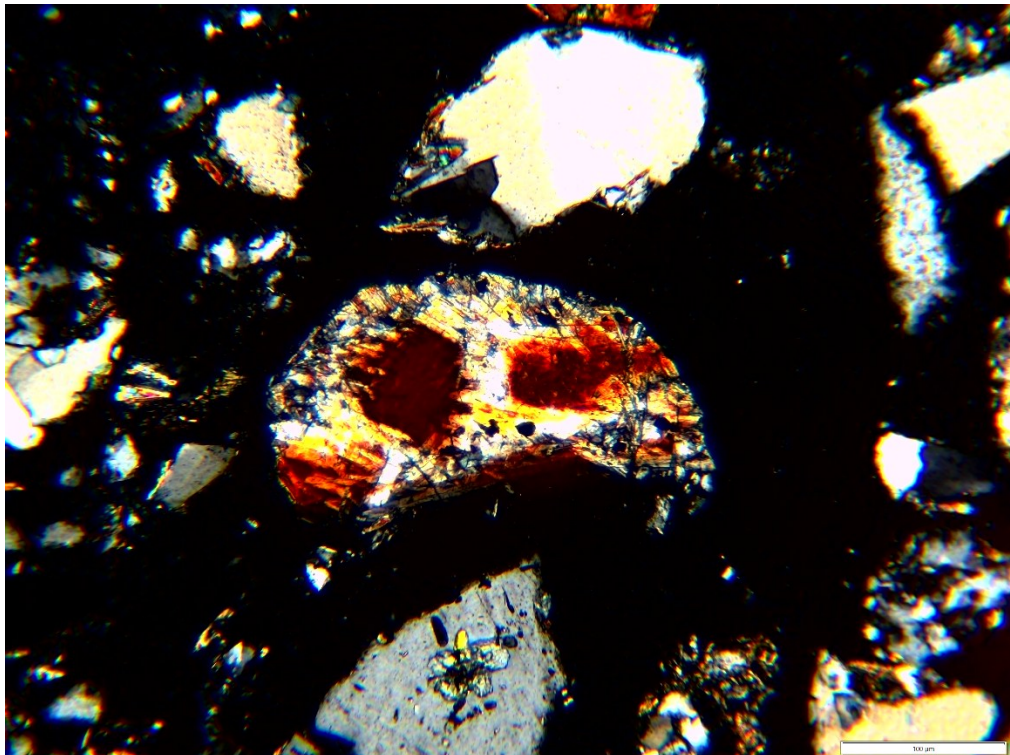


Figura 4.51: Dettaglio di frammento litico metamorfico (Anfibolo alterato) a nicol X .

4.3.2 - Campioni di ghiaia nuovo sondaggio CARG Pavia 160

Descrizione semi-quantitativa e foto (da Fig. 4.52 a 4.70) dei campioni di ghiaie provenienti dal nuovo sondaggio CARG Pavia 160:

- ❖ **CP1-C13,6**: Ciottolo assimilabile a quarzite per la composizione quasi monomineralica di quarzo tranne per la presenza di vene calcitiche.

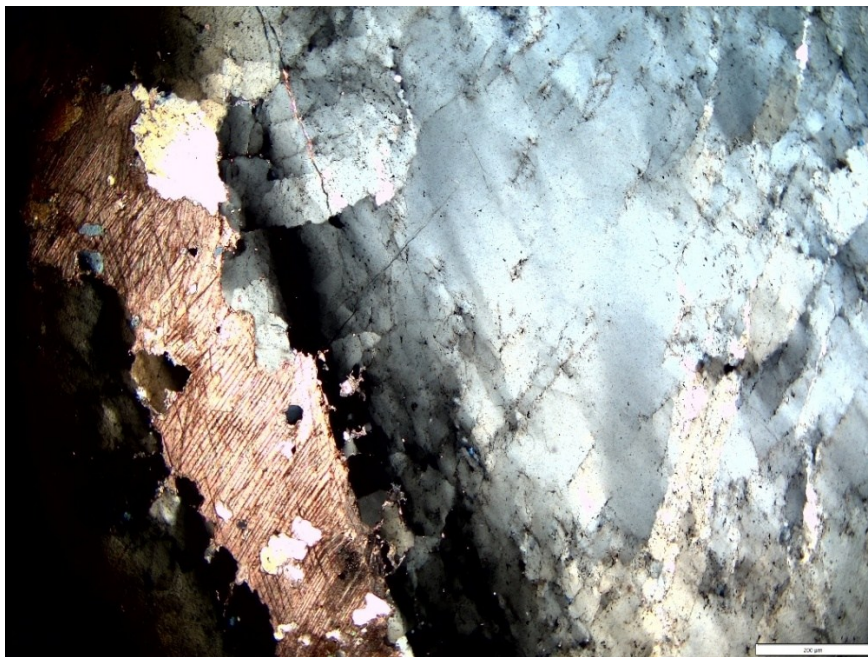


Figura 4.52: Campione CP1-C13.6 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

❖ CP1-C13,7: polimineralico a tessitura fine a quarzo e muscovite (micascisto).



Figura 4.53: Campione CP1-C13.7 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

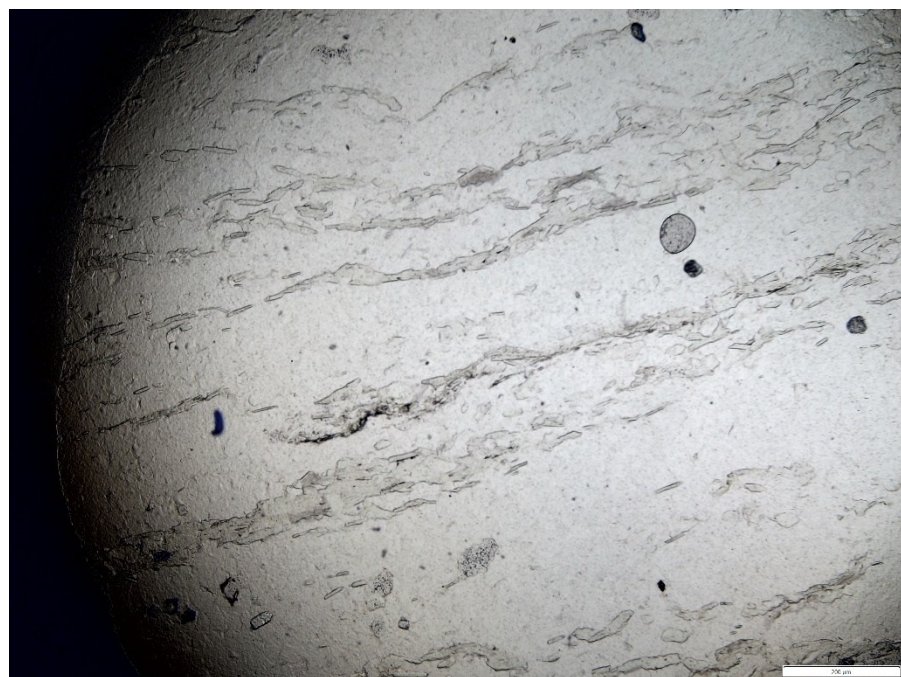


Figura 4.54: Campione CP1-C13.7 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol //.

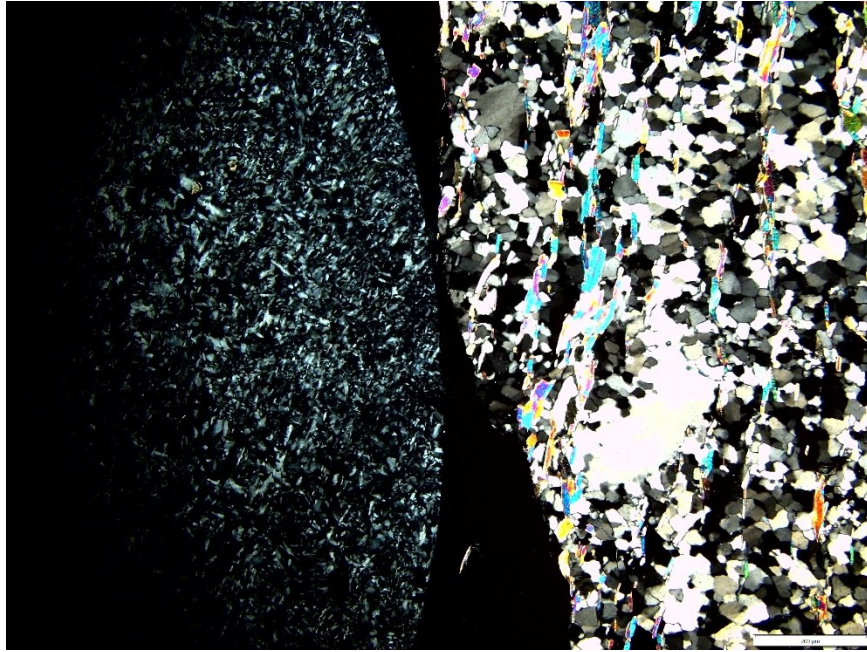


Figura 4.55: Ciottoli di micascisto (a destra) e serpentinoscisto (a sinistra) a nicol X.



Figura 4.56: Ciottoli di micascisto (a destra) e serpentinoscisto (a sinistra) a nicol //.

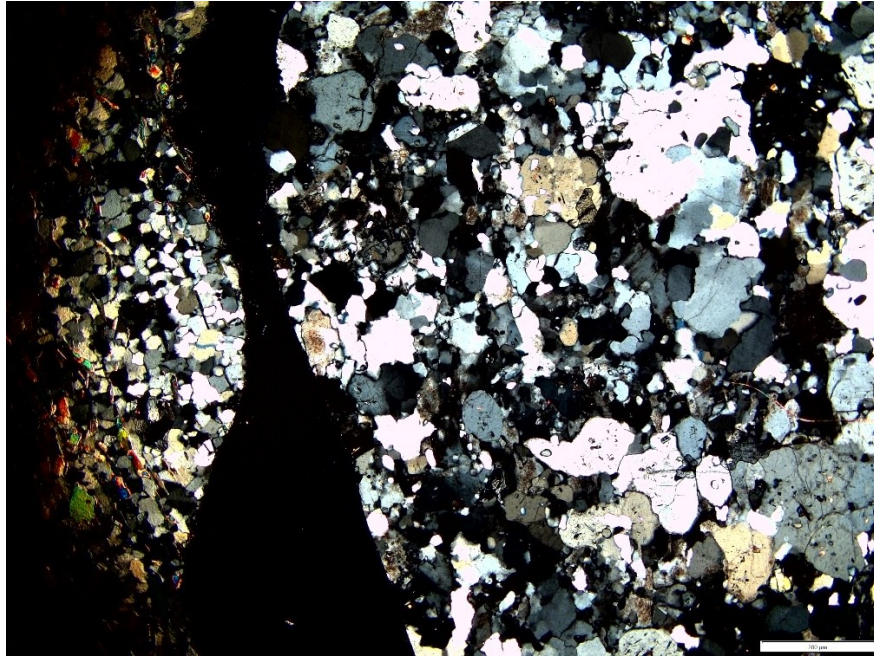


Figura 4.57: Ciottoli di micascisto e gneiss a nicol X.

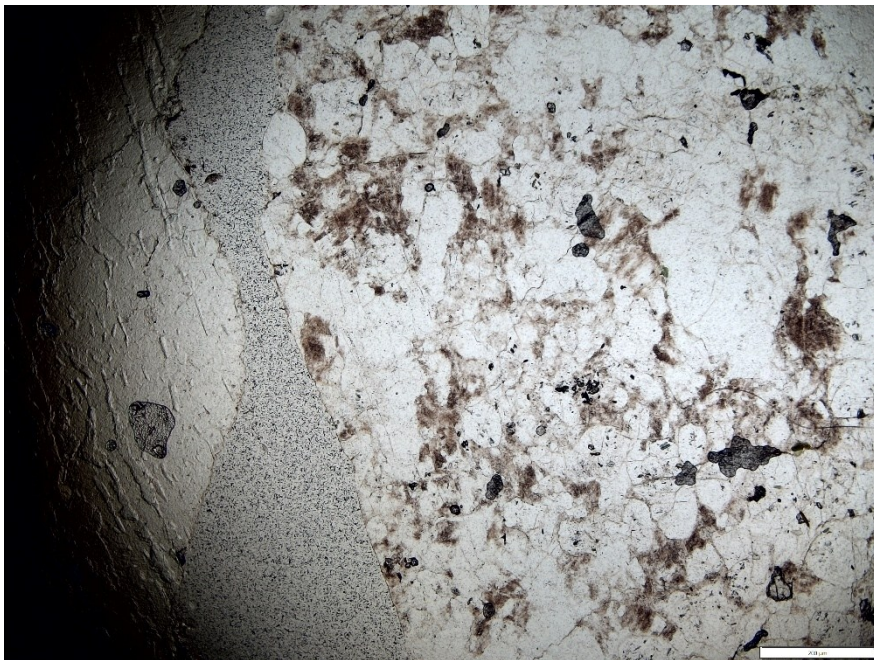


Figura 4.58: Ciottoli di micascisto e gneiss e gneiss a nicol X.

- ❖ **CP1-C13,8:** Ciottolo a composizione carbonatica (mudstone con particelle di selce), con presenza di vene di calcite spatica.

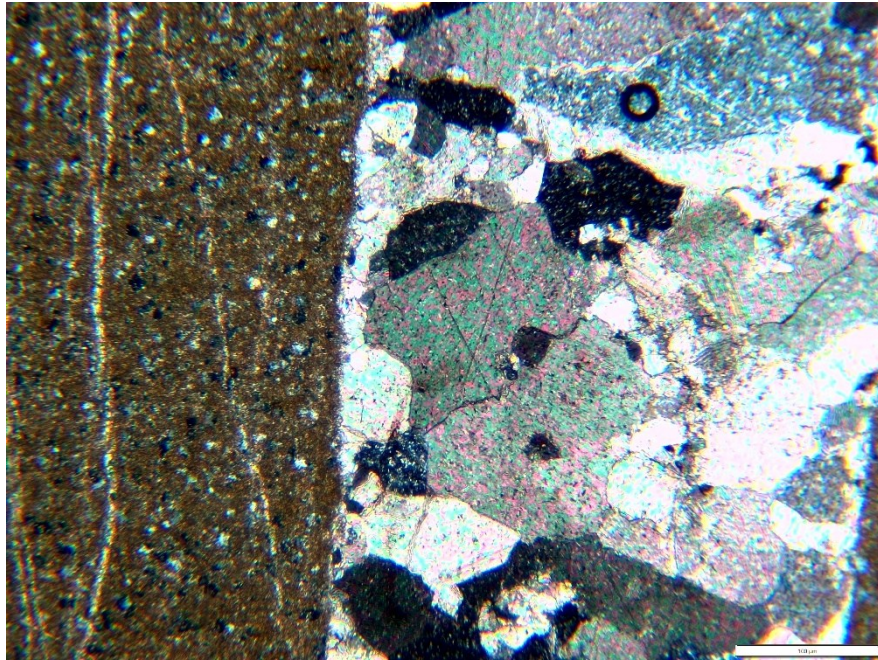


Figura 4.59: Campione CP1-C13.8 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

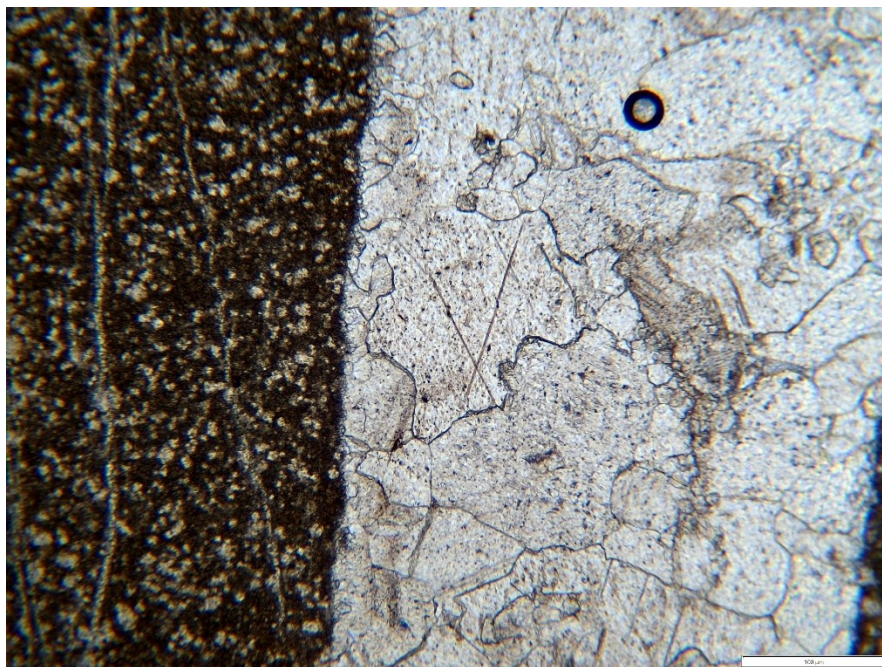


Figura 4.60: Campione CP1-C13.8 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol //.

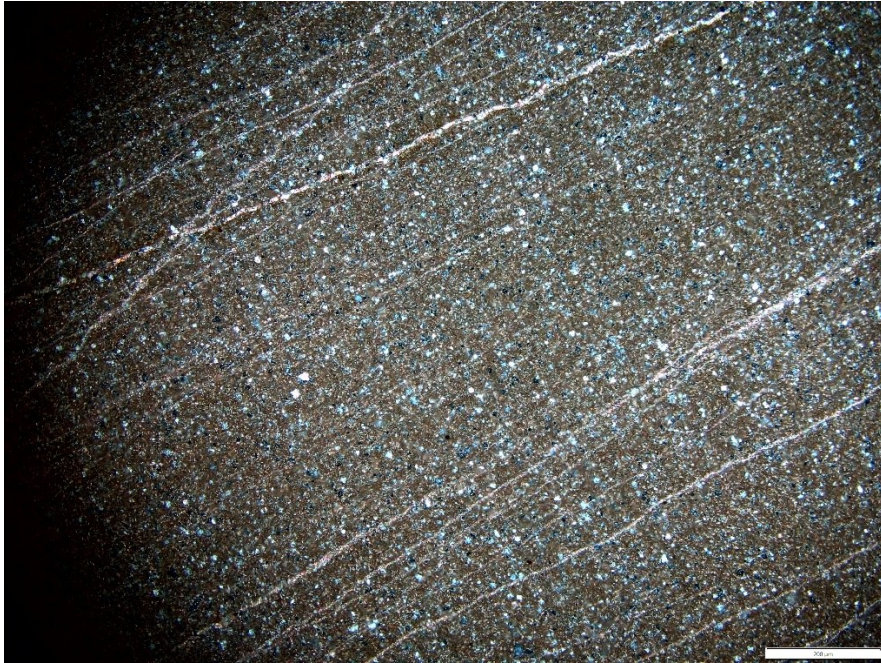


Figura 4.61: Campione CPI-C13.8 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X (calcare a grana fine a radiolari).



Figura 4.62: Campione CPI-C13.8 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol // (calcare a grana fine a radiolari).

❖ CP1-C13,9: Ciottolo metamorfico eterogranulare (gneiss).

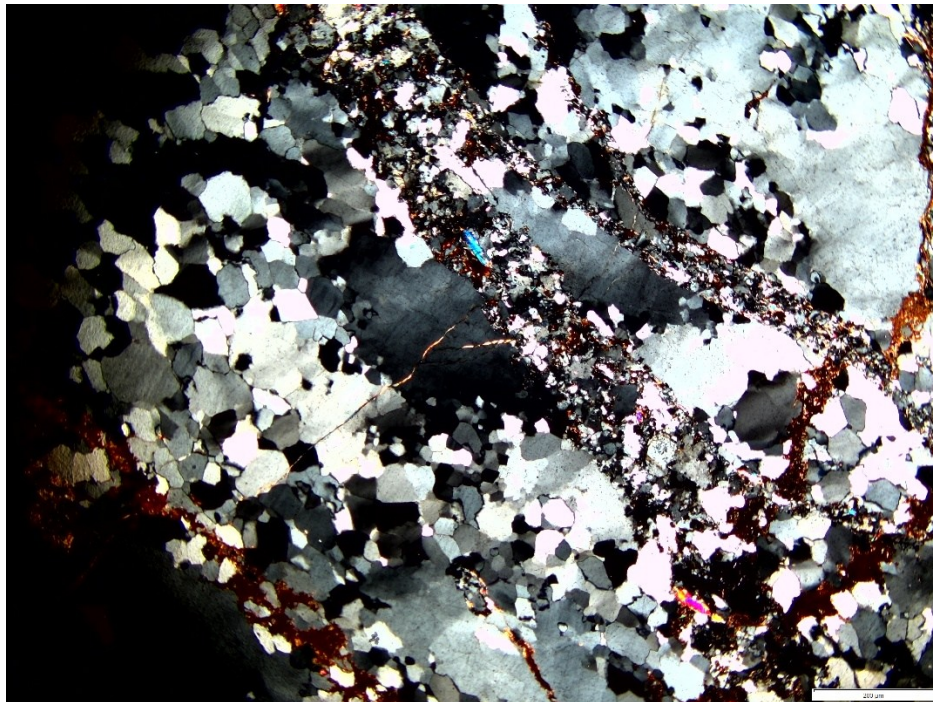


Figura 4.63: Campione CP1-C13.9 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

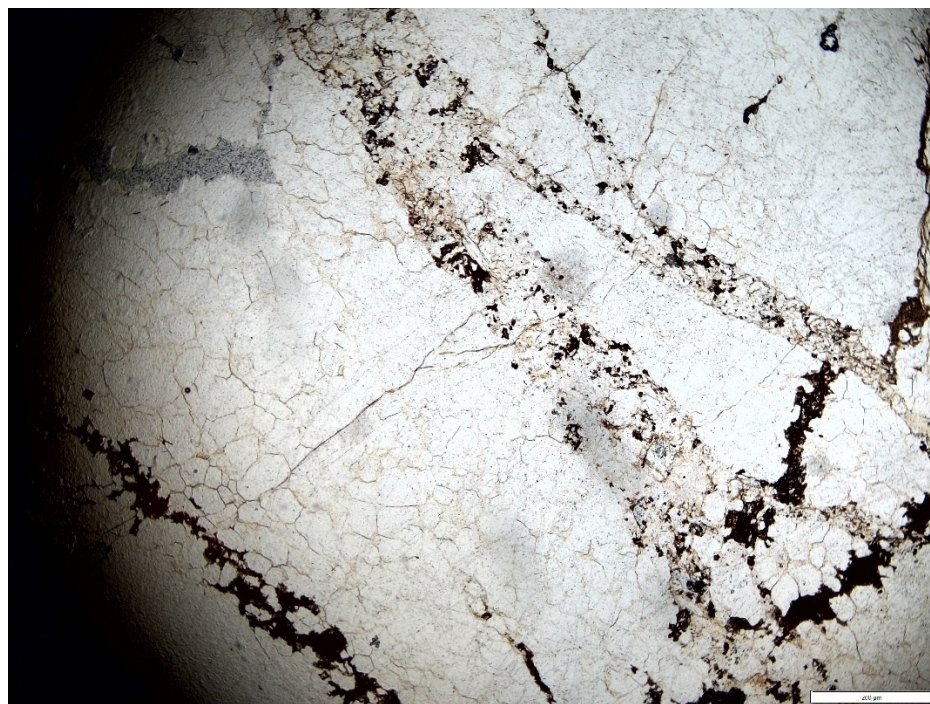


Figura 4.64: Campione CP1-C13.9 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol //.

- ❖ **CP1-C14,0**: Ciottolo quarzoso di origine metamorfica (quarzo policristallino a grana fine) con evidenze di deformazione metamorfica indicate dall'orientazione preferenziale dei grani.

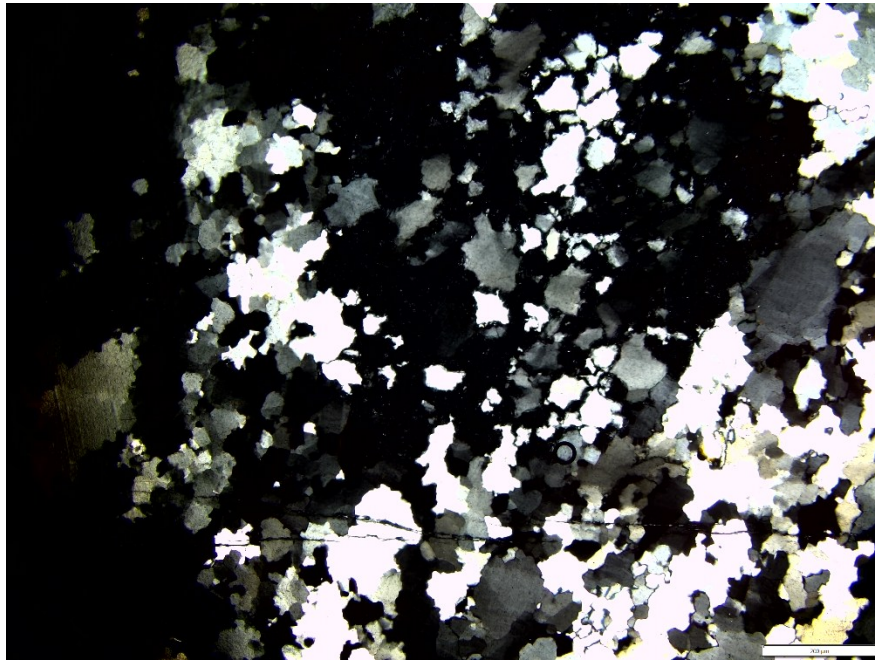


Figura 4.65: Campione CP1-C14.0 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.

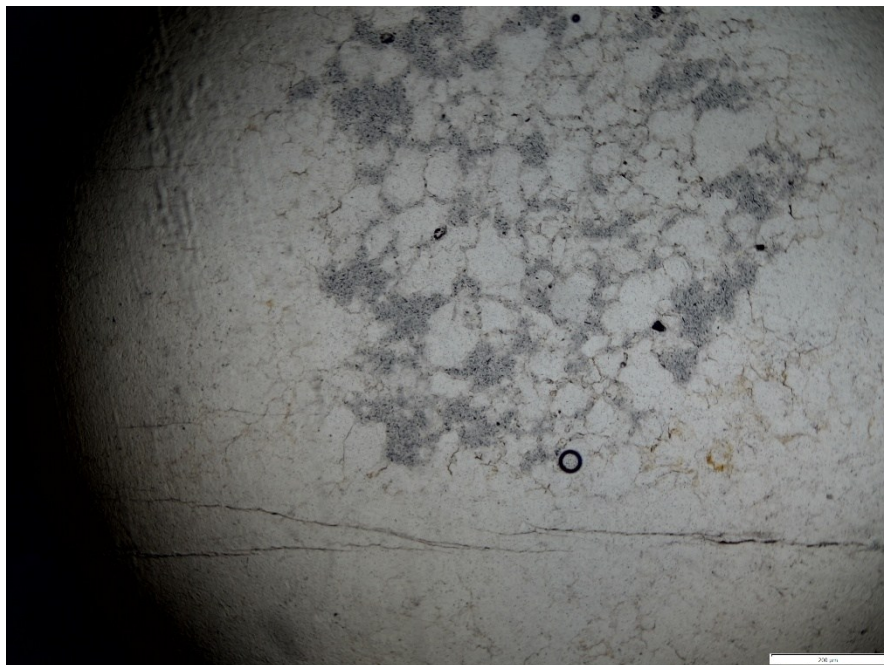


Figura 4.66: Campione CP1-C14.0 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol //.

- ❖ **CP1-C14,1:** Ciottolo polimineralico caratterizzato dalla presenza di un frammento di feldspato attorno al quale si sviluppano cristalli di quarzo e crescita di miche.

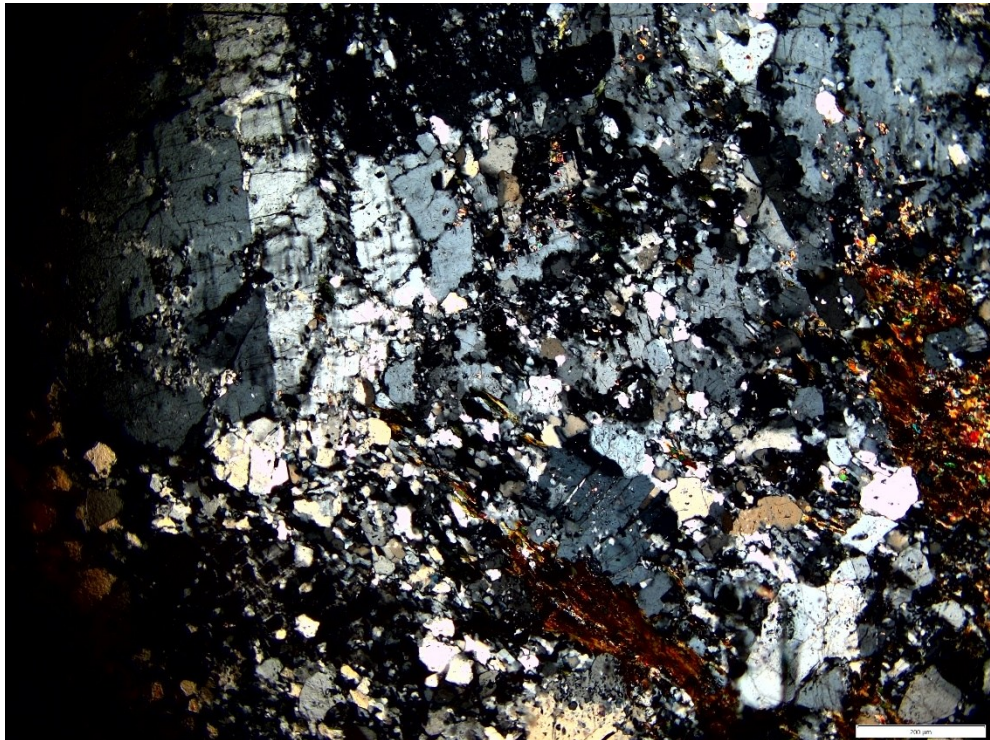


Figura 4.67: Campione CP1-C14.1 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.



Figura 4.68: Campione CP1-C14.1 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol //.

- ❖ **CP1-C14,6:** Ciottolo calcareo, caratterizzato dalla presenza di microfossili calcarei dalla forma arrotondata e dimensioni simili oltre che da vene calcitiche.

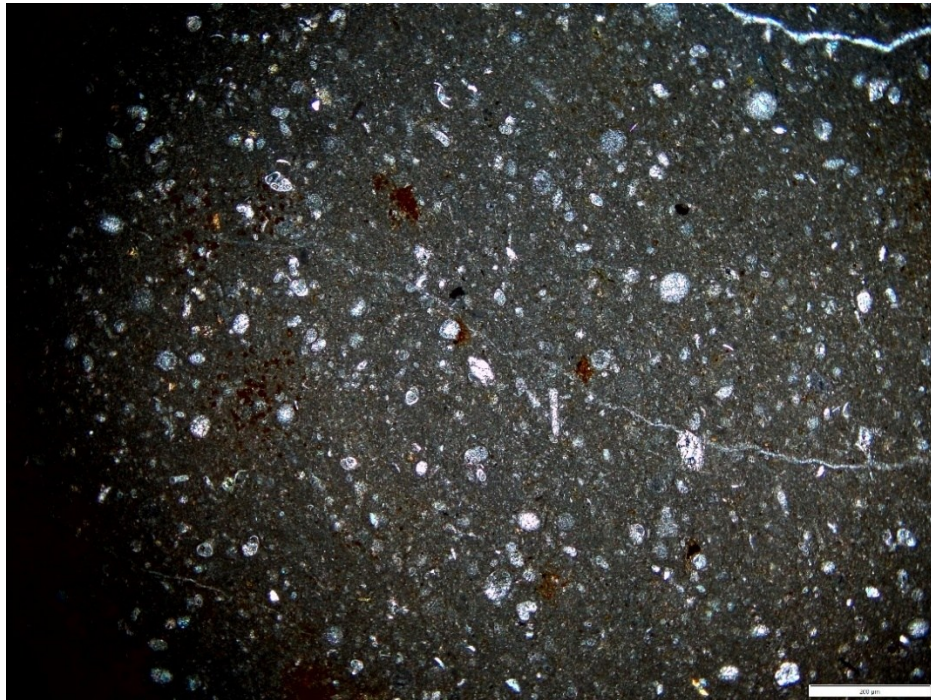


Figura 4.69: Campione CP1-C14.6 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol X.



Figura 4.70: Campione CP1-C14.6 del sondaggio CARG Pavia 160 a nicol //.

4.3.3 - Campioni di sabbia attuali

Descrizione semi-quantitativa dei campioni di sabbie attuali dei fiumi Po (PO), Ticino (TIC), Curone (CU), Scrivia (SC), Staffora (ST) analizzate nella tesi di Daniel Ghia Gabriele dal titolo “STUDIO PETROGRAFICO-MINERALOGICO DEI SEDIMENTI ATTUALI DEL PO E DEI SUOI AFFLUENTI TRA ALESSANDRIA E PIACENZA” :

- ❖ **PO4:** Quarzo: 50%, Feldspato: 7%, Litici: 43%
- ❖ **PO7:** Quarzo: 45%, Feldspato: 5%, Litici: 50%
- ❖ **TIC:** Quarzo: 70%, Feldspato: 20%, Litici: 10%
- ❖ **TICtot:** Quarzo: 75%, Feldspato: 20%, Litici: 5%
- ❖ **CU:** Quarzo: 5%, Feldspato: 15%, Litici: 70%
- ❖ **SC:** Quarzo: 7%, Feldspato: 15%, Litici: 65%
- ❖ **ST:** Quarzo: 7%, Feldspato: 10%, Litici: 75%

4.3.4 – Tabella riassuntiva e confronto dei risultati

Dall’analisi petrografica semi-quantitativa svolta sui campioni provenienti dal nuovo sondaggio e da campioni di sabbie attuali sono stati ottenuti i seguenti risultati:

| Campione | Q (%) | F(%) | L(%) |
|-----------------|--------------|-------------|-------------|
| CP1 – 9.5 | 50 | 10 | 40 |
| CP1 – 10.5 | 50 | 15 | 35 |
| CP1 – 11.5 | 55 | 10 | 35 |
| CP1 – 12.25 | 45 | 20 | 35 |
| CP1 – 12.75 | 50 | 5 | 45 |
| CP1 – 13.5 | 45 | 5 | 50 |
| CP1 – 14.5 | 45 | 5 | 50 |
| CP1 – 15.1 | 45 | 10 | 45 |
| PO4 | 50 | 7 | 43 |
| PO7 | 45 | 5 | 50 |
| TIC | 70 | 20 | 10 |
| TICtot | 75 | 20 | 5 |
| CU | 5 | 15 | 70 |
| SC | 7 | 15 | 65 |

| | | | |
|----|---|----|----|
| ST | 7 | 10 | 75 |
|----|---|----|----|

Tabella 4.10: Tabella riassuntiva delle percentuali QFL stimate semi-quantitativamente.

Dai risultati ottenuti attraverso l'analisi petrografica semi-quantitativa sono stati confrontati i campioni provenienti dal nuovo sondaggio e i campioni di sabbie attuali dei fiumi Po, Ticino e dei diversi affluenti appenninici (Fig. 4.71).

Da questi risultati, coerentemente con la natura metamorfica della stragrande maggioranza dei grani litici e dei ciottoli osservati nei campione del sondaggio CARG Pavia 1, si può concludere che tutto l'intervallo sabbioso-ghiaioso intercettato nella parte superiore del sondaggio è attribuibile a sedimenti del fiume Po.

QFL sondaggio CARG Pavia 160 + sabbie attuali

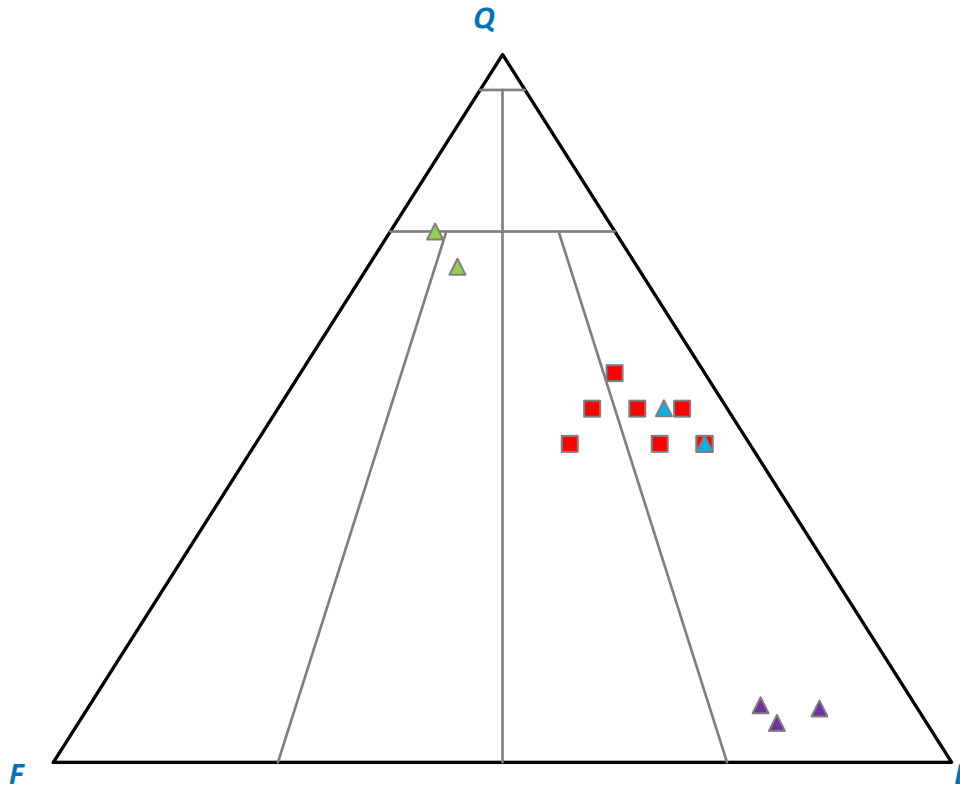


Figura 4.71: Diagramma QFL di confronto tra campioni del nuovo sondaggio CARG Pavia 160 e sabbie attuali. Simboli: 1) quadrati rossi = campiodi del sondaggio CARG pavia 160; 2) triangoli azzurri=campioni di sedimenti attuali del fiume Po; 3) triangoli verdi=campioni di sedimenti attuali del fiume Ticino; 4) triangoli viola=campioni di sedimenti attuali degli affluenti appenninici del Po (Tebbia, Curone, Staffora)

4.3.5 – Confronto dell'approccio analitico semi-quantitativo e quantitativo

E' stato infine svolto un confronto tra l'approccio quantitativo svolto da Daniel Ghia Gabriele nella sua tesi "STUDIO PETROGRAFICO-MINERALOGICO DEI SEDIMENTI ATTUALI DEL PO E DEI SUOI AFFLUENTI TRA ALESSANDRIA E PIACENZA" per i campioni Po, Ticino e Affluenti Appenninici e i medesimi campioni utilizzati in questo studio con l'approccio semi-quantitativo.

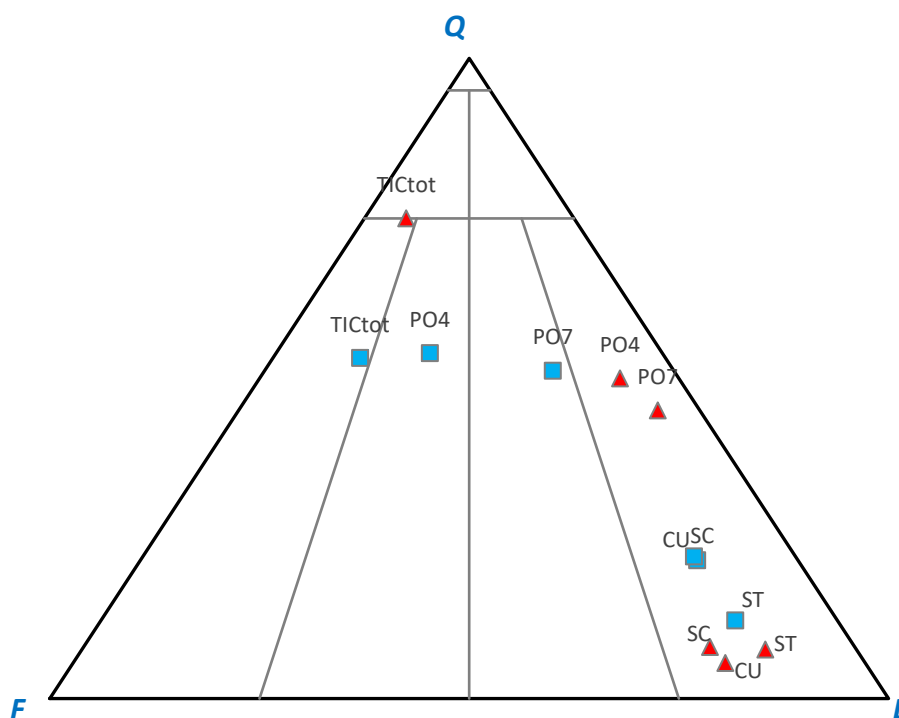


Figura 4.72: Confronto tra l'approccio quantitativo utilizzato da Daniel Ghia Gabriele e l'approccio semi-quantitativo. Simboli: 1) triangoli rossi = campioni analizzati con l'approccio quantitativo; 2) quadrati azzurri=campioni analizzati con l'approccio semi-quantitativo;

| Campione | Q | F | L |
|----------|------|------|------|
| PO4 | 53,9 | 27,7 | 18,4 |
| PO7 | 51,2 | 14,4 | 34,4 |
| TICtot | 53,2 | 36,4 | 10,4 |
| CU | 21,6 | 12,0 | 66,4 |
| SC | 22,0 | 12,0 | 65,2 |
| ST | 13,2 | 13,2 | 82,0 |

Tabella 4.11: Tabella riportante la composizione modale stimata in maniera quantitativa per i campioni Po, Ticino, Curone, Scrivia e Staffora.

| Campione | Q | F | L |
|----------|------|------|------|
| PO4 | 50,0 | 7,0 | 43,0 |
| PO7 | 45,0 | 5,0 | 50,0 |
| TICtot | 75,0 | 20,0 | 5,0 |
| CU | 5,0 | 15,0 | 70,0 |
| SC | 7,0 | 15,0 | 65,0 |
| ST | 7,0 | 10,0 | 75,0 |

Tabella 4.12: Tabella riportante la composizione modale stimata in maniera semi-quantitativa per i campioni Po, Ticino, Curone, Scrivia e Staffora.

Dai risultati ottenuti da questo confronto è possibile affermare che l'approccio semi-quantitativo, sebbene da utilizzare in maniera speditiva, si è dimostrato utile e valido per discriminare la provenienza di campioni provenienti da contesti fluviali diversi.

5- CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si inserisce nell'ambito del progetto CARG, con l'obiettivo di contribuire alla definizione del modello geologico del primo sottosuolo dell'area di pianura compresa nel Foglio CARG Pavia 160. L'attività svolta ha permesso l'integrazione di dati di sottosuolo derivanti da un nuovo sondaggio a carotaggio continuo (CARG Pavia 160) con analisi granulometriche e petrografiche, al fine di caratterizzare i depositi intercettati e ricostruire la provenienza e il contesto deposizionale.

L'analisi stratigrafica dell'intervallo stratigrafico compreso tra 5 e 20 metri dal piano campagna ha evidenziato una successione prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, riconducibile a depositi fluviali ad energia medio-alta, coerenti con i sistemi alluvionali che caratterizzano il primo sottosuolo della Pianura Padana.

Dal punto di vista tessiturale, i risultati delle analisi granulometriche hanno mostrato una scarsa omogeneità lungo la verticale del sondaggio, con sedimenti generalmente classificabili, secondo la classificazione AGI, come sabbie medie, talora ghiaiose, con grado di cernita variabile da ben selezionato a scarsamente selezionato. I parametri tessiturali chiave (diametro medio e Trask Index) evidenziano un trend generale verso un aumento della granulometria e una diminuzione della cernita con la profondità, suggerendo variazioni nelle condizioni di trasporto e deposizione, probabilmente legate a dinamiche fluviali variabili nel tempo, con energia e capacità di trasporto decrescenti nel tempo.

Tuttavia, il confronto con le sabbie attuali dei fiumi che insistono sull'area in esame (Po, Ticino, affluenti appenninici) ha evidenziato una discrepanza tra i risultati dell'analisi granulometrica e quelli dell'analisi petrografica. I dati tessiturali, infatti, non risultano pienamente coerenti con le informazioni composizionali ottenute dalle sezioni sottili, evidenziando come l'analisi granulometrica, pur utile per descrivere i processi deposizionali, non sia sufficiente da sola per determinare in maniera affidabile la provenienza dei sedimenti analizzati.

Al contrario, l'analisi petrografica, seppur semi-quantitativa, ha fornito indicazioni molto più robuste e significative. I campioni analizzati mostrano infatti una composizione caratterizzata da una percentuale elevata di granuli di quarzo, accompagnati da frammenti litici, prevalentemente di natura metamorfica e, in misura minore, feldspati associata alla quasi totale assenza di componenti vulcanici e la presenza molto subordinata di litici sedimentari.

Il confronto con i dati composizionali delle sabbie attuali dei principali sistemi fluviali dell'area ha permesso di evidenziare una chiarissima affinità tra i campioni del sondaggio CARG Pavia 160 e i

depositi attuali del fiume Po. In particolare, i valori QFL ottenuti risultano coerenti con quelli dei campioni del Po, caratterizzati da un equilibrio tra quarzo e litici e da una significativa componente metamorfica, mentre si discostano nettamente sia dai sedimenti del Ticino, più ricchi in quarzo e feldspati, sia da quelli degli affluenti appenninici, dominati da litici sedimentari.

Sulla base di queste evidenze, è possibile attribuire con buona affidabilità i depositi sabbioso-ghiaiosi intercettati nella porzione superiore del sondaggio a un sistema deposizionale riconducibile al fiume Po, escludendo un contributo significativo da parte del Ticino e degli affluenti appenninici.

Questo risultato rappresenta un elemento importante per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, in quanto consente di definire con maggiore precisione le direzioni di apporto sedimentario e le dinamiche deposizionali dell'area compresa nel foglio CARG Pavia 160.

Un ulteriore aspetto rilevante riguarda il ruolo metodologico delle diverse tecniche analitiche utilizzate. Il lavoro ha evidenziato come, in questo tipo di studi, l'analisi petrografica debba essere considerata lo strumento principale per la determinazione della provenienza dei sedimenti in quanto legata ad un elemento relativamente stabile nel tempo come la composizione geologica dell'area di drenaggio dei diversi fiumi, mentre l'analisi granulometrica assume un ruolo complementare, utile soprattutto per l'interpretazione delle condizioni deposizionali e dei processi sedimentari al momento della deposizione, elementi di gran lunga più variabili nel tempo e nello spazio anche per lo stesso sistema fluviale.

Nonostante i risultati ottenuti siano coerenti e ben supportati dai dati, è importante sottolineare che l'analisi petrografica condotta ha carattere semi-quantitativo basata sulla stima visiva della frequenza percentuale dei diversi componenti. Per questo motivo, al fine di consolidare e verificare ulteriormente le interpretazioni proposte, si ritiene necessario che studi futuri prevedano l'applicazione di analisi petrografiche quantitative (conteggio modale puntuale). Tali indagini permetterebbero di ottenere dati statisticamente più robusti, consentendo di confrontare in maniera definitiva la provenienza dei sedimenti e di quantificare eventuali contributi secondari.

In conclusione, il presente lavoro fornisce un contributo significativo alla conoscenza del primo sottosuolo dell'area del Foglio CARG Pavia 160, evidenziando il ruolo dominante del fiume Po nella genesi dei depositi superficiali e sottolineando l'importanza di un approccio integrato, ma gerarchicamente strutturato, nello studio dei sedimenti. I risultati ottenuti rappresentano una base solida per ulteriori approfondimenti e per il miglioramento del modello geologico tridimensionale del sottosuolo padano nell'ambito del progetto CARG.

6. BIBLIOGRAFIA

- Ahmad, M. I., Dubey, A. K., Toscani, G., Bonini, L., & Seno, S. (2014). Kinematic evolution of thrusts wedge and erratic line length balancing: Insights from deformed sandbox models. *International Journal of Earth Sciences*, 103, 329–347. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0947-8>.
- Amadori C., Garcia-Castellanos D., Toscani G., Sternai P., Fantoni R., Ghielmi M. & Di Giulio A. (2018) Restored topography of the Po Plain-Northern Adriatic region during the Messinian base-level drop - implications for the physiography and compartmentalisation of the paleo-Mediterranean basin. *Basin Research*, 30, 1247-1263, DOI: 10.1111/bre.12302.
- Amadori, C., Toscani, G., Di Giulio, A., Maesano, F.E., D’Ambrogi, C., Ghielmi, M. & Fantoni, R. (2019). From Cylindrical to Non-cylindrical Foreland Basin: Pliocene–Pleistocene Evolution of the Po Plain–Northern Adriatic Basin (Italy). *Basin Research*, 31(5), 991–1015. <https://doi.org/10.1111/bre.12369>
- Argnani, A., & Lucchi, F. R. (2001). Tertiary silicoclastic turbidite systems of the Northern Apennines. In G. B. Vai & I. P. Martini (Eds.), *Anatomy of an Orogen: The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins* (pp. 327–349). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-0159829-3_19](https://doi.org/10.1007/978-94-0159829-3_19)
- ASTM International, 2017. ASTM D6913/D6913M – 17, Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. West Conshohocken, PA, USA.
- Barrera Acosta D. (2025). “Plio-Pleistocene Evolution of the Po Plain Subsurface: Insights from a 3D Geological Model and its Relationship with the Occurrence of Thermal Anomalies for Geothermal Energy Exploration”, University of Pavia, Unpublished PHD Thesis.
- Bertotti, G., & Mosca, P. (2009). Late-orogenic vertical movements within the arc of the SW Alps and Ligurian Alps. **Tectonophysics*, 475(1), 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.08.016>
- 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](https://doi.org/10.1016/0037-0738(93)90133-P)](<https://doi.org/10.1016/0037-0738%2893%2990133-P>)

- Bigi, G., Castellarin, A., Coli, M., Dal Piaz, G. V., & Vai, G. B. (1990). Structural model of Italy sheet 2, 1:500000. Progetto Finalizzato Geodinamica. SELCA Firenze, Italy: Consiglio Naz. Ricerche.
- Boccaletti, M., Coli, M., Eva, C., Ferrari, G., Giglia, G., Lazzarotto, A., ... Postpischl, D. (1985). Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines. *Tectonophysics*, 117, 7–38. [[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(85\)90234-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(85)90234-3)](<https://doi.org/10.1016/0040-1951%2885%2990234-3>)
- Boccaletti, M., Corti, G., & Martelli, L. (2011). Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). *International Journal of Earth Sciences*, 100, 1331–1348. <https://doi.org/10.1007/s00531-010-0545-y>
- Bonini, L., Toscani, G., & Seno, S. (2014). Three-dimensional segmentation and different rupture behavior during the 2012 Emilia seismic sequence (Northern Italy). *Tectonophysics*, 630, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.006>
- Bottacin Francesco Maria, 2007, Studio tessiturale dei sedimenti del Ticino tra Bereguardo e la Confluenza Po, Tesi di laurea inedita, Università di Pavia, 152.
- Cadeddu M., 2007, Il carico solido di Po e Ticino analizzato attraverso lo studio tessiturale, Tesi di laurea inedita, Università di Pavia, 163.
- Carbone M. , 2025, Report del sondaggio a carotaggio continuo eseguito nell’ambito del progetto CARG per la realizzazione del foglio n. 160 ‘ Pavia’ presso il comune di Broni (PV), 36.
- Carminati, E., & Doglioni, C. (2012). Alps vs. Apennines: The paradigm of a tectonically asymmetric Earth. *Earth-Science Reviews*, 112, 67–96. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.004>
- Carminati, E., Lustrino, M., & Doglioni, C. (2012). Geodynamic evolution of the central and western Mediterranean: Tectonics vs. Igneous petrology constraints. *Tectonophysics*, 579, 173–192. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.01.026>
- Cassano, E., Anelli, A., Fichera, R., & Cappelli, V. (1986). Pianura Padana: Interpretazione integrata di dati geologici e geofisici. Proceedings of the 73th Meeting of the Società Geologica Italiana, Rome (Italy), 29 September-4 October.

- Castellarin, A. (2001). Alps-Apennines and Po Plain-frontal Apennines relations.
- Castellarin, A., & Vai, G. B. (1986). Southalpine Versus Po Plain Apenninic Arcs. In F.-C. WEZEL (Ed.), *The Origin of Arcs* (Vol. 21, pp. 253–280). Elsevier. [<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-426888.50016-3>]
- Castellarin, A., Canteli, L., Fesce, A. M., Mercier, J. L., Picotti, V., Pini, G. A., Prosser, G., & Selli, L. (1992). Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Apennines. *Annales Tectonicae*, VI(1), 62–94.
- Coward, M. P., Dietrich, D., & Park, R. G. (1989). *Alpine Tectonics*. Geological Society of London, Special Publications, 45, 449.
- Dal Piaz, G. V., Bistacchi, A., & Massironi, M. (2003). Geological outline of the Alps. *Episodes*, 26(3), 175–180.
- Dercourt, J., Zonenshain, L. P., Ricou, L. E., Kazmin, V. G., Le Pichon, X., Knipper, A. L., Grandjacquet, C., ... Biju-Duval, B. (1986). Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the LIAS. *Tectonophysics*, 123(1–4), 241–315. [[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90199-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90199-X)]
- Dewey, J. F., Helman, M. L., Turco, E., Hutton, D. H. W., & Knot, S. D. (1989). Kinematics of the western Mediterranean. *Geological Society of London, Special Publications*, 45, 265–283.
- DISS Working Group. (2018). Database of individual seismogenic sources (DISS), version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. [<https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0>] . Retrieved from <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Di Giulio A., A. Ceriani, E. Ghia, F. Zucca, 2003, Composition of modern stream sands derived from sedimentary source rocks in a temperate climate (Northern Apennines, Italy), *Università di Pavia*, 161.
- Dondi, L., & D'Andrea, M. G. (1986). La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene. *Giornale Di Geologia*, 48, 197–225.
- Dondi, L., Mostardini, F., & Rizzini, A. (1982). Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana. In *Guida alla geologia del margine appenninico padano*, Società Geologica Italiana, 47–58.
- Fantoni, R., & Franciosi, R. (2010). Tectono-sedimentary setting of the Po Plain and Adriatic foreland. *Rendiconti Lincei*, 21(SUPPL. 1), 197–209. [<https://doi.org/10.1007/s12210-010-0102-4>]

- Fantoni, R., Bersezio, R., & Forcella, F. (2004). Alpine structure and deformation chronology at the southern Alps-Po Plain border in Lombardy. *Italian Journal of Geosciences*, 123(3), 463–476.
- Folk e Ward, 1957, Brazos river bor; A study in the significance of grain size parameters *Journ. Sed. Pet.*, 27, 3-26.
- Fornaroli S., 1998, Relazione tra composizione delle sabbie fluviali e geologia del bacino imbrifero: studio del fiume Scrivia con l'uso anche delle tecniche GIS, Tesi di laurea inedita, Università di Pavia, 133.
- Gesso G., 1998, Relazione tra composizione delle sabbie fluviali e geologia del bacino imbrifero: studio del fiume Trebbia con l'uso anche delle tecniche GIS, Tesi di laurea inedita, Università di Pavia, 175.
- Ghia G., 1998, Studio petrografico- mineralogico dei sedimenti attuali del Po e dei suoi affluenti tra Alessandria e Piacenza, Tesi di laurea inedita, Università di Pavia, n. pagine 117.
- Ghielmi, M., Minervini, M., Nini, C., Rogledi, S., & Rossi, M. (2013). Late Miocene-Middle Pleistocene sequences in the Po Plain—Northern Adriatic Sea (Italy): The stratigraphic record of modification phases affecting a complex foreland basin. *Marine and Petroleum Geology*, 42, 50–81. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.11.007>
- Ghielmi, M., Minervini, M., Nini, C., Rogledi, S., Rossi, M., & Vignolo, A. (2010). Sedimentary and tectonic evolution in the eastern Po-Plain and northern Adriatic Sea area from Messinian to Middle Pleistocene (Italy). *Rendiconti Lincei*, 21(1), 131–166. [<https://doi.org/10.1007/s12210-010-0101-5>]
- Ghielmi, M., Nini, C., Livraghi, L., Minervini, M., Rogledi, S., Rossi, M., ... Visentin, C. (2008). Modern Po Plain-Adriatic Foredeep (Italy): Geological framework and hydrocarbon exploration. In 70th EAGE Conference and Exhibition Workshop, Rome (Italy), June 8, 2008.
- Ghielmi, M., Nini, C., Rogledi, S., Minervini, M., & Rossi, M. (2008). Tectono-stratigraphic framework of the Pliocene-to-Pleistocene succession in the Po Plain-Adriatic Foredeep (Italy). *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 3(2), 425–426.
- Grandić, S., Biancone, M., & Samaržija, J. (2002). Geophysical and stratigraphic evidence of the Adriatic Triassic rift structures. *Memorie Della Società Geologica Italiana*, 57, 315–325.

- Livani, M., Scrocca, D., Arecco, P., & Doglioni, C. (2018). Structural and stratigraphic control on salient and recess development along a thrust belt front: The Northern Apennines (Po Plain, Italy). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(5), 4360–4387. [<https://doi.org/10.1002/2017JB015235>]
- Maesano, F. E., D'Ambrogi, C., Burrato, P., & Toscani, G. (2015). Sliprates of blind thrusts in slow deforming areas: Examples from the Po Plain (Italy). *Tectonophysics*, 643, 8–25. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.12.007>
- Maesano, F. E., Zuffetti, C., Abbate, A., D'Ambrogi, C., & Bersezio, R. (2024). Quaternary slip-rates probabilistic estimation for the Northern Apennines frontal thrust in the Po Plain (Northern Italy) by integrating surface and subsurface data. *Tectonophysics*, 873, 230227. [<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230227>]
- Maestrelli, D., Benvenuti, M., Bonini, M., Carnicelli, S., Piccardi, L., & Sani, F. (2018). The structural hinge of a chain-foreland basin: Quaternary activity of the Pede-Apennine Thrust front (Northern Italy). *Tectonophysics*, 723, 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.12.006>
- Malinverno, A., & Ryan, W. B. F. (1986). Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, 5(2), 227–245. [<https://doi.org/10.1029/TC005i002p00227>]
- Masetti, D., Fantoni, R., Romano, R., Sartorio, D., & Trevisani, E. (2012). Tectonostratigraphic evolution of the Jurassic extensional basins of the eastern southern Alps and Adriatic foreland based on an integrated study of surface and subsurface data. *AAPG Bulletin*, 96(11), 2065–2089. [<https://doi.org/10.1306/03091211087>]
- Minervini, M., Rogledi, S., & Rossi, M. (2009). Timing, hierarchy and significance of the Messinian and Lower Pliocene erosional surfaces in the Southern Alps margin (Northern Italy). *Earth system evolution and the Mediterranean area from 23 Ma to the present*. In 13th RCMNS Congress, Napoli (Italy), 2–6 September 2009.
- Perotti, C. R. (1991). Osservazioni sull'assetto strutturale del versante padano dell'Appennino Nord-Occidentale. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 34, 11–22.
- Pieri, M., & Groppi, G. (1981). Subsurface geological structure of the Po plain, Italy. 414.
- Raimondi Cominesi N., 2006, Studio compositivo e tessiturale del carico solido del fiume Po, Tesi di laurea inedita, Università di Pavia, 219.

- Ravaglia, A., Seno, S., Toscani, G., & Fantoni, R. (2006). Mesozoic extension controlling the Southern Alps thrust front geometry under the Po Plain, Italy: Insights from sandbox models. *Journal of Structural Geology*, 2(11), 2084–2096. [<https://doi.org/10.1016/j.jsg.2006.07.011>]
- Regione Emilia- Romagna, ENI-AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna – a cura di G. Di Dio. S.EL.C.A. (Firenze), 120 pp.
- Regione Lombardia, Eni divisione Agip, 2002. Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia – a cura di C. Carcano e A. Piccin. S.EL.C.A. (Firenze).
- Robertson, A., & Grasso, M. (1995). Later Tertiary-Quaternary Mediterranean tectonics and palaeo-environments—An introduction. *Terra Nova*, 7(2), 112–113. [<https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1995.tb00679.x>]
- Royden, L., Patacca, E., & Scandone, P. (1987). Segmentation and configuration of subducted lithosphere in Italy: An important control on thrust-belt and foredeep-basin evolution. *Geology*, 15(8), 714–717. [[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1987\)15](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1987)15)](<https://doi.org/10.1130/0091-7613%281987%2915>)<714\SACOSL>2.0.CO;2
- Toscani, G., Bonini, L., Ahmad, M. I., Di Bucci, D. D., Di Giulio, A., Seno, S., & Galuppo, C. (2014). Opposite verging chains sharing the same foreland: Kinematics and interactions through analogue models (Central Po Plain, Italy). *Tectonophysics*, 633(1), 268–282. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.07.019>
- Toscani, G., Burrato, P., Di Bucci, D., Seno, S., & Valensise, G. (2009). Plio-Quaternary tectonic evolution of the Northern Apennines thrust fronts (Bologna-Ferrara section, Italy): Seismotectonic implications. *Italian Journal of Geosciences (Bollettino della Società Geologica Italiana)*, 128(2), 605–613. [<https://doi.org/10.3301/IJG.2009.128.2.605>]
- Toscani, G., Seno, S., Fantoni, R., & Rogledi, S. (2006). Geometry and timing of deformation inside a structural arc; the case of the western Emilian folds (Northern Apennine front, Italy). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 125(1), 59–65.
- Zuffetti, C., & Bersezio, R. (2021). Space–time geological model of the Quaternary syntectonic fill of a foreland basin (Po basin, Northern Italy). *Sedimentary Geology*, 421. [<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2021.105945>]

| id | Campione | Località | Provenienza tesi di... |
|----|--------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | S3/Sd/1 | Ponte metanodotto | Bottacin Francesco Maria |
| 2 | S3/B/2 | Ponte Metanodotto | Bottacin Francesco Maria |
| 3 | S3/B/2a | Ponte metanodotto | Bottacin Francesco Maria |
| 4 | S1/B/1 | Ponte della Becca | Bottacin Francesco Maria |
| 5 | S1/A/2 | Ponte della becca | Bottacin Francesco Maria |
| 6 | S1/B/3 | Ponte della Becca | Bottacin Francesco Maria |
| 7 | S6/B/1 | Ponte dell'impero PV | Bottacin Francesco Maria |
| 8 | S6/B1a | Ponte dell'Impero PV | Bottacin Francesco Maria |
| 9 | S10/B1a | Ponte Tangenziale | Bottacin Francesco Maria |
| 10 | S10/A/2 | Ponte Tangenziale | Bottacin Francesco Maria |
| 10 | S12/B/1a | Villa Maria | Bottacin Francesco Maria |
| 11 | S12/B/1 | Villa Maria | Bottacin Francesco Maria |
| 12 | S/A/2 | Villa Maria | Bottacin Francesco Maria |
| 13 | S15/SE/1 | Cascina S. Sofia | Bottacin Francesco Maria |
| 14 | S15/B/2 | Cascina S. Sofia | Bottacin Francesco Maria |
| 14 | S15/B/2a | Cascina S. Sofia | Bottacin Francesco Maria |
| 15 | S15/B/3 | Cascina S. Sofia | Bottacin Francesco Maria |
| 16 | S18/B/1 | Torre D' Isola | Bottacin Francesco Maria |
| 17 | S18/B/1a | Torre D' Isola | Bottacin Francesco Maria |
| 18 | S18/A/2 | Torre D' Isola | Bottacin Francesco Maria |
| 19 | S20/B/1 | San Varese | Bottacin Francesco Maria |
| 20 | S20/B/1a | San Varese | Bottacin Francesco Maria |
| 21 | S20/A/2 | San Varese | Bottacin Francesco Maria |
| 22 | T2/5A/BU/2a | | Massimiliano Cadeddu |
| 23 | T2/5A/S/4 | | Massimiliano Cadeddu |
| 24 | T2/S7B/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 24 | T2/S7B/A/2 | | Massimiliano Cadeddu |
| 26 | T2/S7B/S/3 | | Massimiliano Cadeddu |
| 27 | T2/S8B/B/3 | | Massimiliano Cadeddu |
| 28 | T2/S8B/S/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 29 | T3/aS10B/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 30 | T3/S18/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 31 | T3/aS21/A/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 32 | S1/B/3 | | Massimiliano Cadeddu |
| 33 | S1/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 34 | S1/A/2 | | Massimiliano Cadeddu |
| 34 | S3/B/2a | | Massimiliano Cadeddu |
| 35 | S3/B/2 | | Massimiliano Cadeddu |
| 36 | S3/Sd/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 37 | S6/B/1a | | Massimiliano Cadeddu |
| 38 | S6/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 39 | S10/B/1a | | Massimiliano Cadeddu |
| 40 | S10/A/2 | | Massimiliano Cadeddu |
| 41 | S12/B/1a | | Massimiliano Cadeddu |
| 42 | S12/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 36 | S12/A/2 | | Massimiliano Cadeddu |
| 43 | S15/B/3 | | Massimiliano Cadeddu |
| 44 | S15/B/2a | | Massimiliano Cadeddu |
| 45 | S15/B/2 | | Massimiliano Cadeddu |
| 46 | S15/SE/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 47 | S18/B/1a | | Massimiliano Cadeddu |
| 48 | S18/B/1 | | Massimiliano Cadeddu |
| 49 | S18/A/2 | | Massimiliano Cadeddu |

| | | |
|----|----------|----------------------|
| 50 | S20/B/1a | Massimiliano Cadeddu |
| 51 | S20/B/1 | Massimiliano Cadeddu |
| 52 | S20/A/2 | Massimiliano Cadeddu |
| 53 | S23/B/1a | Massimiliano Cadeddu |
| 54 | S23/B/1 | Massimiliano Cadeddu |
| 55 | S23/A/2 | Massimiliano Cadeddu |
| 56 | S25/B/3 | Massimiliano Cadeddu |
| 57 | S25/B/1a | Massimiliano Cadeddu |
| 58 | S25/B/1 | Massimiliano Cadeddu |
| 59 | S25/A/2 | Massimiliano Cadeddu |

Figura 1: Campioni di sabbie attuali con solo tessitura

| id | Campione | Localita' | T.I. | Dm mm | Provenienza tesi di... |
|----|---------------|-----------------------|-------|-------|---------------------------|
| 1 | Po 1 | Mugarone (AL) | 1,246 | 0,229 | Gabriele Ghia |
| 2 | Po 3 | Ponte di Gerola (AL) | 1,212 | 0,97 | Gabriele Ghia |
| 3 | Po 4 | Spessa Po (PV) | 1,186 | 0,310 | Gabriele Ghia |
| 4 | Po 4bis | Spessa Po (PV) | 1,258 | 0,25 | Gabriele Ghia |
| 5 | Po 5 | Roncarolo (PC) | 1,330 | 0,121 | Gabriele Ghia |
| 6 | Po 6bis | Piacenza | 1,306 | 0,283 | Gabriele Ghia |
| 7 | Po 7 | Puglia (PC) | 1,170 | 0,108 | Gabriele Ghia |
| 8 | Po 8 | Pancarana (PV) | 1,463 | 0,302 | Gabriele Ghia |
| 9 | Po 9 | Ghiaie di Coranq (PV) | 1,171 | 0,25 | Gabriele Ghia |
| 10 | SC | Molino dei Torti | 1,41 | 0,226 | Gabriele Ghia |
| 11 | Cu | Volpedo (AL) | 3,154 | 0,243 | Gabriele Ghia |
| 12 | St | Salice Terme | 1,293 | 0,22 | Gabriele Ghia |
| 13 | Tic | Pavia | 1,188 | 0,239 | Gabriele Ghia |
| 14 | Ti | Fabbiano (PC) | 1,192 | 0,253 | Gabriele Ghia |
| 15 | Tr | Case di Trebbia | 1,575 | 0,303 | Gabriele Ghia |
| 37 | 2s | Castelnuovo Scrivia | 4,3 | 0,08 | Stefano Fornaroli |
| 38 | 1s | Castelnuovo Scrivia | 1,31 | 0,30 | Stefano Fornaroli |
| 18 | 61T | Malpaga (PC) | | | Gianluca Gesso |
| 19 | TrT | Mamango di sopra (PC) | | | Gianluca Gesso |
| 23 | T6alfaS01B1B1 | Valmacca | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 24 | T25AB1 | Travacò | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 25 | T25AA3 | T25AB1 | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 26 | T25AS4 | Travacò | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 27 | T2S7BS3 | Port'Albera | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 28 | T2S7BA2 | Port'Albera | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 29 | T2S7BB1 | Port'Albera | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 29 | T2S8BS1 | Arena Po | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 30 | T2S8BB2 | Arena Po | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 31 | T2S8BB3 | Arena Po | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 32 | T25ABU2 | Travacò | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 32 | T3alfaS10BB1 | Veratto | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 33 | T3S18B1 | San Rocco al Porto | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 34 | T3S18B2 | San Rocco al Porto | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 66 | T6S64CB1 | Santa Maria Maddalena | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 67 | T6S64CA2 | Santa Maria Maddalena | | | Nicola Raiomondi Cominesi |
| 56 | T25ABU2a | Travacò | | | Nicola Raiomondi Cominesi |

Figura 2: Campioni di sabbie attuali con tessitura e petrografia



Figura 3: Carote ottenute dal nuovo sondaggio CARG Pavia 160 (5-10 m)

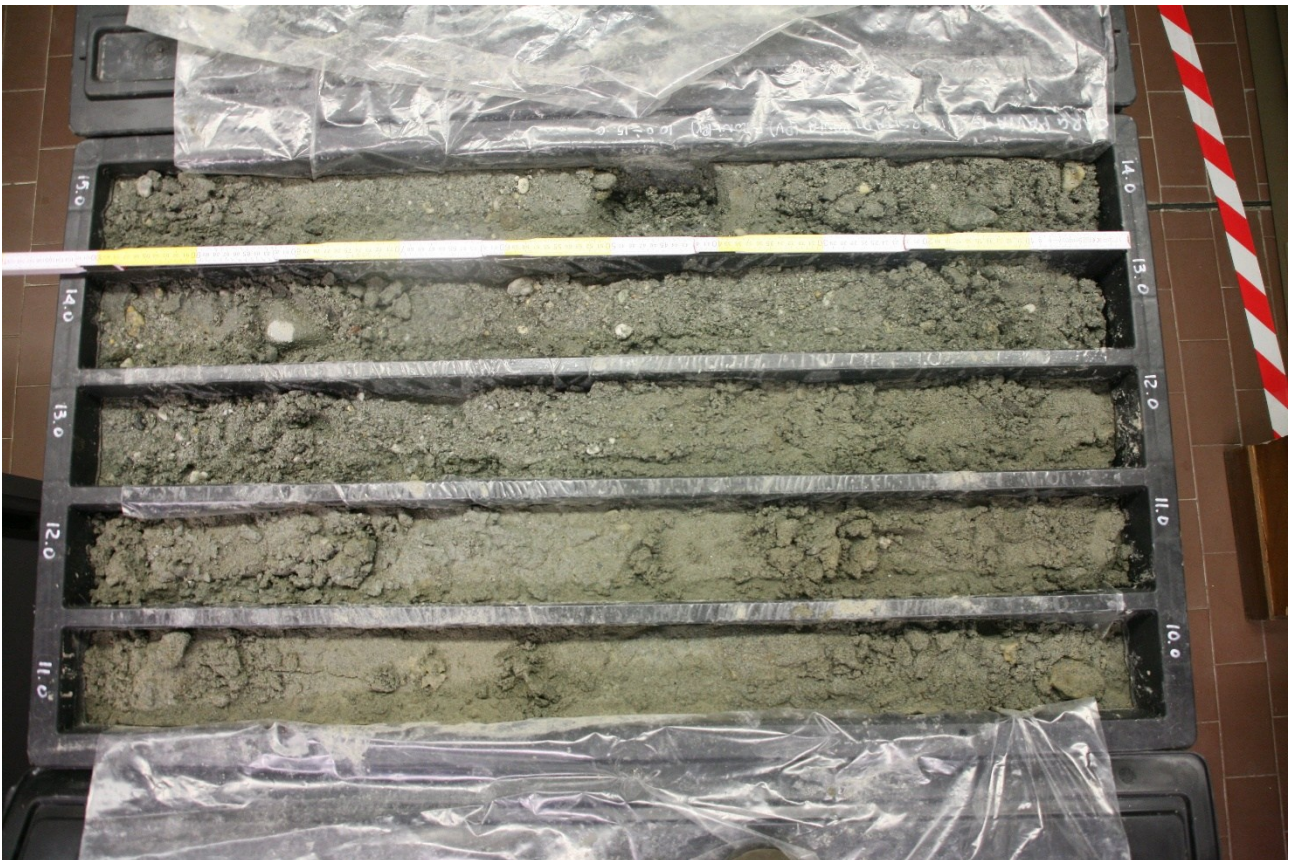


Figura 4: Carote ottenute dal nuovo sondaggio CARG Pavia 160 (10-15 m)

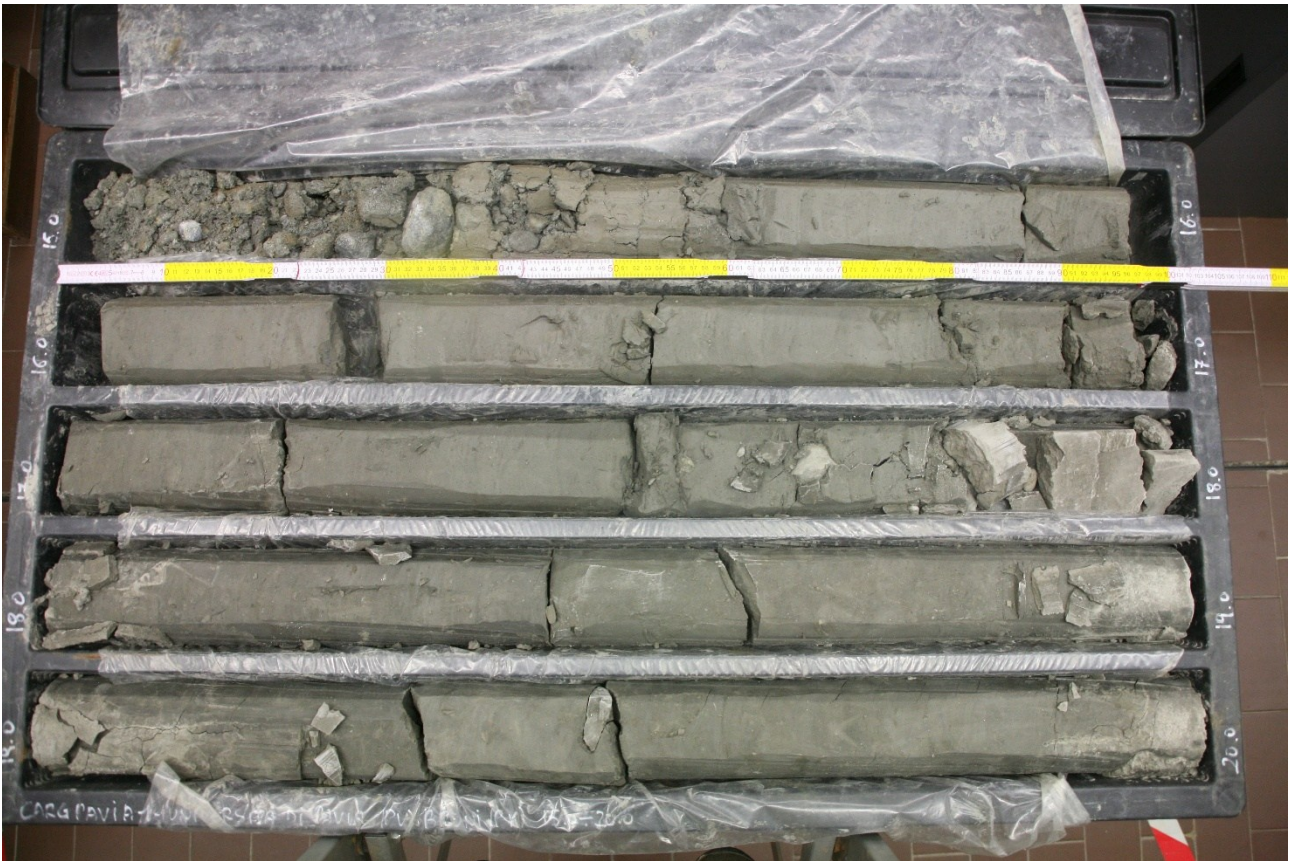


Figura 5: Carote ottenute dal nuovo sondaggio CARG Pavia 160 (15-20 m)

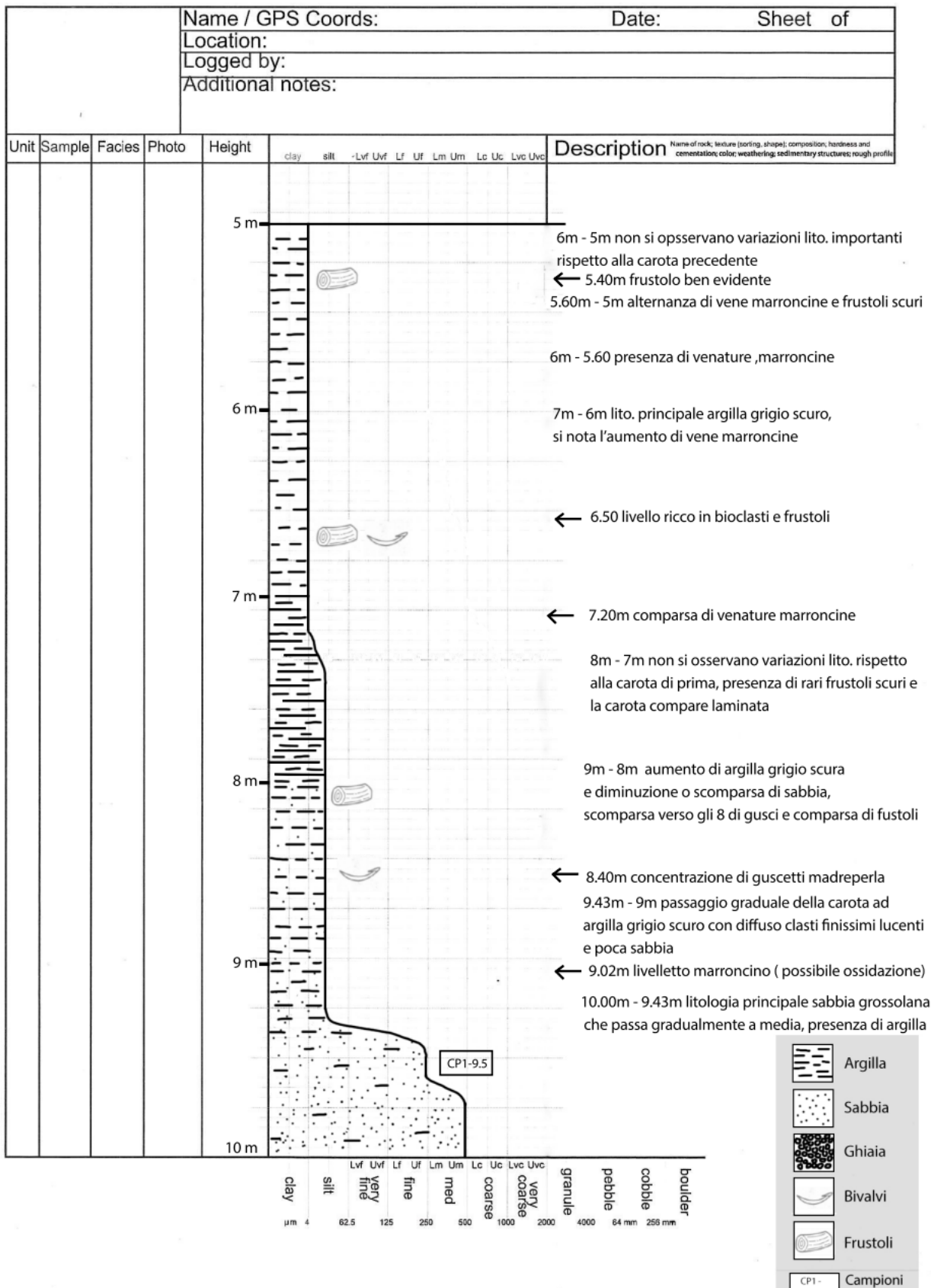


Figura 6: Log nuovo sondaggio CARG Pavia 160 (10-5 m)

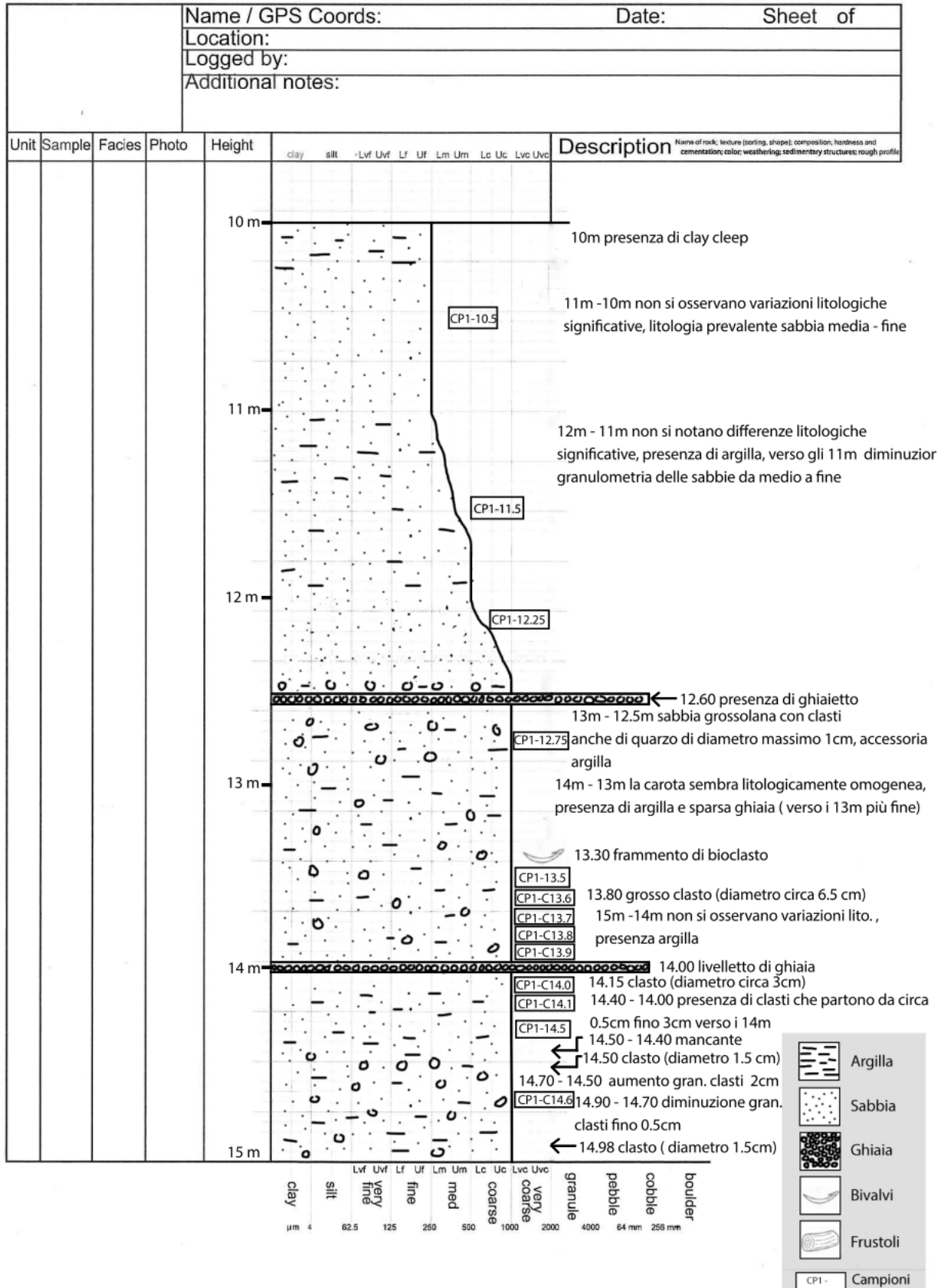


Figura 7: Log nuovo sondaggio CARG Pavia 160 (15-10 m)

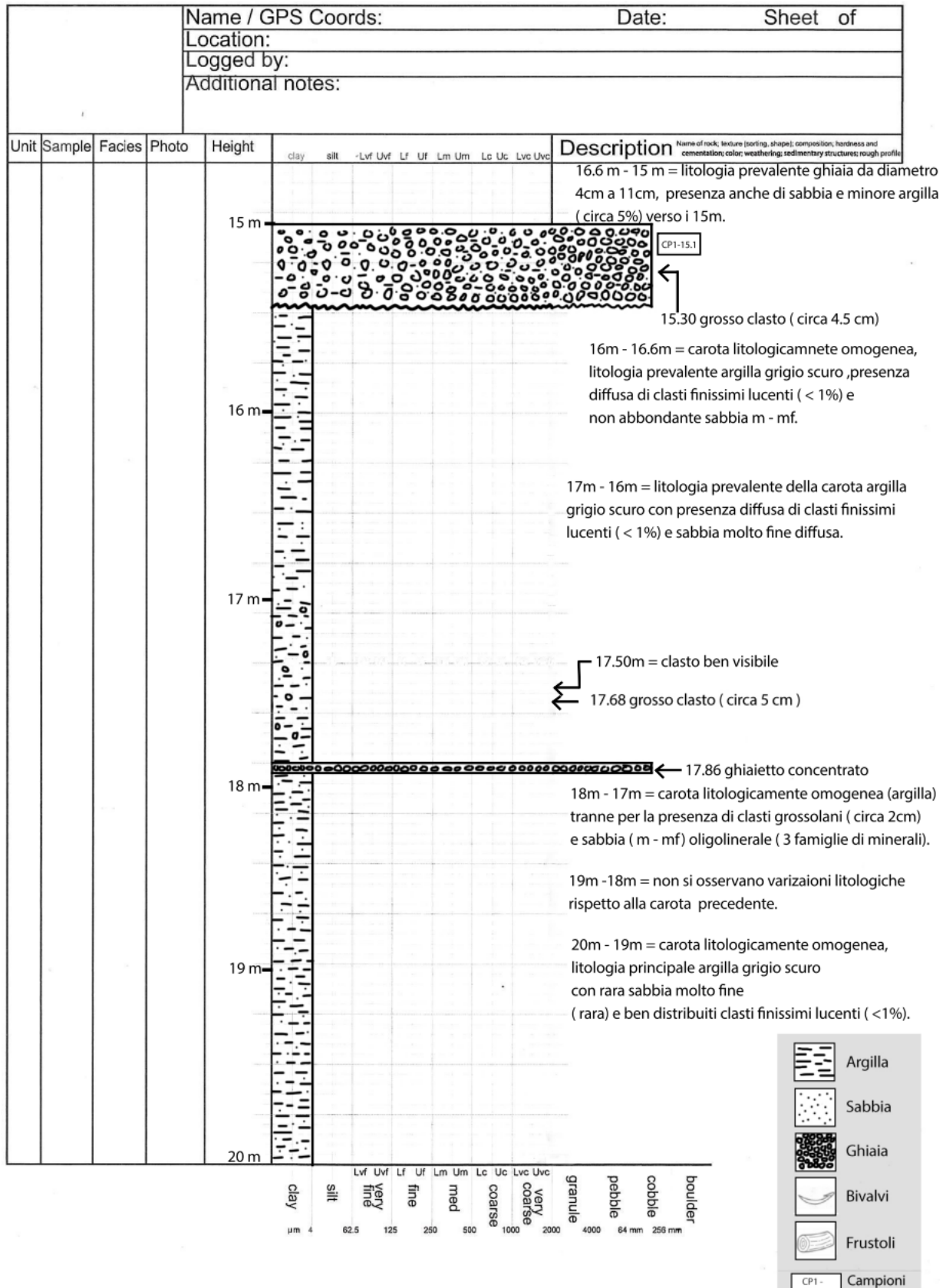


Figura 8: Log nuovo sondaggio CARG Pavia 160 (20-15 m)

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

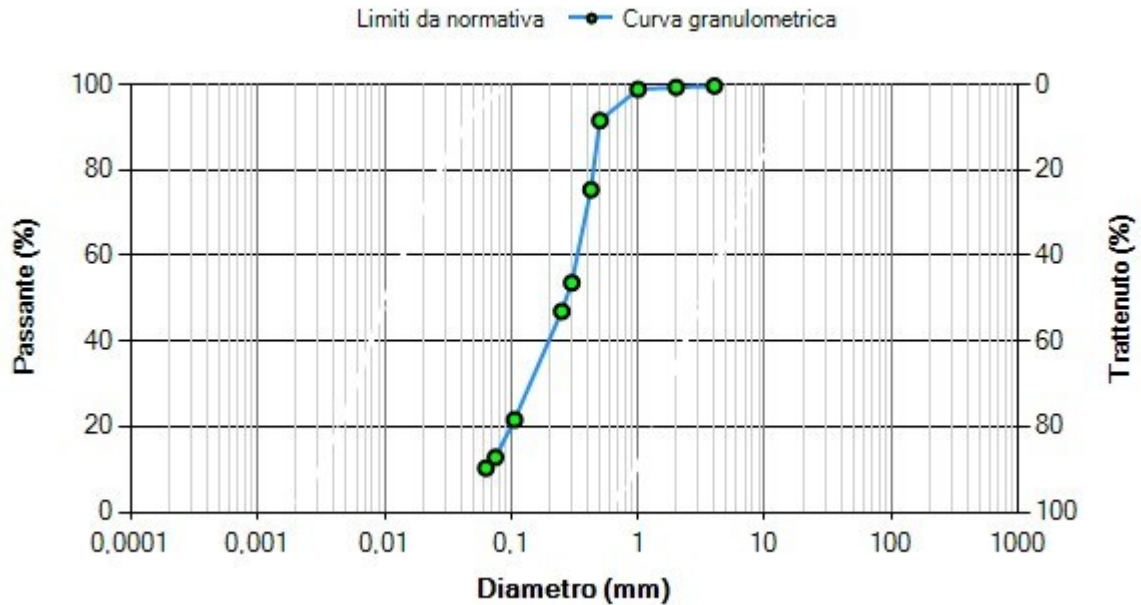
| CP1-9.5 (9,40 – 9,60 metri da p.c.) | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|---|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA LIMOSA E DEBOLMENTE GHIAIOSA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_109_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 571,910 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 2,23 | 2,23 | 99,61 |
| No. 10 | 2 | 1,84 | 4,07 | 99,29 |
| No. 18 | 1 | 2,67 | 6,74 | 98,82 |
| No. 35 | 0,5 | 41,71 | 48,45 | 91,53 |
| No. 40 | 0,425 | 92,3 | 140,75 | 75,39 |
| No. 50 | 0,300 | 124,47 | 265,22 | 53,63 |
| No. 60 | 0,250 | 38,19 | 303,41 | 46,95 |
| No. 140 | 0,106 | 144,90 | 448,31 | 21,61 |
| No. 200 | 0,075 | 50,19 | 498,50 | 12,84 |
| No. 230 | 0,063 | 14,42 | 512,92 | 10,31 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| 58,990 | 0,33 | 0,27 | NaN | NaN |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:
17/12/2025

Responsabile di laboratorio
Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

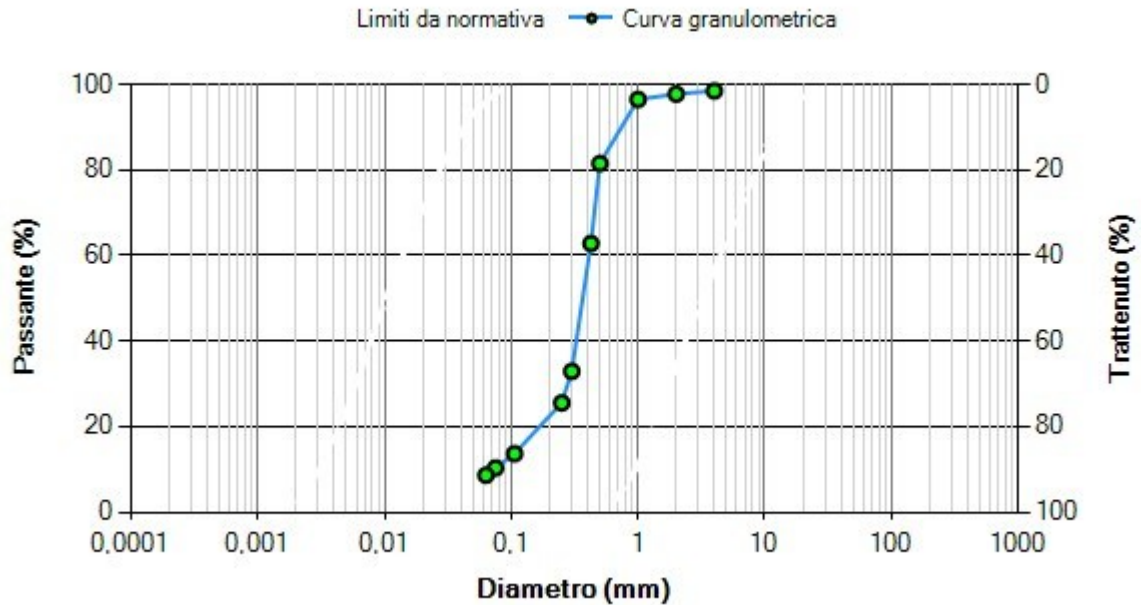
| CP1-10.5 (10,40 – 10,60 metri da p.c.) | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|--|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA DEBOLMENTE GHIAIOSA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_110_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 494,050 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 7,67 | 7,67 | 98,45 |
| No. 10 | 2 | 3,61 | 11,28 | 97,72 |
| No. 18 | 1 | 6,18 | 17,46 | 96,47 |
| No. 35 | 0,5 | 73,9 | 91,36 | 81,51 |
| No. 40 | 0,425 | 92,45 | 183,81 | 62,80 |
| No. 50 | 0,300 | 147,44 | 331,25 | 32,95 |
| No. 60 | 0,250 | 36,48 | 367,73 | 25,57 |
| No. 140 | 0,106 | 58,68 | 426,41 | 13,69 |
| No. 200 | 0,075 | 16,47 | 442,88 | 10,36 |
| No. 230 | 0,063 | 8,29 | 451,17 | 8,68 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 42,880 | 0,41 | 0,37 | 0,07 | 5,69 |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:

17/12/2025

Responsabile di laboratorio

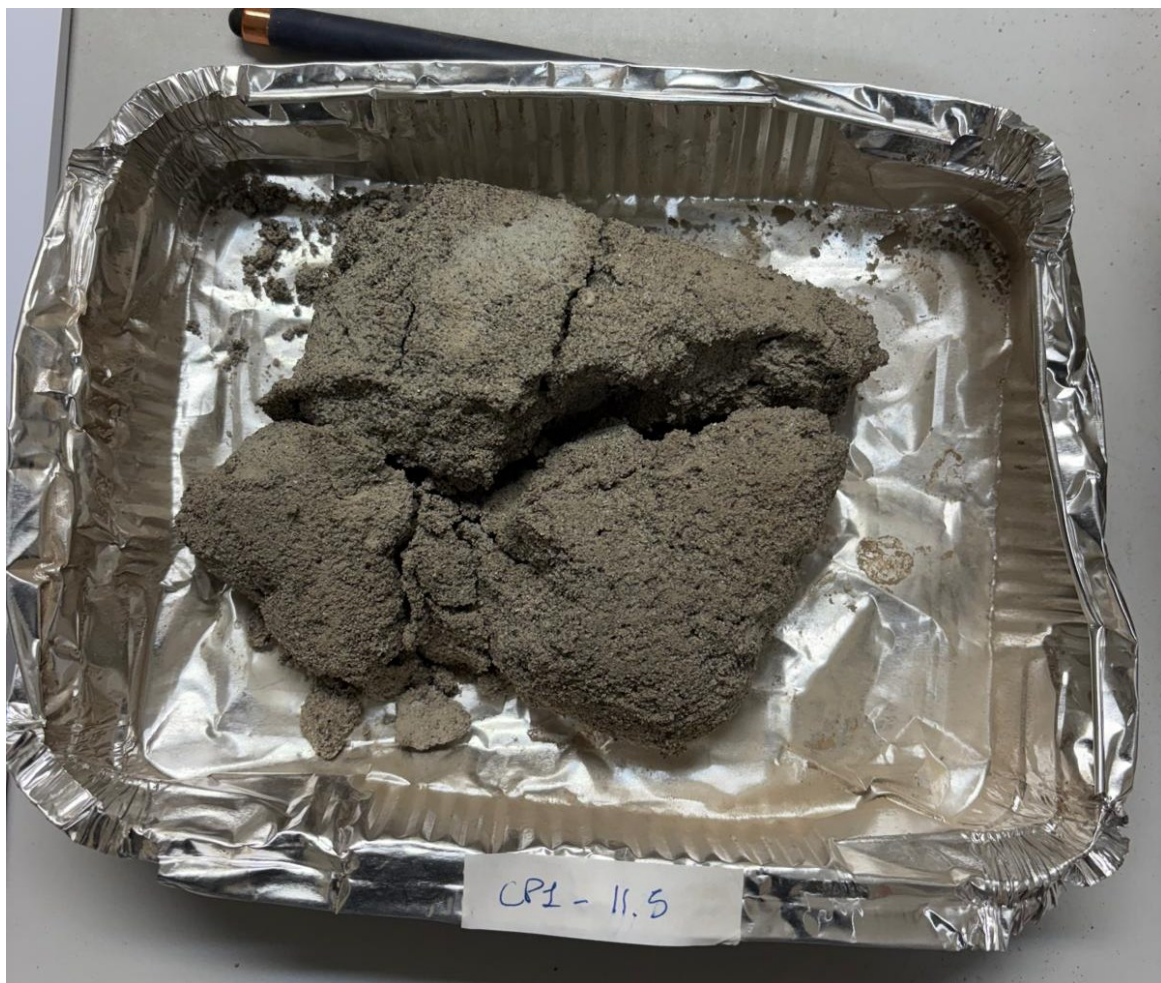
Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

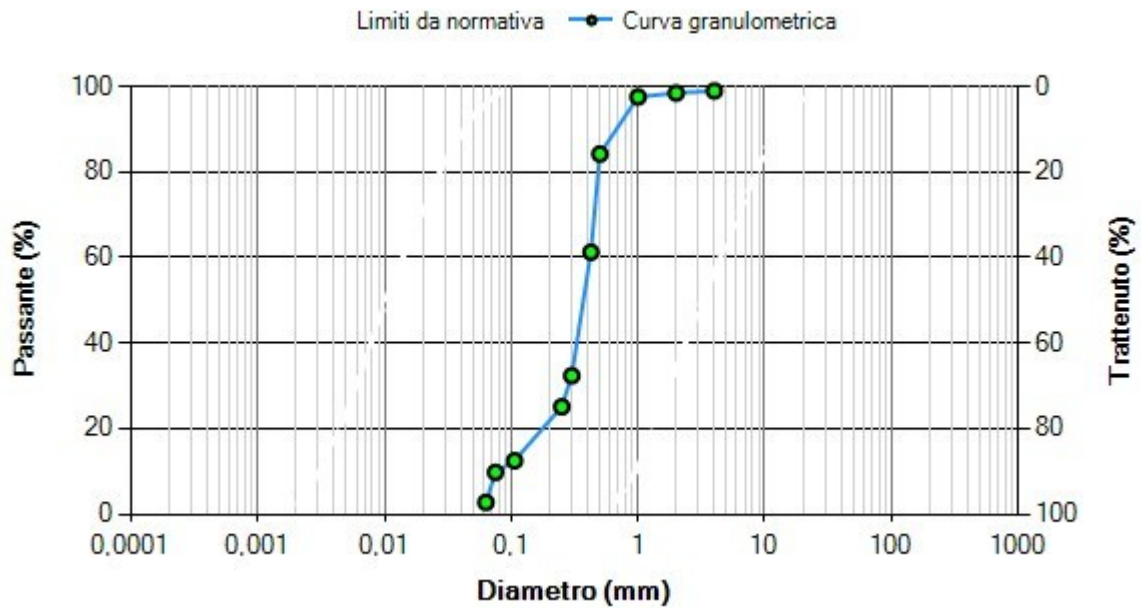
| CP1-11.5 (11,40 – 11,60 metri da p.c.) | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|--|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_110_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 719,030 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 7,66 | 7,66 | 98,93 |
| No. 10 | 2 | 3,7 | 11,36 | 98,42 |
| No. 18 | 1 | 6,4 | 17,76 | 97,53 |
| No. 35 | 0,5 | 95,97 | 113,73 | 84,18 |
| No. 40 | 0,425 | 164,85 | 278,58 | 61,26 |
| No. 50 | 0,300 | 207,59 | 486,17 | 32,39 |
| No. 60 | 0,250 | 52,19 | 538,36 | 25,13 |
| No. 140 | 0,106 | 90,54 | 628,90 | 12,53 |
| No. 200 | 0,075 | 19,63 | 648,53 | 9,80 |
| No. 230 | 0,063 | 50,49 | 699,02 | 2,78 |

Risultati

| Fondo | D60 | D50 | D10 | Uc |
|-------|-----|-----|-----|----|
|-------|-----|-----|-----|----|

| [g] | [mm] | [mm] | [mm] | |
|--------|------|------|------|------|
| 20,010 | 0,42 | 0,37 | 0,08 | 5,45 |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:

17/12/2025

Responsabile di laboratorio

Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

CP1-12.25 (12,15 – 12,35 metri da p.c.)

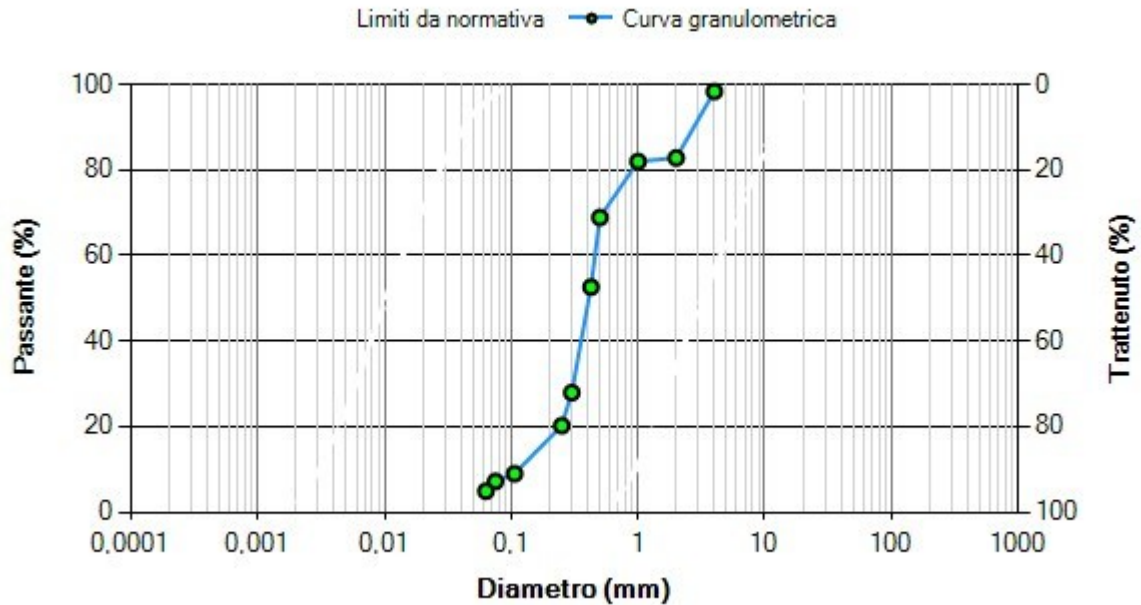
| | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|---|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA GHIAIOSA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_112_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 662,890 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. | 4 | 11,06 | 11,06 | 98,33 |
| No. | 2 | 102,89 | 113,95 | 82,81 |
| No. | 1 | 5,57 | 119,52 | 81,97 |
| No. | 0,5 | 86,79 | 206,31 | 68,88 |
| No. 40 | 0,425 | 107,82 | 314,13 | 52,61 |
| No. 50 | 0,300 | 163,3 | 477,43 | 27,98 |
| No. 60 | 0,250 | 51,2 | 528,63 | 20,25 |
| No. 140 | 0,106 | 74,43 | 603,06 | 9,03 |
| No. 200 | 0,075 | 11,95 | 615,01 | 7,22 |
| No. | 0,063 | 15,09 | 630,10 | 4,95 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 32,790 | 0,46 | 0,41 | 0,11 | 4,01 |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:
03/12/2025

Responsabile di laboratorio
Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

CP1-12.75 (12,65 – 12,85 metri da p.c.)

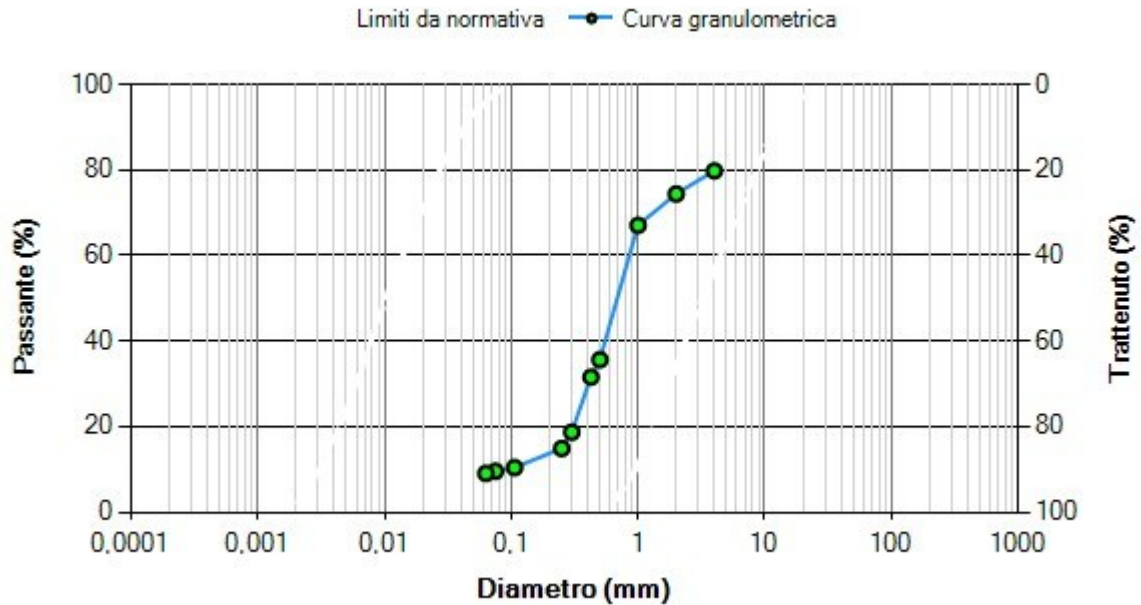
| | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|---|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA CON GHIAIA DEBOLMENTE LIMOSA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_113_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 639,360 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 129,27 | 129,27 | 79,78 |
| No. 10 | 2 | 34,46 | 163,73 | 74,39 |
| No. 18 | 1 | 46,88 | 210,61 | 67,06 |
| No. 35 | 0,5 | 200,76 | 411,37 | 35,66 |
| No. 40 | 0,425 | 26,09 | 437,46 | 31,58 |
| No. 50 | 0,300 | 82,15 | 519,61 | 18,73 |
| No. 60 | 0,250 | 24,33 | 543,94 | 14,92 |
| No. 140 | 0,106 | 28,64 | 572,58 | 10,44 |
| No. 200 | 0,075 | 5,44 | 578,02 | 9,59 |
| No. 230 | 0,063 | 3,12 | 581,14 | 9,11 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 58,220 | 0,86 | 0,69 | 0,09 | 9,67 |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:

03/12/2025

Responsabile di laboratorio

Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

CP1-13.5 (13,40 – 13,60 metri da p.c.)

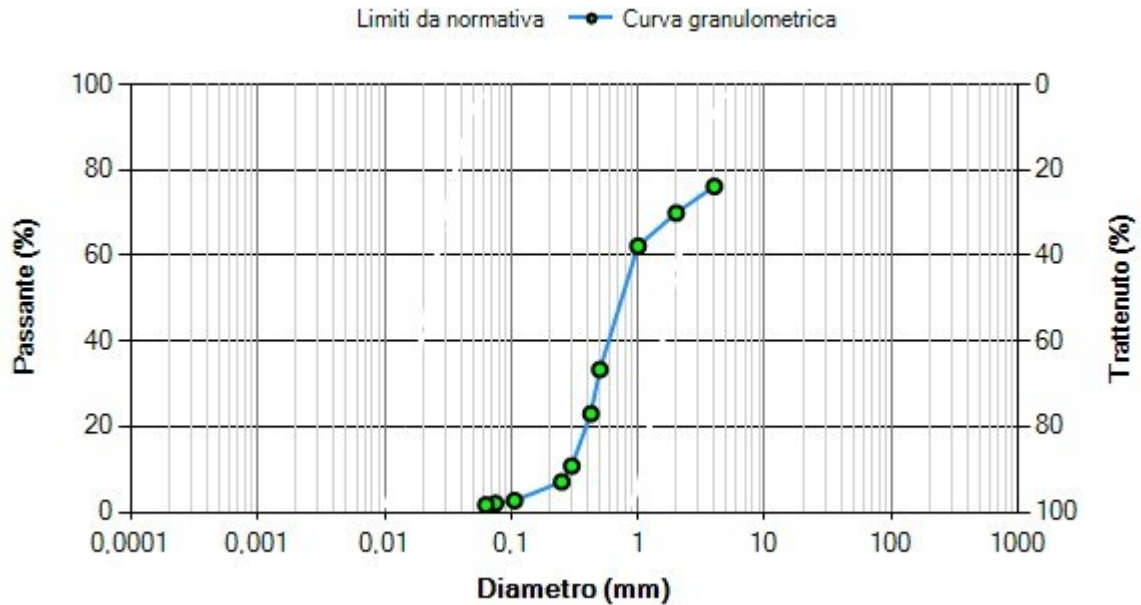
| | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|---|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA CON GHIAIA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_114_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 558,660 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 133,29 | 133,29 | 76,14 |
| No. 10 | 2 | 34,84 | 168,13 | 69,90 |
| No. 18 | 1 | 43,06 | 211,19 | 62,20 |
| No. 35 | 0,5 | 161,19 | 372,38 | 33,34 |
| No. 40 | 0,425 | 57,68 | 430,06 | 23,02 |
| No. 50 | 0,300 | 68,04 | 498,10 | 10,84 |
| No. 60 | 0,250 | 20,8 | 518,90 | 7,12 |
| No. 140 | 0,106 | 24,59 | 543,49 | 2,72 |
| No. 200 | 0,075 | 3,44 | 546,93 | 2,10 |
| No. 230 | 0,063 | 2,03 | 548,96 | 1,74 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 9,700 | 0,95 | 0,75 | 0,29 | 3,29 |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:
03/12/2025

Responsabile di laboratorio
Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

CP1-14.5 (14,40 – 14,60 metri da p.c.)

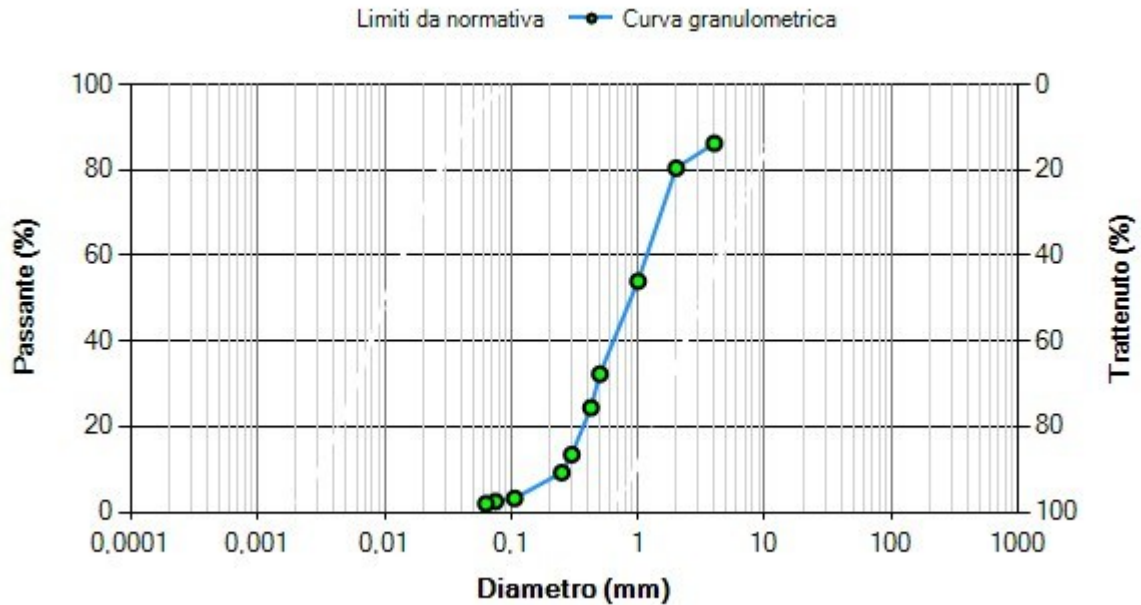
| | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|--|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA MEDIA – GROSSOLANA GHIAIOSA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_115_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 550,290 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 75,95 | 75,95 | 86,20 |
| No. 10 | 2 | 31,84 | 107,79 | 80,41 |
| No. 18 | 1 | 145,44 | 253,23 | 53,98 |
| No. 35 | 0,5 | 119,4 | 372,63 | 32,28 |
| No. 40 | 0,425 | 43,3 | 415,93 | 24,42 |
| No. 50 | 0,300 | 60,17 | 476,10 | 13,48 |
| No. 60 | 0,250 | 23,22 | 499,32 | 9,26 |
| No. 140 | 0,106 | 33,07 | 532,39 | 3,25 |
| No. 200 | 0,075 | 3,95 | 536,34 | 2,54 |
| No. 230 | 0,063 | 2,86 | 539,20 | 2,02 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 11,090 | 1,17 | 0,88 | 0,26 | 4,54 |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:

03/12/2025

Responsabile di laboratorio

Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.

SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE

CP1-15.1 (15,00 – 15,20 metri da p.c.)

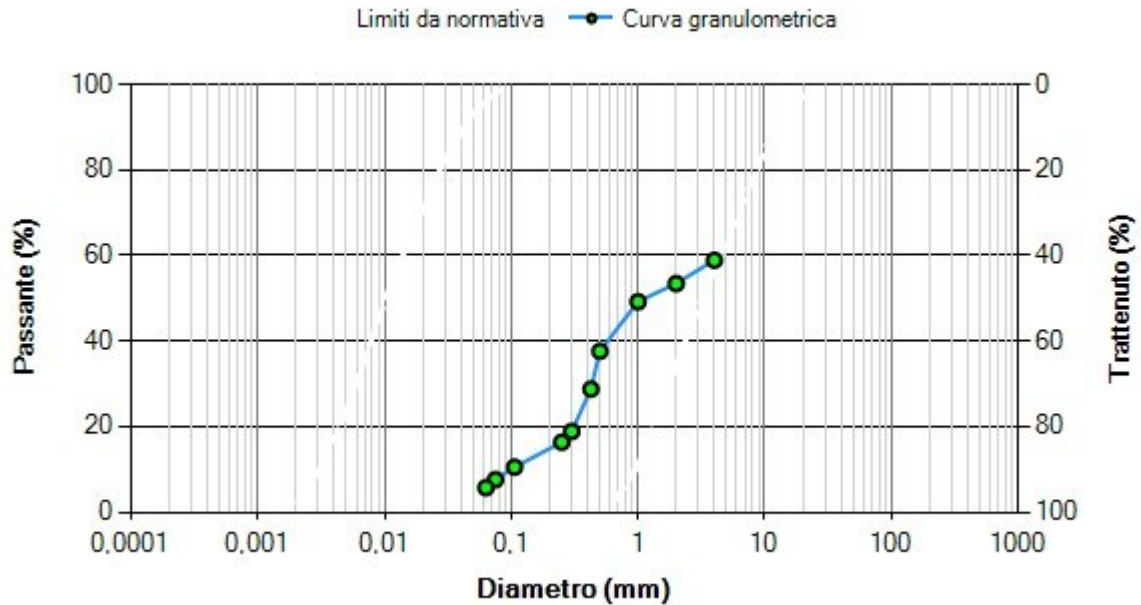
| | |
|--|---|
| Punto di campionamento: Broni (PV) | Data di campionamento: 09/2025 – 10/2025 |
| Tecnico di laboratorio: Niccolò Mattiolo | Responsabile di laboratorio: Dott. Geol. Marco Stoppa |



| |
|---|
| CLASSIFICAZIONE AGI: SABBIA CON GHIAIA DEBOLMENTE LIMOSA |
| GRADO DI QUALITA' CAMPIONE: Q2 |
| PROVE ESEGUITE: SETACCIATURA |

RAPPORTO DI PROVA RdP_116_25_00

Fuso granulometrico



Dati

Peso del campione, *W*: 838,690 g

| ASTM n. | ϕ [mm] | Trattenuto [g] | Trattenuto cumulativo [g] | Passante [%] |
|---------|----------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| No. 5 | 4 | 344,73 | 344,73 | 58,90 |
| No. 10 | 2 | 45,72 | 390,45 | 53,45 |
| No. 18 | 1 | 35,51 | 425,96 | 49,21 |
| No. 35 | 0,5 | 97,09 | 523,05 | 37,63 |
| No. 40 | 0,425 | 74,14 | 597,19 | 28,79 |
| No. 50 | 0,300 | 82,96 | 680,15 | 18,90 |
| No. 60 | 0,250 | 21,13 | 701,28 | 16,38 |
| No. 140 | 0,106 | 48,91 | 750,19 | 10,55 |
| No. 200 | 0,075 | 24,43 | 774,62 | 7,64 |
| No. 230 | 0,063 | 15,7 | 790,32 | 5,77 |

Risultati

| Fondo [g] | D60 [mm] | D50 [mm] | D10 [mm] | Uc |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| 48,370 | NaN | 1,14 | 0,10 | NaN |

PERMEABILITA' CALCOLATA: N.P.

Data di emissione:

03/12/2025

Responsabile di laboratorio

Dott. Geol. Marco Stoppa



Note: tutti i vagli utilizzati durante la prova sono certificati secondo le norme B.S./ISO. 3310 e A.S.T.M.E11 ed i certificati sono a disposizione.