



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in **Ingegneria Civile e Ambientale**

**Caratterizzazione geomeccanica delle coperture e proprietà geologiche dei terreni  
in zona Ancona**

**Geomechanical characterization of soil covers and geological properties of rocks in  
the Ancona area**

Relatore: Chiar.mo

Prof. **Tazioli Alberto**

Tesi di Laurea di:

**Crocetti Alessio**

Correlatore: Chiar.mo

Dott. **Fronzi Davide**

**A.A. 2020 / 2021**

## Sommario

1.	Introduzione.....	4
2.	Inquadramento dell'area di studio.....	6
2.1	Inquadramento Geografico.....	6
2.2	Inquadramento Climatologico.....	11
2.3	Inquadramento Geologico.....	13
2.3.1	Evoluzione tettonico sedimentaria.....	13
2.3.2	Litologia e stratigrafia.....	16
2.3.3	Tettonica e sismicità.....	24
2.4	Inquadramento Geomorfologico.....	28
2.4.1	Il territorio di Ancona.....	28
2.4.2	La geomorfologia del bacino del Miano.....	29
2.5	Inquadramento Idrologico e Idrogeologico.....	31
3.	Stato dell'arte.....	36
3.1	Analisi granulometrica dei terreni.....	36
3.2	I sondaggi geognostici.....	41
3.3	Pericolosità sismica di base e analisi sismica del territorio.....	43
3.4	Comportamento meccanico sotto azioni sismici di terreni e rocce.....	47
3.5	Effetti sismici di sito: risposta sismica locale.....	49
4.	Materiali e Metodi.....	51
4.1	Strumenti.....	51
4.1.1	Strumenti Meccanici.....	52
4.1.2	Strumenti Elettronici.....	61
4.1.3	Strumenti Informatici.....	67

4.1.4	Strumenti Chimici .....	69
4.2	Metodi d'indagine .....	72
4.2.1	Uscite in campagna e relative prove .....	72
4.2.1.1	Rilievo dei pozzi freatici .....	73
4.2.1.2	Prove infiltrometriche .....	77
4.2.1.3	Prelievo dei campioni dei diversi litotipi .....	83
4.2.1.4	Rilievo geomorfologico del bacino del Torrente Miano.....	87
4.2.2	Prove di laboratorio .....	90
4.2.2.1	Determinazione del contenuto d'acqua dei campioni.....	91
4.2.2.2	Analisi granulometrica per via umida.....	92
4.2.2.2.1	Analisi granulometrica per <i>vagliatura</i> .....	93
4.2.2.2.2	Analisi granulometrica per <i>sedimentazione (aerometrie)</i> .....	106
4.2.3	Sviluppi ed elaborazioni digitali .....	114
4.2.3.1	Digitalizzazione dei sondaggi geognostici della zona di Ancona.....	115
4.2.3.2	Costruzione delle curve di distribuzione granulometrica .....	119
4.2.3.3	Realizzazione delle carte relative al territorio di Ancona.....	119
4.2.3.4	Realizzazione di grafici a partire dai dati rilevati dalle indagini .....	120
5.	Risultati e discussione .....	122
5.1	Contenuto d'acqua dei diversi litotipi presenti nel bacino.....	122
5.1.1	I risultati di Marzo riguardanti il contenuto d'acqua dei litotipi.....	122
5.1.2	I risultati di Maggio riguardanti il contenuto d'acqua dei litotipi.....	123
5.2	Analisi granulometriche dei campioni prelevati nel bacino del Miano ....	124
5.2.1	Realizzazione delle curve granulometriche a partire dalla vagliatura .....	124
5.2.2	Realizzazione delle curve granulometriche relative a sedimentazione....	155

5.3	Digitalizzazione dei sondaggi e creazione della mappa dello spessore delle coperture.....	179
5.3.1	Tavola relativa alla digitalizzazione dei sondaggi geognostici.....	179
5.3.2	Carta dello spessore delle coperture della zona di Ancona.....	182
5.3.3	Sezione della carta dello spessore delle coperture e riferimenti alla correlazione sismica rispetto al terremoto di Ancona del 1972 .....	183
6.	Conclusioni.....	189
7.	Bibliografia e Sitografia .....	193
7.1	Bibliografia.....	193
7.2	Sitografia .....	196

# 1. Introduzione

In questo elaborato si intende effettuare uno studio geologico relativo alle caratteristiche fisiche dei litotipi presenti nel bacino del Torrente Miano, situato nel comune di Ancona. Tramite una dettagliata analisi delle formazioni e dei depositi collocati nel territorio del capoluogo, si indagano le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi stessi, mettendone in luce le caratteristiche granulometriche.

Si eseguiranno delle prove granulometriche utili alla determinazione della distribuzione delle dimensioni dei grani costituenti il terreno in esame e si intende trovare delle correlazioni vantaggiose all'approccio progettuale di professionisti nel campo ingegneristico delle costruzioni. Le analisi condotte verranno effettuate attraverso la metodologia della vagliatura, per diametri superiori agli 0.075 mm, e della sedimentazione (aerometrie) per determinare la frazione fine passante al setaccio n° 200 ASTM e quindi relativa a particelle il cui diametro è inferiore agli 0.075 mm.

Partendo da un'elaborazione digitale, si intendono riportare le sezioni stratigrafiche riguardanti sondaggi geognostici del territorio risalenti agli anni '80, studiandone le formazioni del substrato, i metodi di indagine, e focalizzandosi sullo spessore delle coperture degli stessi terreni interessati dal sondaggio.

Verranno inoltre determinati gli spessori medi, minimi e massimi delle formazioni appartenenti allo strato di base e, ove presenti, verranno stimate e mediate le caratteristiche geotecniche di queste formazioni illustrando un quadro geologico – tecnico utile al fine della progettazione di una nuova struttura o della risistemazione di un'area già edificata, individuandone quindi, ad esempio, le cause di cedimenti differenziali influenti alla mal funzionalità della struttura stessa.

Fatto ciò, si realizzerà ex novo una carta dello spessore delle coperture del comune di Ancona, descrivendone le peculiarità in relazione agli eventi sismici che hanno colpito il capoluogo nel 1972. In particolare, verranno messi in relazione gli spessori delle coperture con gli effetti di amplificazione delle onde sismiche da parte del terreno

sottostante la costruzione evidenziata nel luogo e l'entità dei danneggiamenti subiti dunque dalla stessa.

In ultimo, si rimanda per altre indagini non esplicate in questo elaborato ai documenti relativi la geomorfologia del bacino del Torrente Miano (Osimani, 2021) e riguardanti le proprietà idrogeologiche e idrologiche dell'area (Scarponi, 2021).

## 2. Inquadramento dell'area di studio

### 2.1 Inquadramento Geografico

La zona presa in esame nel presente studio è rappresentata dal bacino del Torrente Miano situato nella Regione Marche all'interno del comune di Ancona (Foglio IGM 118 – Quadrante IV N.O.) come mostrato in *Figura 1*. Esso si estende in direzione SE-NO per una lunghezza complessiva di circa 6 km e larghezza massima di circa 2 km.

I principali confini idrologici sono rappresentati a SE dal sottobacino del Rio Marganetto, un affluente del Fiume Aspio, e a SO dal bacino del Fiume Esino.



*Figura 1. Inquadramento geografico generale ([https://www.t-rafting.com/project\\_category/livelli-idrometrici/page/3/](https://www.t-rafting.com/project_category/livelli-idrometrici/page/3/))*

Il bacino occupa un'area di circa 5 km<sup>2</sup> (500 ha) dalla località di Pietralacroce fino ad arrivare alla zona del porto di Ancona (*Figura 2*).



Figura 2. Bacino del torrente Miano (ripresa e modificata da Google Earth Pro)

Seguendo lo spartiacque, sulla destra idrografica da SE verso NO, troviamo il Monte della Nave, il Monte Carlin e il Monte Venanzio e proseguendo ancora si giunge fino alla località di Pietralacroce. La valle, quindi, abbraccia la Cittadella di Ancona per interrompersi infine in corrispondenza del Monte Marino.

Lo spartiacque di sinistra idrografica, invece, a monte prende origine dal Monte Baldino, segue poi la strada del Castellano passando per località Villa Romana fino a raggiungere la località Le Grazie dove l'asta fluviale si interra in località Pian di S. Lazzaro, come raffigurato in *Figura 3*.



Figura 3. Il bacino del Torrente Miano (ripresa e modificata dalla Carta topografica IGM 1:25000)

Il percorso interrato si divide in due rami: il primo prosegue rettilineo, passa sotto la stazione ferroviaria di Ancona e giunge alla foce attraverso l'ultimo tratto all'aperto denominato Canale Conocchio.

L'altro, invece, prosegue in direzione ortogonale al precedente verso N-NE, supera in sotterraneo il confine del bacino idrografico di destra e sfocia in mare nei pressi del Parco del Cardeto. In *Figura 4* si mostrano le due differenti foci.

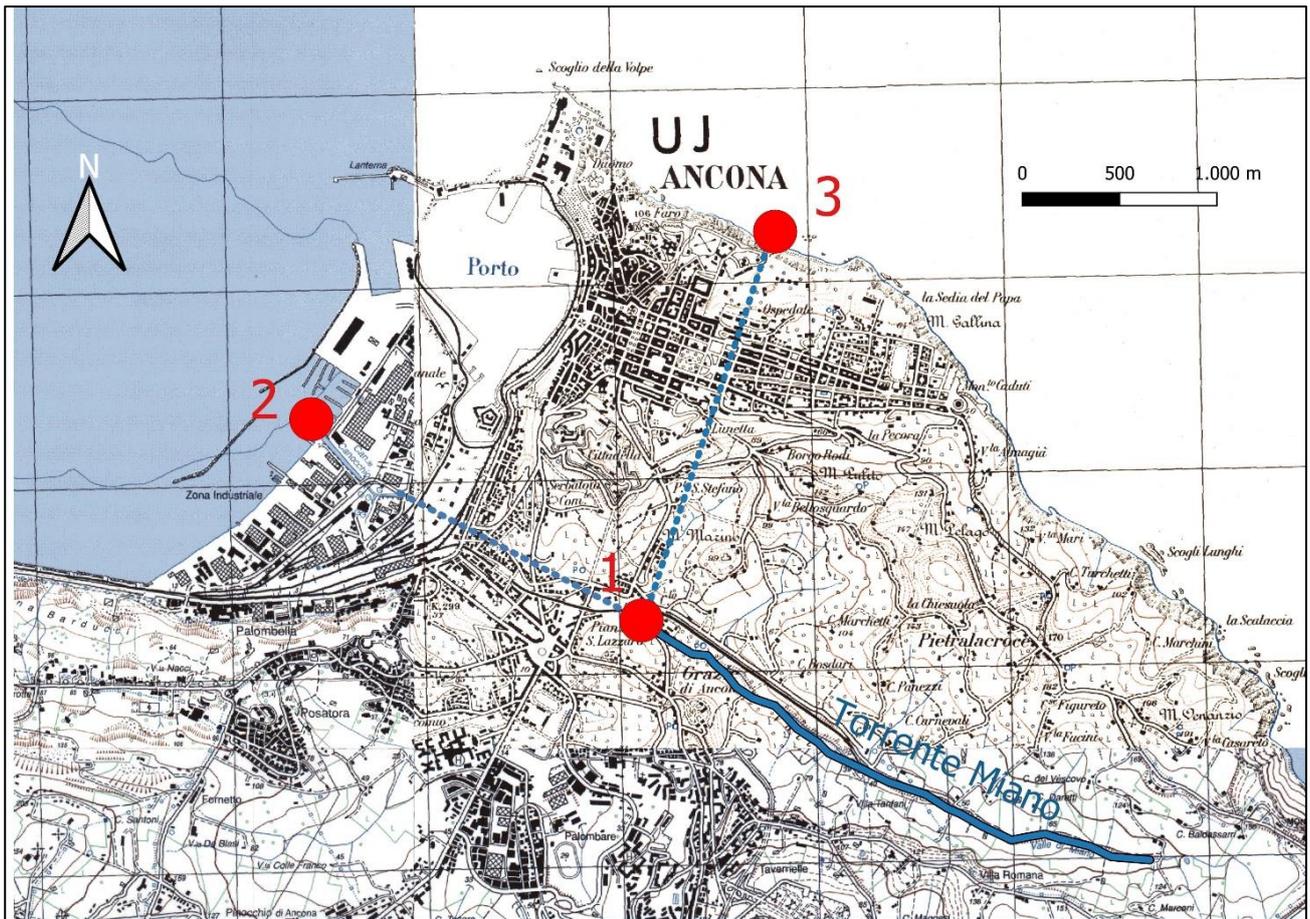


Figura 4. Rappresentazione del probabile percorso sotterraneo (in tratteggio) dei due rami del Torrente Miano. Legenda: 1) Punto nel quale il corso del Torrente Miano passa dalla superficie al sottosuolo. 2) Foce del ramo sotterraneo che procede rettilineo con l'ultimo tratto costituito dal Canale Conocchio. 3) Foce del ramo sotterraneo, ortogonale al precedente, situata sotto al Parco del Cardeto. (ripresa e modificata dalla Carta topografica IGM 1:25000)

Dal punto di vista orografico il bacino è prevalentemente collinare, ad eccezione della zona pianeggiante in corrispondenza del porto.

Le sorgenti del Torrente Miano sono situate tra la Località di Monte Baldino e Monte della Nave. La quota massima del bacino è di 226 metri s.l.m.m. che viene raggiunta in corrispondenza del M. Baldino, mentre la quota minima di 1 metro s.l.m.m. si ha in corrispondenza del Canale Conocchio e nei pressi del Parco del Cardeto (Figura 5).



Figura 5. Una delle due foci, sotto il Parco del Cardeto (ripresa da Google Earth Pro)

In Figura 6 è rappresentato il profilo in elevazione dell'asse del torrente Miano che sfocia nel Canale Conocchio. Esso presenta una pendenza massima di circa il 20%, con una media di circa il 2.6%. La sorgente si trova a 130 metri s.l.m.m. e nel tratto finale attraversa tutta la città, biforcandosi nel sottosuolo, prima di sfociare in mare.

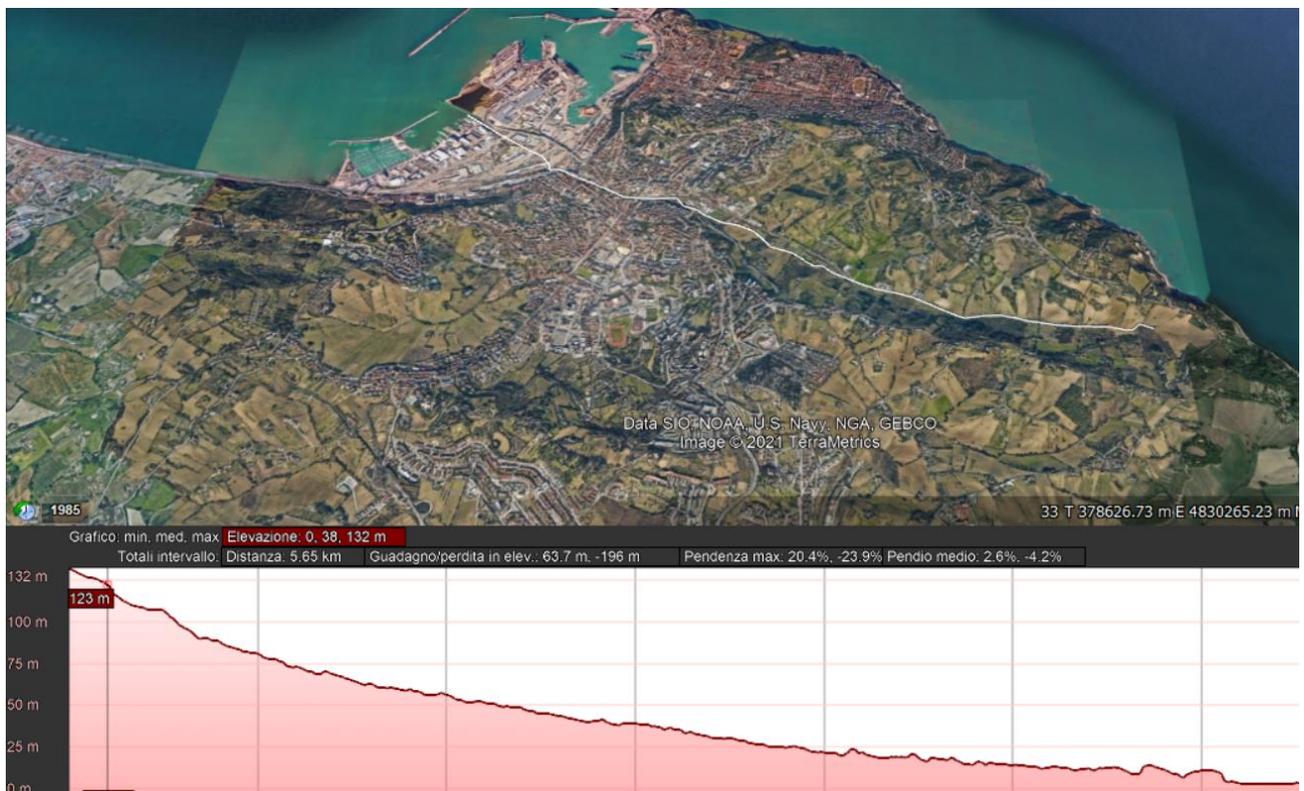


Figura 6. Profilo in elevazione dell'asse del torrente Miano (ripresa da Google Earth Pro)

## 2.2 Inquadramento Climatologico

Il territorio italiano può essere suddiviso, come mostrato in *Tabella 1*, in sei diverse macroregioni climatiche principali caratterizzate ciascuna da una caratteristica climatica distinta (<https://www.pearson.it/libroliquido>). In *Figura 7* sono riportate con scale di colori differenti le varie regioni climatiche italiane.



*Figura 7. Regioni climatiche territorio italiano (Amerini et al, 2020)*

Regione alpina	Clima rigido caratterizzato da inverni lunghi e nevosi, estati fresche con frequenti precipitazioni
Regione padana	Clima continentale caratterizzato da inverni umidi e freddi, estati torride.
Regione appenninica	Clima montano sugli altopiani, mediterraneo sulle coste e continentale nelle vallate.
Regione ligure-tirrenica	Clima mediterraneo caratterizzato da inverni miti, estati temperate e frequenti precipitazioni.
Regione adriatica	Clima mediterraneo con inverni umidi e rigidi, con possibilità di eventi nevosi, e con estati torride.
Regione mediterranea	Clima mediterraneo distinto da inverni meno rigidi con abbondanti precipitazioni, e da estati secche e calde.

*Tabella 1. Regioni climatiche del territorio italiano.*

Il clima delle Marche è di tipo mediterraneo nella fascia costiera e spostandosi verso l'entroterra, diviene sub-mediterraneo. La zona montuosa, invece, è interessata da un clima prevalentemente oceanico anche se sono presenti talora tendenze mediterranee ([www.ambiente.marche.it](http://www.ambiente.marche.it)).

Le precipitazioni medie annuali nelle Marche sono di circa 600-800 mm, che possono arrivare a 850-1100 mm sulla fascia medio basso-collinare e fino a 1750 mm in montagna.

Relativamente alle stagioni, gli intervalli in cui ricadono le precipitazioni medie nel territorio marchigiano (<http://www.geofisico.it/studi.htm>):

- Primavera: 120-435 mm
- Estate: 105-285 mm
- Autunno: 165-480 mm
- Inverno: 150-525 mm

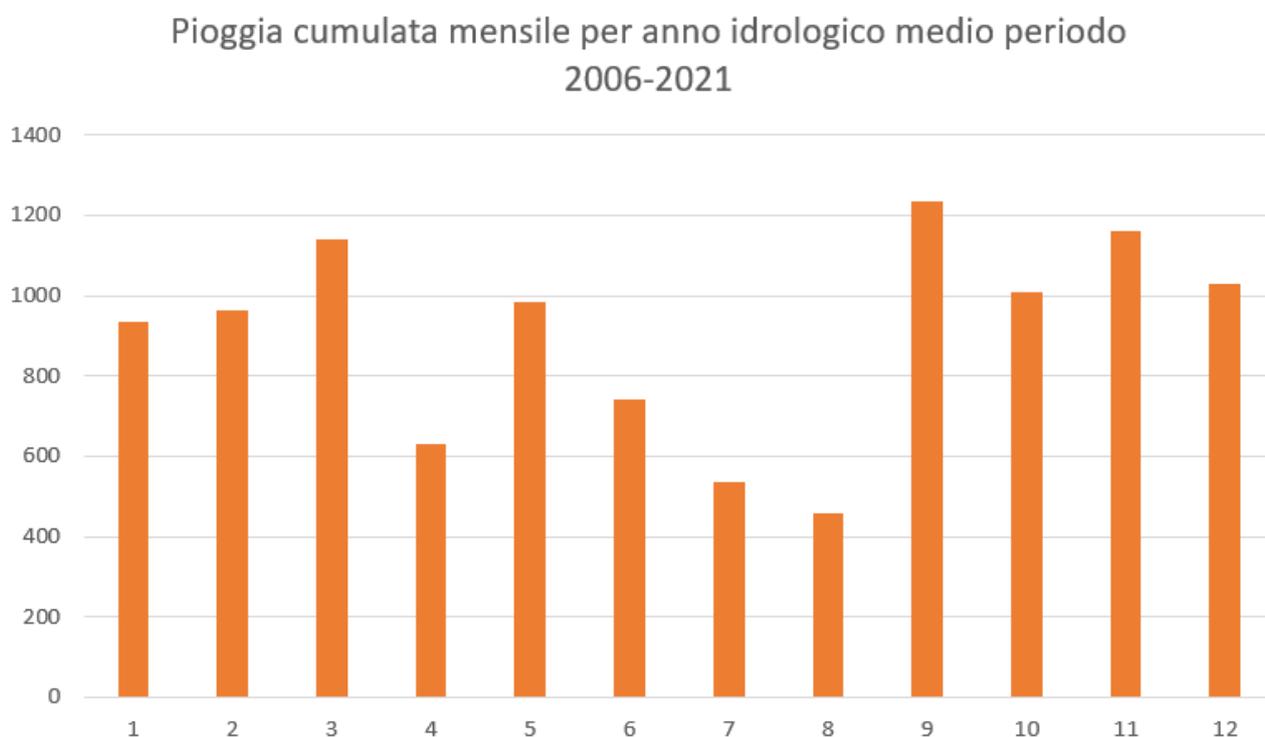
Le temperature medie nelle Marche sono comprese tra i 4°C e i 17°C, le quali sono raggiunte rispettivamente dai rilievi più alti dei Monti Sibillini e nelle zone costiere (<http://www.geofisico.it/studi.htm>).

L'orografia gioca un ruolo da protagonista nell'esercitare cambiamenti delle condizioni termiche delle masse d'aria interessate nella regione, dunque salendo di quota la temperatura media diminuisce di valore.

L'inquadramento climatico relativo all'area interessata è stato valutato tenendo conto dei dati meteo forniti dalla stazione denominata Ancona Regione appartenente Rete di Monitoraggio (MIR) gestita dalla Protezione Civile, Regione Marche (Servizio SIRMIP Online).

Nel grafico di *Tabella 2* sono rappresentate le medie mensili dei millimetri di pioggia caduti nel periodo tra il 2006 e il 2021 nella zona di Ancona, nella quale ricade il bacino di studio. Si possono notare come i mesi più piovosi risultino essere quelli di Settembre (1234 mm) e di Novembre (1160 mm). Nei primi mesi dell'anno, invece, spicca Marzo come mese più piovoso con i suoi 1138 mm di precipitazioni. Agosto è,

invece, il mese con meno precipitazioni (458 mm), seguito da Luglio con 536 mm di precipitazioni.



*Tabella 2. Dati meteo zona di Ancona relativi alle precipitazioni medie mensili dall'anno 2006 all'anno 2021*

## 2.3 Inquadramento Geologico

L'area umbro-marchigiana, dal punto di vista geologico, è caratterizzata dalla presenza di una sequenza di rocce sedimentarie appartenenti alla Successione umbro-marchigiana. Essa risulta delimitata a nord dalla Colata della Val Marecchia, a sud dai Monti della Laga, a ovest dalla depressione Val di Chiana – Val del Paglia e a est dal Mare Adriatico (Passeri, 1994)

### 2.3.1 Evoluzione tettonico sedimentaria

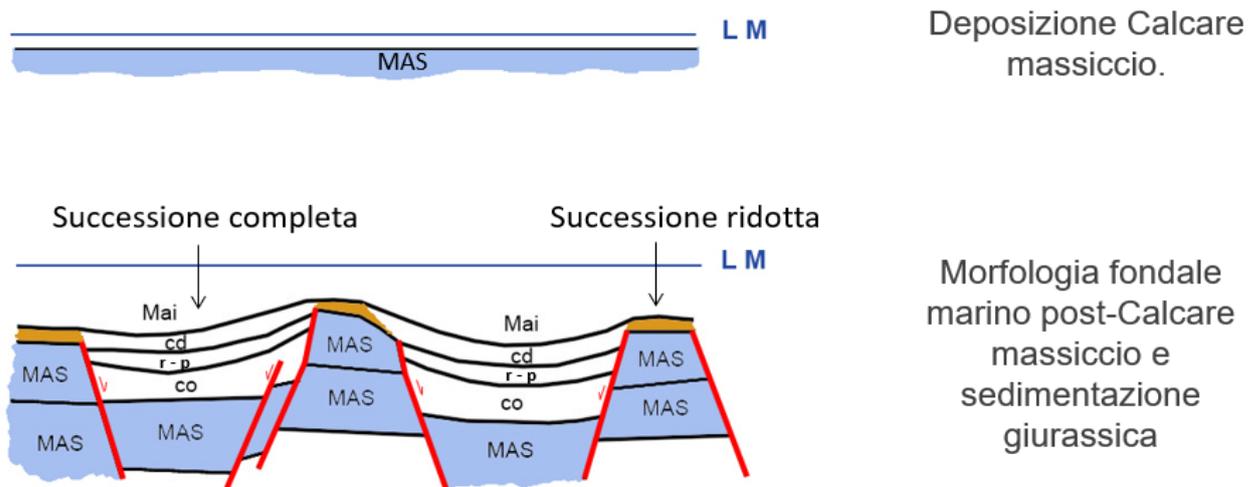
L'area oggetto di studio ricade nel territorio della regione Marche, il quale è caratterizzato dall'affioramento della nota Successione umbro-marchigiana, che si è deposta in modo continuo dal Trias superiore al Tortoniano e in qualche località fino al Messiniano o al Pliocene inferiore.

Nella fascia costiera del territorio marchigiano al di sopra di tale successione si sono depositati, in discordanza stratigrafica, sedimenti fino al Pleistocene inferiore (Centamore & Deiana, 1986).

Nel Trias superiore, nell'area umbro marchigiana, era presente un esteso bacino evaporitico caratterizzato da acque basse, dove si depositava la formazione delle Anidriti di Burano, costituite dall'alternanza di calcari dolomitici, anidriti e dolomie, e di rado di marne e calcari. Esse non affiorano mai in superficie ma sono state rilevate solo durante l'esecuzione di profondi sondaggi nella zona del fiume Burano, che gli dà il nome.

Alle Anidriti di Burano segue la deposizione della formazione del Calcarea Massiccio *s.l.*. A causa della disomogeneità del bacino articolato in alti e bassi strutturali, delimitati da faglie distensive, in cui si depositava il Calcarea Massiccio, esso può essere distinto in: Calcarea Massiccio del Burano, presente nelle parti più profonde del bacino e in Calcarea Massiccio del M. Nerone che si depositava negli alti strutturali come mostrato in *Figura 8* (Deiara & Tondi, 2016).

Tale articolazione del bacino di sedimentazione è proseguita con la deposizione dei termini più recenti della Successione umbro-marchigiana, che quindi può essere distinta in una successione ridotta comprendente la formazione del Bugarone, e in una successione completa depositatasi in maniera sincrona alla precedente e comprendente la formazione della Corniola, del Rosso Ammonitico, dei Calcari a Posidonia e dei Calcari Diasprigni umbro marchigiani.



MAS = Calcarea massiccio; Co = Corniola; r - p = Rosso ammonitico e Calcari a Posidonia; Cd= Calcari diasprigni; Mai= Maiolica.

Figura 8. Rappresentazione dell'abbassamento differenziale del fondo marino in relazione all'attività di faglie accompagnate da uno spostamento degli strati. Le aree più depresse corrispondono ai blocchi rocciosi ribassati (Deiara & Tondi, 2016).

Con la fine del Giurassico le difformità del fondale marino scompaiono e con la deposizione della Maiolica la sedimentazione ritorna uniforme.

Con la fine della sedimentazione della Maiolica, ovvero dopo il Cretaceo inferiore, si registra l'arrivo ormai continuo, di materiale argilloso, proveniente dalle erosioni, di rilievi di lontane aree emerse. La composizione litologica, quindi, cambia e per tutto il Cretaceo superiore e parte dell'Eocene, cioè durante la deposizione delle Marne a Fucoidi, della Scaglia bianca, rossa, e variegata, predominano i calcari marnosi.

Con le successive formazioni, Scaglia cinerea, Bisciario e Schlier, cioè tra la parte alta dell'Eocene e la parte alta del Miocene, le argille diventano prevalenti sui calcari, e si passa alle marne, marne argillose e argille.

Dopo la deposizione dello Schlier, la natura dei sedimenti che arrivano sui fondali marini cambia repentinamente: si tratta ora di materiali clastici grossolani, delle dimensioni della sabbia, derivanti dalla erosione di nascenti rilievi montuosi ubicati in vicinanza delle nostre aree. Essi danno origine a depositi di arenarie attribuite al

Miocene superiore. Nella fascia costiera in esame la sedimentazione si chiude con dei depositi marini Plio-Pleistocenici.

### 2.3.2 Litologia e stratigrafia

Nell'area umbro-marchigiana affiorano le rocce appartenenti alla Successione Stratigrafica umbro-marchigiana che hanno un'età che va dal Trias superiore al Tortoniano inferiore e talora fino al Messiniano o al Pliocene Inferiore p.p.

Nella porzione più antica, essa può essere suddivisa in una Successione Giurassica Condensata (o ridotta) e in una Successione Giurassica Completa (Centamore & Deiana, 1986; Passeri 1994, Pierantoni et al, 2013). In *Figura 9* è mostrata la scala cronologica e la successione stratigrafica umbro-marchigiana.

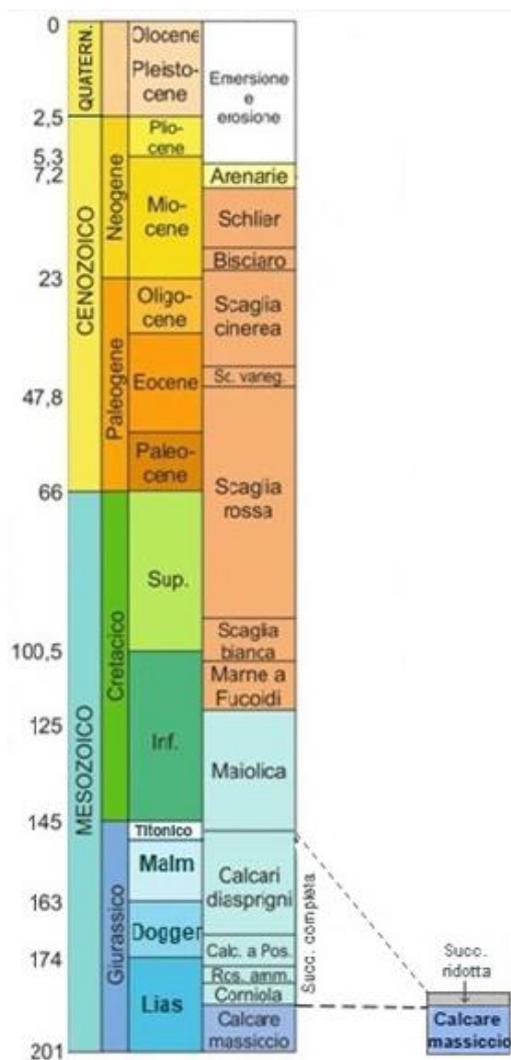


Figura 9. Scala cronologica e successione stratigrafica (Deiana & Tondi, 2016)

## **Successione Giurassica Condensata o Ridotta**

### **- *Calcarea Massiccio s.l (Hettangiano – Carixiano p.p)***

Il Calcarea Massiccio s.l. è costituito da una roccia calcarea biancastra costituita prevalentemente da resti di microrganismi marini e può essere distinto in due unità principali:

Il *Calcarea Massiccio del Burano*, caratterizzato da calcari biancastri in cui sono assenti strutture sedimentarie e sono generalmente formati da micriti intervallati talvolta da microfacies detritiche con granulometria variabile.

Il *Calcarea Massiccio del M. Nerone*, dove la stratificazione è composta da strati medi e spessi con litotipi rappresentati da biomicriti. La deposizione superiore è avvenuta contemporaneamente alla fase di distensione tettonica, che ha frammentato la piattaforma carbonatica triassico-liassica individuando, tra l'altro, anche il bacino umbro-marchigiano.

### **- *Formazione del Bugarone (Carixiano p.p. – Titoniano basale)***

Caratterizzata da calcari nodulari di colore grigiastro e nocciola talora dolomizzati e ben stratificati. In essi si possono osservare intercalazioni marnose verdastre o rossastre. Di frequente si possono ritrovare noduli di pirite limonizzata.

Questa formazione è presente nella Successione condensata al di sopra del Calcarea Massiccio e sostituisce le formazioni della Corniola, del Bosso e dei Calcari diasprigni umbro-marchigiani, che caratterizzano la formazione completa.

Lo spessore della formazione che varia dai 20 ai 60 metri.

## **Successione Giurassica Completa**

### **- *Corniola (Sinemuriano basale p.p. – Toarciano basale p.p.)***

Costituita da calcari micritici stratificati di colore grigio-nocciola a volte intervallati da selce nerastra in noduli e con frequenti livelli calcareo-detritici presentanti granulometria variabile. Lo spessore della formazione varia da pochi metri a circa 200 m e si può evidenziare inoltre che la deposizione della Corniola è avvenuta in un

ambiente pelagico più profondo di quello degli ambienti di deposizione di alto strutturale.

- **Marne del M. Serrone** (*Pliensbchiano p.p. – Toarciano p.p.*)

Marne calcaree in strati con spessore variabile alternate a marne scistose e calcari clastici verde-marroni in strati di spessore medio. Nella porzione inferiore sono predominanti i calcari marnosi e le calcareniti. Nella deposizione intermedia sono prevalenti le formazioni marnoso-argillose, mentre in quella superiore le facies detritiche sono le più comuni, presenti in strati sottili.

- **Rosso Ammonitico** (*Toarciano p.p.*)

Calcari di colore rosso scuro e a volte grigio verdi e calcari marnosi intervallati da marne rosse e da marne scistose. L'unità può essere parzialmente o totalmente sostituita dalle Marne del M. Serrone.

- **Calcari a Posidonia** (*Toarciano superiore p.p. – Bojociano basale*)

Sono costituiti da calcari biancastri e marne calcaree con abbondanti filamenti di Posidonia e andando in superficie è possibile riscontrare presenza di selce. Sono presenti anche calcari clastici e bioclastici in strati molto spessi.

- **Calcari diasprigni** (*Bojociano superiore – Titoniano basale*)

Costituiti da calcari silicei, micritici o diaspri color magenta, verde e grigio con combinazioni variabili. Talvolta si ritrovano blocchi, anche di importante dimensione, di litofacies appartenenti agli alto strutturali adiacenti. Lo spessore della formazione è variabile dagli 80 m ai 150 m.

### **Gruppo Cretacico-Paleogenico**

- **Maiolica** (*Titoniano superiore – Aptiano basale p.p.*)

Calcari micritici di color bianco stratificati con selce grigia, con sottili intercalazioni di peliti di color grigio. La formazione ha uno spessore che varia da circa 20 m nelle zone di alto strutturale fino a 500 metri nelle depressioni.

- **Marne a Fucoidi** (*Aptiano basale p.p. – Albiano superiore p.p.*)

Marne di colore diverso con strati calcareo-marnosi prevalenti nella parte basale e con intercalazioni di calcareniti laminate.

La deposizione marnosa è caratterizzata da uno spessore di 40 m circa ed è costituita da marne e marne argillose policrome che presentano sottili strati intercalanti micritici di color verde.

La deposizione calcarea con relativo spessore variabile tra 50 e 80 metri, è caratterizzato da calcari e calcari marnosi, marne e marne calcaree: l'apporto marnoso-argilloso diminuisce andando verso l'alto con la presenza di fatto dell'aumento di selce policroma.

- **Scaglia bianca** (*Albiano superiore p.p. – Turoniano basale p.p.*)

Calcare e calcari marnosi di color bianco, con la presenza di selce nera. Al di sotto del contatto con la formazione della Scaglia rossa è sempre presente un livello calcareo-marnoso-siliceo-bituminoso.

- **Scaglia rossa** (*Turoniano basale p.p. – Luteziano p.p.*)

È costituita da calcari e calcari marnosi di color rosa, con sottili strati di selce rossa alla base, mentre nella parte intermedia sono presenti marne e marne calcarei, con spessore maggiore, di color rosso. Nella porzione più in alto, invece, si possono notare calcari e calcari marnosi di color rosa con intercalazioni di selce rossa laminata. È inoltre possibile ritrovare livelli detritici carbonatici.

Gli spessori caratteristici della Scaglia rossa variano dai 200 m, dove i depositi sono prevalentemente pelagiti, ai 450 m dove i depositi sono prevalentemente detritici.

- **Scaglia variegata** (*Luteziano p.p. – Bartoniano p.p.*)

Calcari e calcari marnosi rossi, grigi e verdi in strati medio-sottili alternati con marne e calcari marnosi grigi e rossi. Lo spessore è variabile dai 20 ai 40 metri. La sedimentazione della Scaglia variegata è avvenuta dall'Eocene medio all'Eocene superiore.

- **Scaglia cinerea** (*Bartoniano p.p. – Aquitaniano p.p.*)

Ultima formazione della deposizione del gruppo cretacico-paleogenico. È costituita da marne calcaree, alternate a calcari marnosi, marne argillose e micriti. La formazione è caratterizzata da uno spessore che varia dai 100 ai 250 m, la cui deposizione è a volte disturbata dalla presenza del fenomeno del clivaggio.

### Gruppo Mio – Plio – Pleistocenico

- **Bisciaro** (*Aquitano p.p. – Burdigaliano p.p.*)

Calcari silicei e marne nero-grigio, intercalate da a marne calcaree grigie e marne argillose. Nella parte più bassa si possono trovare intercalazioni di livelli vulcanoclastici. Gli spessori sono limitati e possono variare dai 5 metri ai 120 metri.

Relativamente all'area di interesse, è possibile ritrovare terreni appartenenti alla successione mio – plio – pleistocenica e depositi continentali quaternari. Si può distinguere la successione marina in quattro unità litostratigrafiche: Schlier, Formazione gessoso – solfifera, Formazione a Colombacci e Argille azzurre; le cui età e relativi rapporti stratigrafici sono illustrati nelle *Figure 10 e 11* (Cello & Tondi, 2021).

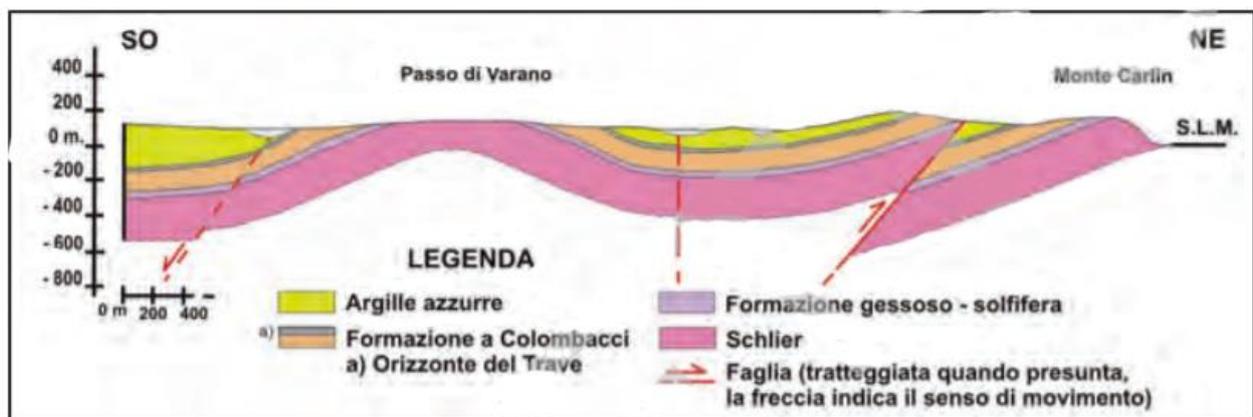


Figura 10. Sezione geologica dell'area di studio, relativa alle formazioni mio – plioceniche (ripresa e modificata da Cello & Tondi, 2021).

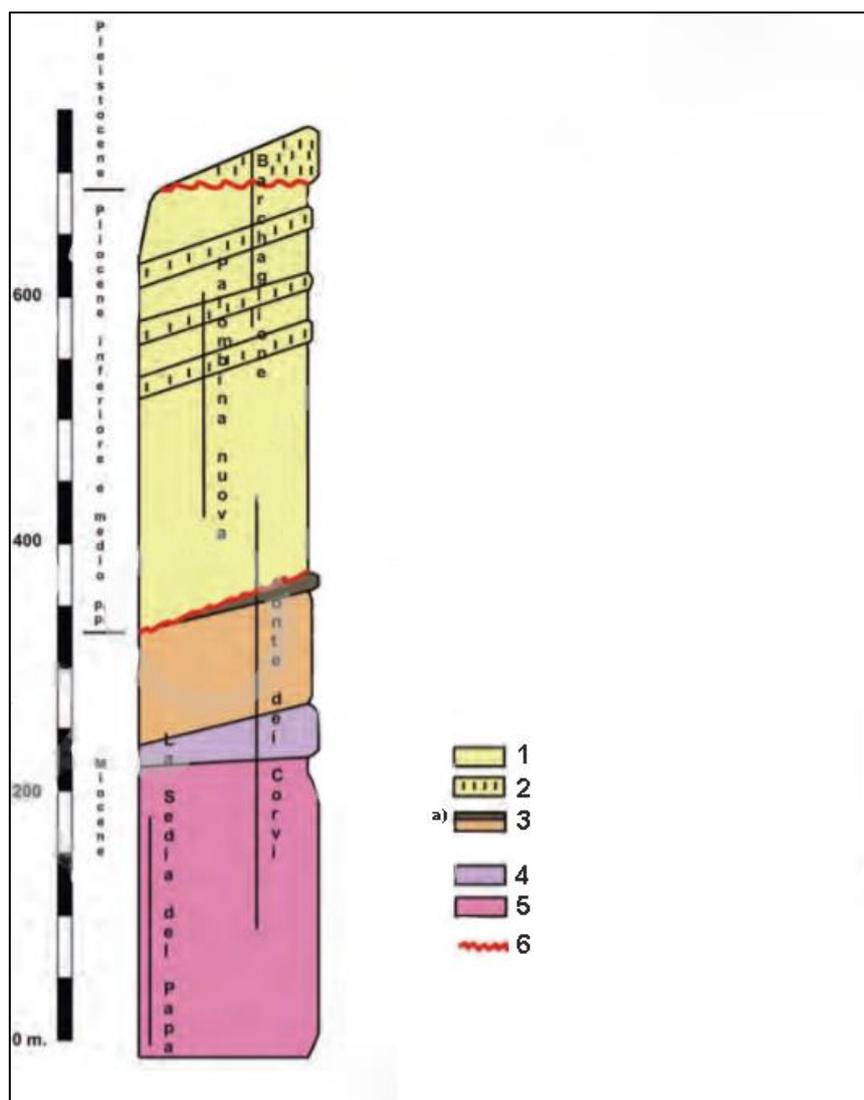


Figura 11. Sezione stratigrafica mio – plio – pleistocenica dell'area oggetto di studio. Legenda 1) Argille Azzurre. 2) Litofacies arenaceo – pelitica. 3) Formazione a Colombacci; A) Orizzonte del Trave. 4) Formazione gessoso – solfifera. 5) Schlier. 6) Discordanza stratigrafica (Cello & Tondi, 2021).

### - **Schlier**

Lungo la fascia costiera compresa tra la città Ancona e l'abitato di Portonovo si può reinvenire la formazione dello Schlier. È costituita da marne e marne calcaree compatte, composte da strati irregolari di 30-40 cm di spessore; la restante porzione di formazione è caratterizzato da marne grigio-nocciola e grigio-brune con rare intercalazioni di marne calcaree. Superiormente la formazione presenta strati marnosi e argille color bruno alternati a strati marnosi color bianco-grigiastri di spessore variabile dell'ordine di qualche cm.

Lo spessore complessivo della formazione è di circa 250 m.

- ***Argille azzurre***

Costituite da peliti grigio-azzurre che si rinvencono andando verso l'alto anche di colore scuro. Lo spessore massimo delle peliti è di circa 70 m. Esse caratterizzano depositi di scarpata o di bordo rialzato di bacino. Le torbiditi pelitico-arenacee, invece, sono associate a un ambiente di piana sottomarina.

Le argille azzurre caratterizzanti il territorio di Ancona presentano uno spessore che arriva fino ai 300 m e sono costituiti da una successione pelitica e nella parte più alta si ritrovano quasi esclusivamente argille color azzurro-grigie.

- ***Formazione gessoso-solfifera***

È costituita da argille bituminose e siltiti laminate caratterizzate con strati di pochi centimetri, calcari solfiferi in strati spessi fino ai 10 cm. La formazione si ritrova con continuità nella fascia costiera compresa tra Ancona e Portonovo, di spessore di circa 50 m.

- ***Argille a colombacci***

Peliti grigie e peliti scure si alternano con sottili intercalazioni di origine chimica (colombacci) e di marne color scuro. La stratificazione in questione non risulta eccessiva, ma medio sottile. La parte inferiore della formazione è caratterizzata da marne siltose color bruno, con strati superiori ai 100 m.

È bene, inoltre, citare l'Orizzonte del Trave, costituito da arenarie silicoclastiche e calcareniti in spessore dai 20 ai 30 cm, il cui ambiente di formazione è di tipo lacustre-marino.

Conclusasi la deposizione marina, nel bacino del Torrente Miano si sono formati dei depositi continentali costituiti da: coltri eluvio – colluviali; depositi di spiaggia; depositi di frana; depositi alluvionali (Cello & Tondi, 2021). (*Figura 12 e 13*)

## Depositi continentali

### - *Coltre eluvio-colluviale*

Nell'area di interesse, data la natura pelitica-arenacea del loco, si ritrova un'ampia diffusione di coltri eluvio-colluviali. Sono caratterizzate da spessori di 10-15 m e i depositi in questione presentano sedimenti fini, con granulometrie prevalentemente dei limi e delle argille a volte intervallati da frammenti arenitici. Il color scuro di tale coltre è associabile soprattutto alla grande quantità di frazione organica presente e al grado alto di saturazione in acqua.

### - *Depositi di spiaggia*

Questi depositi sono costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie grossolane.

### - *Depositi di frana*

Molto importanti, questi tipi di depositi sono molto frequenti nella zona di Ancona, soprattutto sui versanti a franapoggio o traversopoggio. Sono principalmente generate da colamenti o di frane rappresentate da scivolamenti evolventi in colamenti.

### - *Depositi alluvionali*

Questi depositi comprendono terrazzi minori e le alluvioni costituiti da depositi dalla frazione limosa a quella ghiaiosa.

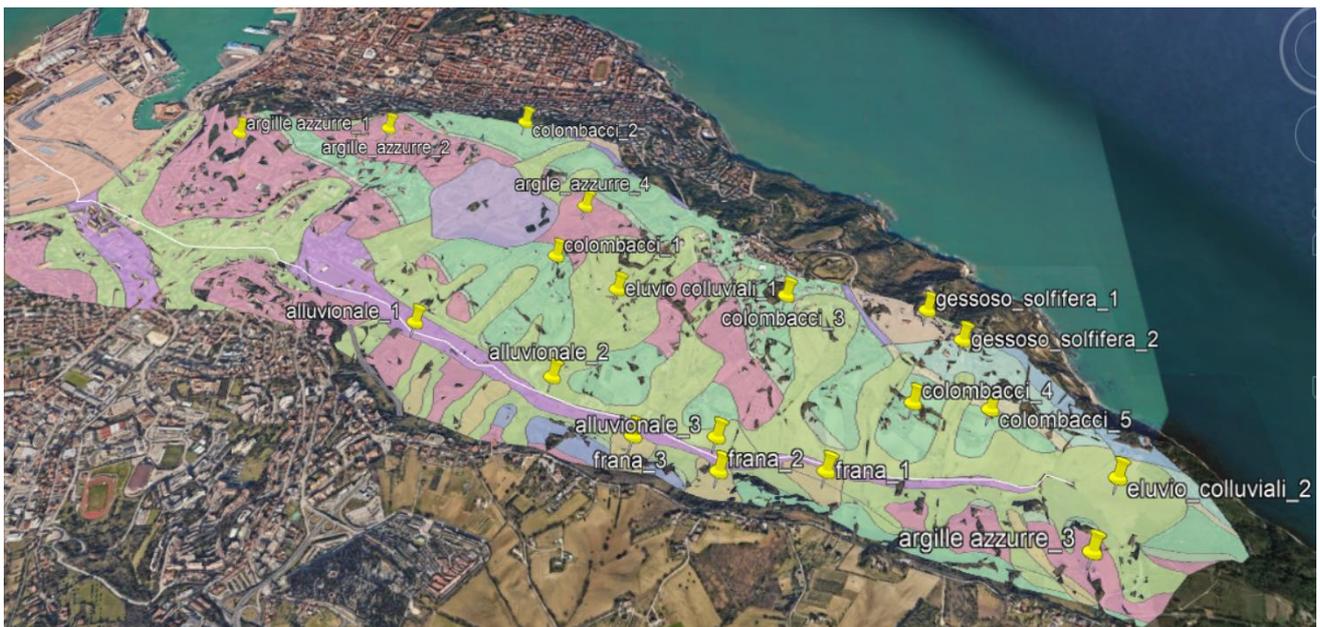


Figura 12. Litotipi affioranti nel bacino del Torrente Miano su base cartografica ripresa da Google Earth Pro

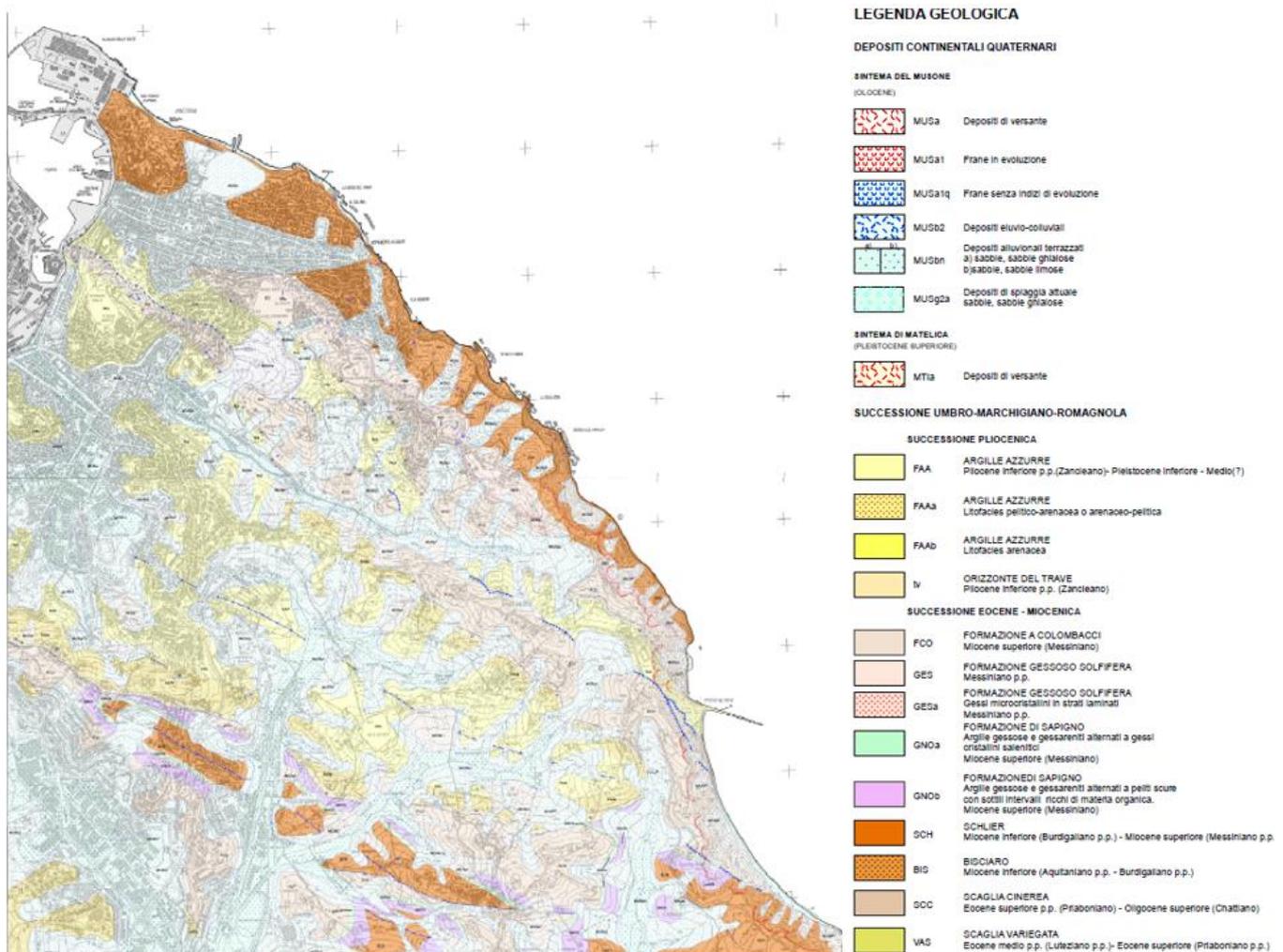


Figura 13. Cartografia Geologica in scala 1:10000 della Regione Marche

In *Figura 13* è rappresentato il contesto geologico regionale del territorio anconetano in cui si inserisce il bacino del Torrente Miano.

### 2.3.3 Tettonica e sismicità

Nell'area studiata la tettonica si manifesta in uno stile strutturale che è caratterizzato da pieghe e faglie con assi e direzioni dei piani di faglie NO-SE, le quali rappresentano direttrici preferenziali appenniniche.

Sono presenti, inoltre, faglie ad andamento trasversale rispetto a quelle NO-SE, che si sviluppano quindi lungo le direzioni NE-SO. Queste ultime sono faglie inverse, quasi verticali, che talvolta presentano una componente trasforme (Crescenti et al, 1977).

Nell'area anconetana, a partire dal Pliocene inferiore, si sono sviluppate da ovest verso est le seguenti unità strutturali (Nanni, 1980):

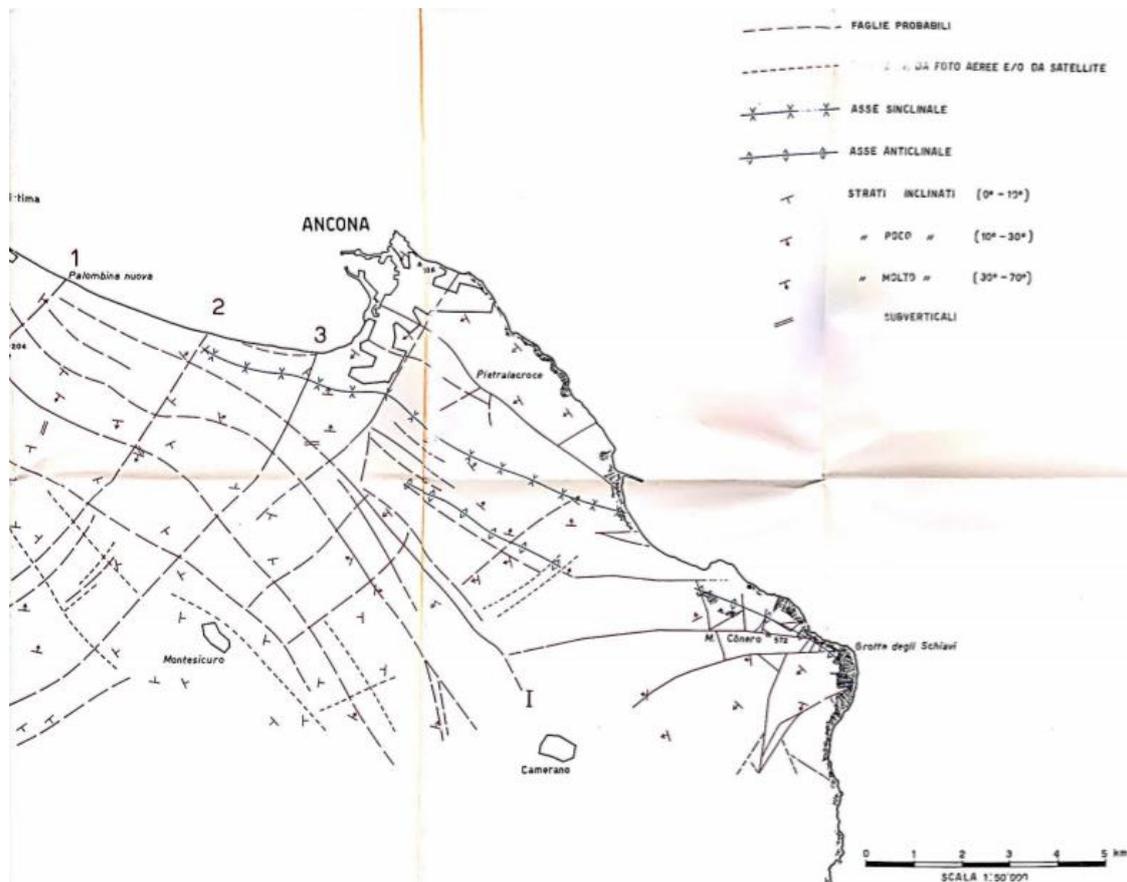
- Monoclinale di Ancona: si immerge a SO, essa è costituita dalla formazione dello Schlier, dal Messiniano e dal Pliocene inferiore.
- Sinclinale asimmetrica di Tavernelle: si accavalla verso NE, per faglia inversa con rigetto di quasi 300 m, sulla monoclinale di Ancona.
- Anticlinale di Varano: dal suo nucleo affiorano le marne dello Schlier tettonizzate con faglie ad andamento NO-SE.
- Anticlinale asimmetrica del Monte Conero: dal suo nucleo affiorano i sedimenti più antichi della zona (Maiolica), dislocate da faglie con andamento E-O.
- Anticlinale di Falconara: essa è dislocata da faglie con andamento NO-SE e NE-SO. Il suo nucleo è costituito da sedimenti originatesi nel Pliocene inferiore.
- Complesso delle faglie con andamento NO-SE, tra cui la più importante è sicuramente la faglia degli Angeli, delimitante verso l'interno le strutture di Ancona, Falconara e del Conero.
- Anticlinale di Agugliano: dal suo nucleo affiora il Pliocene inferiore e la parte bassa del Pliocene medio.
- Complesso di faglie NE-SO: in prossimità del porto di Ancona e di Torrette sono bene evidenti, presentanti un rigetto prevalentemente con componente orizzontale.

La tettonica, che ha dislocato maggiormente i terreni pre-pleistocenici, ha avuto un picco di attività tra l'inizio del Pliocene medio e quello del Quaternario, ed è in parte nascosta nelle zone dove i terreni pleistocenici affiorano.

L'analisi delle strutture (faglie), che hanno presentato una riattivazione durante il Quaternario, è stata resa possibile mediante considerazioni morfologiche utilizzando anche foto aeree.

È bene segnalare che sotto le strutture quaternarie, quali quelle di Varano e Agugliano, i termini pre-quaternari siano disposti a pieghe e faglie ad andamento appenninico.

In *Figura 14* è rappresentato lo Schema Tettonico dell'area di Ancona (Crescenti et al, 1977).



*Figura 14. Schema tettonico dell'area di Ancona (Crescenti et al, 1977)*

La correlazione tra tettonica e sismicità, in particolare la relazione che lega la posizione degli ipocentri e le strutture tettoniche, non sempre è realizzabile e non sempre i risultati sono attendibili.

I movimenti lungo i piani di faglia rilevati durante i sisimi non sono sufficienti per decretare l'ammissione di un rapporto diretto tra ipocentro e faglia: infatti lo scorrimento lungo una faglia può essere causato da un movimento più profondo che si trova lungo una più grande superficie di dislocazione da cui si origina il sisma (Manfredini, 1976).

Quando si ha a che fare con stazioni di registrazione efficienti, queste vanno a rilevare solo attività minori di difficile interpretazione sismo-tettonica, poiché sono

disturbate da fenomeni di assestamento secondario, conseguenti ad attività profonde di superfici di scorrimento (Crescenti et al., 1977).

Per effettuare un'analisi di ricostruzione dei cammini percorsi dalle onde sismiche attraverso le varie formazioni, si parte dalle conoscenze geologiche e topografiche dell'area, si ricostruiscono orizzonti stratigrafici e si scelgono quelli che corrispondono ai contrasti più netti di velocità sismica. Questa operazione porta alla costruzione della "stratigrafia geofisica" nella quale gruppi di formazioni sono caratterizzate dalla stessa velocità sismica (unità). Nella *Figura 15* sono presentate le colonne relative alle unità geofisiche relative alle stazioni sismografiche (Crescenti et al, 1977).

Dopo attente analisi, si è notato come gli spessori di queste unità sono talvolta maggiori degli spessori stratigrafici delle corrispondenti unità litostratigrafiche.

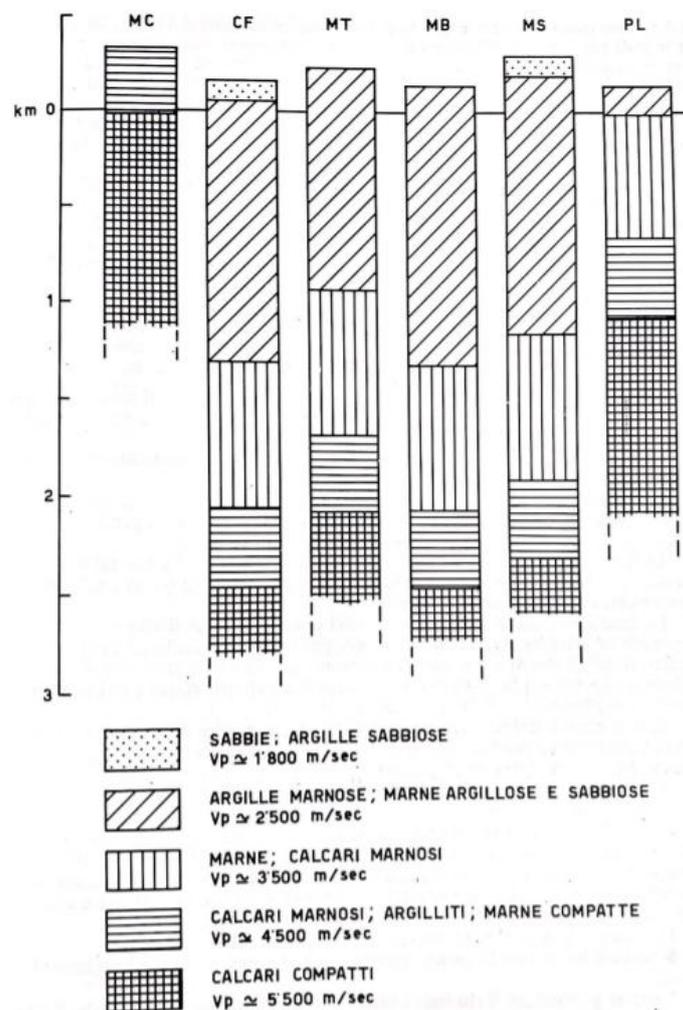


Figura 12. Colonne raffiguranti le velocità sismiche attraverso le varie unità geofisiche (Crescenti et al, 1977).

Si può affermare, inoltre, che l'attività sismica è localizzata in corrispondenza della copertura sedimentaria, con profondità epicentrali comprese tra 2,5 e 7,0 km. La distribuzione spaziale dei fuochi, in aggiunta, permette di avere una buona corrispondenza tra la tettonica riconoscibile dagli studi di superficie e da analisi di foto aeree e da satellite (Crescenti et al., 1977).

## 2.4 Inquadramento Geomorfologico

### 2.4.1. Il territorio di Ancona

Il territorio di Ancona è caratterizzato da aspetti geomorfologici tipici della fascia collinare e della fascia costiera adriatica a Nord di Ancona.

Nella zona più a Sud di Ancona, invece, i caratteri geomorfologici diventano sempre più aspri a causa delle caratteristiche geo-litologiche e strutturali dell'area.

Le caratteristiche lito-strutturali del substrato roccioso, gli eventi climatici quaternari, l'evoluzione tettonica e l'attività antropica hanno molto influenzato l'attuale assetto geomorfologico dell'area. In particolare, la caratterizzazione lito-strutturale e gli aspetti tettonici, in continua evoluzione, sono tra i principali soggetti condizionanti la genesi dei rilievi e lo sviluppo della fascia costiera.

Si può notare, inoltre, che i versanti nell'area ad ovest di Ancona risultino dolci e quindi con pendenze meno acclivi in quei terreni dove la componente pelitica risulta predominante, mentre nella zona a sud-est del capoluogo di regione, dove sono presenti in gran parte terreni messiniani a natura marnosa, si osservano rotture di pendio, scarpate di erosione e una falesia nei pressi degli affioramenti più resistenti che possono raggiungere anche i 50 metri di altezza, come quelle originate dalle marne calcaree dello Schlier (Cello & Tondi, 2021).

In particolare, dove l'erosione marina è ancora presente, i versanti sono caratterizzati da pendii più acclivi nella parte immediatamente prospiciente la costa;

invece, nella zona superiore il versante presenta lineamenti più dolci a causa dei rimodellamenti dovuti a fenomeni fluviali ed erosivi.

Il rilievo del Monte Conero è costituito dalle rocce più resistenti all'erosione che manifestano incisioni lineari sugli affioramenti: il netto contrasto appare soprattutto tra le scarpate strutturali in corrispondenza delle formazioni più resistenti quali i calcari (area di Portonovo) e i versanti meno acclivi costituiti prevalentemente da formazioni marnose-argillose nell'area più a nord.

Ove affiorano litologie di componente pelitica, quali le argille-siltose, la formazione a Colombacci e il caratteristico Orizzonte del Trave, le diverse unità lito-stratigrafiche risultano essere piegate secondo una struttura a sinclinale, e sono poi tagliate sul fianco nordorientale della riva con strati presentanti giaciture a traversopoggio.

Caratteristico è l'aspetto pseudo-calanchivo con fenomeni di erosione rapida e la presenza di movimenti di frana di tipologie quali il colamento (Gentili et al., 2014).

La piana alluvionale più recente e lo sviluppo di tali depositi alluvionali individuabile all'Olocene recente, si rifanno a processi di erosione e degradazione causati dall'antropizzazione dei versanti e al disboscamento di essi per fini agricoli.

#### 1.4.2. La geomorfologia del bacino del Miano

Il bacino di interesse, soprattutto a monte, presenta versanti caratterizzati da numerosi eventi franosi, i quali descrivono bene l'acclività del luogo. La zona più a valle è invece rappresentata da una più ampia fascia alluvionale che definisce l'addolcimento del territorio fino all'alla forte antropizzazione nei pressi delle due foci.

I pendii, nei primi chilometri di percorrenza del torrente, sono caratterizzati da vegetazione più o meno spontanea e presentano spesso cambi di pendenza e accumuli dovuti a movimenti discendenti di frana.

Le caratteristiche lito-strutturali delle formazioni e dei depositi affioranti creano una discontinuità paesaggistica che determina un'eterogeneità geomeccanica e geomorfologica dominata dalle diverse proprietà e resistenze delle rocce stesse.



*Figura 16. Pendio situato sulla sinistra idrografica del torrente Miano evidenziante movimenti franosi e nicchie di distacco e zone di accumulo*

La presenza di fenomeni franosi (*Figura 16 e 17*) è caratterizzante l'intero bacino ed è legata anche all'antropizzazione dell'area. I movimenti di frana sono perlopiù superficiali e quindi associabili alla coltre detritica.

In *Figura 16* lo sviluppo del versante nella zona più a monte presenta delle nicchie di distacco e delle zone di accumulo che interessano gran parte del pendio.

Nella *Figura 17* alcuni particolari naturali mostrano anche esplicitamente la presenza del movimento franoso, come ad esempio alcuni arbusti ed alberi che presentano uno sviluppo arcuato del loro tronco rispetto al terreno e ciò mostra la direzione del fenomeno di scorrimento della coltre detritica rispetto al substrato.

È bene inoltre evidenziare come fenomeni di erosione selettiva dovuti alla presenza di rocce con differenti caratteristiche di resistenza rendano peculiare il paesaggio del bacino, con rilievi "smussati" e con alternanza di pendii più e meno acclivi.

L'elemento morfoevolutivo più importante è sicuramente il torrente Miano, il quale nel tempo ha originato una modesta vallata alluvionale con conseguenti terrazzi alluvionali.



*Figura 17. Versante sulla sinistra idrografica del torrente Miano con dettagli geomorfologici rappresentanti il movimento franoso*

## 2.5 Inquadramento Idrologico e Idrogeologico

Il territorio umbro-marchigiano è caratterizzato da numerosi acquiferi di diversa tipologia. Nella zona più interna sono presenti numerosi acquiferi carbonatici presso le dorsali appenniniche umbro-marchigiane, mentre sulla fascia costiera si trovano acquiferi nei depositi miocenici, plio-pleistocenici e nelle pianure alluvionali.

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA), della Regione Marche, individua circa 40 bacini che, parzialmente o totalmente, attraversano l'intero territorio marchigiano.

La maggior parte di essi ricadono nelle pianure alluvionali che dalla costa si sviluppano in direzione NE-SW per giungere ai piedi della fascia pedeappenninica più interna.

Gli acquiferi appartenenti alle pianure alluvionali marchigiane possiedono tra loro somiglianze strutturali, litologiche e granulometriche e il loro sviluppo geostrutturale è dovuto all'evoluzione plio-pleistocenica della fascia periadriatica umbro-marchigiana.

L'impostazione dei bacini costieri marchigiani si sviluppa su quattro ordini di terrazzi fluviali, dove i depositi terrazzati del III e IV ordine, ovvero i cosiddetti terrazzi bassi, rappresentano l'acquifero di subalveo, invece quelli del I e II ordine, i terrazzi alti, sono acquiferi isolati collegati ai depositi dei terrazzi bassi da fasce detritiche di spessore variabile (Dramis, 1986).

L'unità stratigrafica plio - pleistocenica che può accogliere la risorsa idrica, è rappresentato dalle Sabbie e conglomerati di tetto del Siciliano, il cui substrato presenta soprattutto Argille Azzurre superiori e inferiori che possono essere considerate come aquicludi. Nelle Argille azzurre superiori si possono notare intercalazioni grossolane che costituiscono localmente acquiferi limitati (Saladini, 2010).

L'infiltrazione delle acque superficiali costituisce la principale fonte di ricarica delle falde, in particolare quella del fiume principale e dei suoi affluenti.

Due, generalmente a scala regionale, sono i circuiti idrologici ai quali sono legate le falde di subalveo: uno superficiale, legato alle acque meteoriche di superficie, e uno profondo legato al circuito regionale e alle strutture tettoniche che fanno risalire le acque salate presenti nei depositi marini pliocenici (Nanni & Vivalda, 1986).

In base al grado di permeabilità, si possono distinguere i complessi idrogeologici "acquiferi", da quelli "non acquiferi" (aquicludi).

Nel territorio marchigiano i principali acquiferi si rinvengono (<http://www.ambiente.regione.marche.it>):

- Nei complessi idrogeologici carbonatici del Massiccio, della Maiolica e della Scaglia, a causa dell'alternanza di fasi tettoniche compressive e distensive che producono un insieme di fratture con conseguente carsismo a sviluppo soprattutto verticale.
- Nei depositi permeabili costieri e delle pianure alluvionali.

Gli acquiferi minori, invece, nel territorio marchigiano, sono caratterizzati da una limitata dimensione e tra questi si possono citare quelli ubicati:

- Nei complessi idrogeologici arenacei e marnoso-calcarenitici di talune formazioni torbiditiche (Formazione Marnoso-Arenacea, Formazione Gessoso-solfifera, Colata della Val Marecchia, bacini minori intra-appenninici, depositi intercalati alle argille plio-pleistoceniche).
- Nei complessi idrogeologici dei depositi detritici eluvio colluviali e di versante.

Con riferimento alla *Tabella 3*, sono state attribuite ai complessi idrogeologici del territorio marchigiano la loro tipologia di acquifero (assetto idraulico) in relazione al D.Lgs. n. 30/2009 (<http://www.ambiente.regione.marche.it/>).

Schema idrogeologico Regione Marche in scala 1:100.000	D. Lgs. n. 30/2009				
	Complessi idrogeologici	Acronimo	Sub-complessi idrogeologici	Tipologia di acquifero (assetto idraulico)	Acquifero o Unità di bilancio
<b>cod 2c:</b> Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali e dei depositi fluvio-lacustri e lacustri (Olocene-Pleistocene sup. e medio). <b>Depositi fluvio-lacustri e lacustri.</b>	<b>Alluvioni delle Depressioni Quaternarie</b>	<b>DQ</b>	Depositi fluvio-lacustri e lacustri delle conche intramontane.	Acquifero prevalentemente freatico monostrato.	Acquiferi delle conche intramontane.
<b>cod 2a:</b> Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali e dei depositi fluvio-lacustri e lacustri (Olocene-Pleistocene sup. e medio). <b>Depositi alluvionali terrazzati recenti delle pianure alluvionali.</b>	<b>Alluvioni Vallive</b>	<b>AV</b>	Depositi alluvionali ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaiosolimosi con intercalate lenti argilloso-limose e sabbiosolimose delle pianure alluvionali.	Acquifero prevalentemente freatico monostrato, connesso con la rete idrografica. In prossimità della costa possono essere presenti acquiferi freatici multistrato, con falda freatica superficiale e livelli profondi confinati o semiconfinati.	Acquiferi delle pianure alluvionali dal Fiume Marecchia al Fiume Tronto.
<b>cod 2b:</b> Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali e dei depositi fluvio-lacustri e lacustri (Olocene-Pleistocene sup. e medio). <b>Depositi alluvionali terrazzati antichi delle pianure alluvionali.</b>	<b>Alluvioni Vallive</b>	<b>AV</b>			
<b>cod 10: Complesso idrogeologico della Scaglia</b> (Priaboniano.-Cenomaniano p.p.).	<b>Calcarei</b>	<b>CA</b>	Calcarei e calcari marnosi di bacino pelagico della Scaglia Bianca, Rossa e Variegata.	Acquifero freatico in calcari fratturati.	Acquiferi dei complessi calcarei della Dorsale Umbro-Marchigiana, della Dorsale Marchigiana, dei Monti Sibillini-F. Nera e delle Dorsali minori.
<b>cod 12: Complesso idrogeologico della Maiolica</b> (Aptiano p.p.-Titoniano sup. p.p.).	<b>Calcarei</b>	<b>CA</b>	Calcarei micritici di bacino pelagico della Maiolica.	Acquifero basale freatico in calcari fratturati e/o carsificati.	
<b>cod 14: Complesso idrogeologico del Massiccio</b> (Titoniano inf.-Sinemuriano).	<b>Calcarei</b>	<b>CA</b>	Calcarei e calcari dolomitizzati di piattaforma carbonatica del Calcare Massiccio e calcari micritici marnosi della Corniola.		

Tabella 3. Complessi idrogeologici descritti ai sensi del D.Lgs. n. 30/2009 (Regione Marche)

<b>cod 1a:</b> Complesso idrogeologico dei depositi eluvio-colluviali, detritici di versante e di spiaggia (Olocene-Pleistocene sup.). <b>Deposit</b> eluvio-colluviali e detritici di versante.	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Deposit eluvio-colluviali di natura argilloso-limosa ed argilloso-siltoso-sabbiosa. Deposit detritici di versante costituiti da clasti carbonatici con matrice argilloso-limosa in corrispondenza delle dorsali carbonatiche e da ghiaie, ghiaie sabbiose con forte componente sabbiosa, altrove.	Acquifero a falda libera.	Acquiferi locali dei depositi clastici quaternari.
<b>cod 1b:</b> Complesso idrogeologico dei depositi eluvio-colluviali, detritici di versante e di spiaggia (Olocene-Pleistocene sup.). <b>Deposit</b> di spiaggia.	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Deposit prevalentemente sabbiosi.	Acquifero freatico monostrato.	Acquiferi locali dei depositi di spiaggia.
<b>cod 3:</b> Complesso idrogeologico dei depositi arenacei, arenaceo-conglomeratici ed arenaceo-pelittici di chiusura della sequenza quaternaria (Pleistocene).	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Rocce a litologia mista, prevalentemente arenacea ed arenaceo-pelittica.	Acquifero a circolazione idrica discontinua, in complesso idrogeologico fratturato a litologia mista.	Acquiferi locali dei depositi arenacei di chiusura della sequenza quaternaria.
<b>cod 5:</b> Complesso idrogeologico dei corpi arenacei, arenaceo-conglomeratici, arenaceo-pelittici, arenaceo-organogeni e conglomeratici intercalati alle argille (Pleistocene-Pliocene-Messiniano).	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Rocce a litologia mista, prevalentemente arenacea ed arenaceo-pelittica, con alternanze di argille, argille marnose e marne argillose.	Acquifero a circolazione idrica discontinua, in complesso idrogeologico fratturato a litologia mista. Talora presenza di acquiferi confinati caratterizzati da salienza.	Acquiferi locali dei depositi arenacei del Pleistocene - Pliocene - Messiniano.
<b>cod 6:</b> Complesso idrogeologico delle unità arenacee e calcari marnosi della Colata della Val Marecchia (Cretaceo superiore-Miocene medio inferiore).	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Complesso caotico argilloso con blocchi calcarei, arenacei e marnosi di dimensioni variabili appartenenti a varie formazioni (Formazioni di S. Marino, M. Fumaiolo e della Serie Pietraforte-Alberese).	Acquifero a circolazione idrica discontinua, in complesso idrogeologico fratturato a litologia mista.	Acquiferi locali delle formazioni alloctone della Colata della Val Marecchia.
<b>cod 7:</b> Complesso idrogeologico della Formazione Gessoso-Solfifera (Messiniano).	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Deposit evaporitici costituiti da gessi, arenarie gessose, gessareniti ed argille bituminose.	Acquifero a circolazione idrica discontinua, in complesso idrogeologico fratturato interessato da fenomeni di dissoluzione.	Acquiferi locali dei depositi evaporitici.
<b>cod 8:</b> Complesso idrogeologico dei depositi terrigeni della Formazione Marnoso-Arenacea e dei bacini torbiditici intra-appenninici minori (Miocene).	<b>Acquiferi Locali</b>	<b>LOC</b>	Deposit terrigeni delle sequenze torbiditiche, caratterizzati da alternanze arenacee, marnoso-arenacee ed argilloso-marnose.	Acquifero a circolazione idrica discontinua, in complesso idrogeologico fratturato a litologia mista.	Acquiferi locali dei depositi terrigeni della Formazione Marnoso-Arenacea e dei bacini torbiditici.
<b>cod 4a/4b/4c:</b> Complesso idrogeologico delle Argille, Argille marnose e marne argillose (Pleistocene-Pliocene-Messiniano).	<b>Formazioni Sterili</b>	<b>STE</b>	Argille, argille marnose e marne argillose.	Aquilude	
<b>cod 9:</b> Complesso idrogeologico delle marne, marne calcaree e calcari marnosi dello Schlier, Bisciario e Scaglia Cinerea (Miocene-Oligocene).	<b>Formazioni Sterili</b>	<b>STE</b>	Alternanze di marne, marne calcaree e calcari marnosi.		
<b>cod 11: Complesso idrogeologico delle Marne a Fucoidi</b> (Priaboniano-Cenomaniano p.p.).	<b>Formazioni Sterili</b>	<b>STE</b>	Marne, marne argillose e calcari marnosi.		
<b>cod 13:</b> Complesso idrogeologico dei Calcari e Marne del Sentino, Formazione del Bosso, Calcari diasprini e Diaspri (Aptiano p.p.-Titoniano sup. p.p.).	<b>Formazioni Sterili</b>	<b>STE</b>	Alternanze di marne calcaree, calcari marnosi, marne argillose e calcari silicei.		

Tabella 3. Complessi idrogeologici descritti ai sensi del D.Lgs. n. 30/2009 (Regione Marche)

In *Figura 18* si possono osservare le caratteristiche idrogeologiche dell'area di Ancona, e più in particolare del bacino del Torrente Miano, prendendo i dati ricavati dallo Schema Idrologico dell'Italia Centro Adriatica (Nanni et al., 2011).

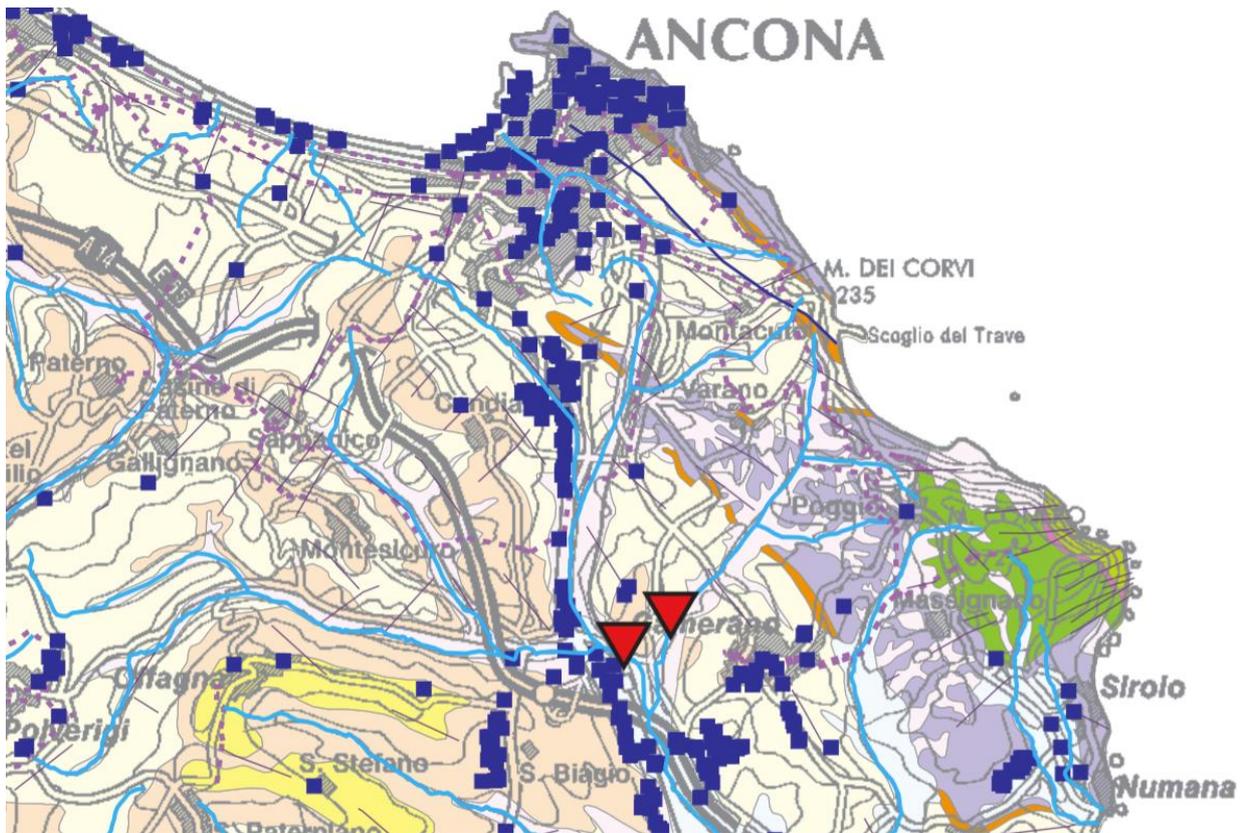


Figura 18. Schema Idrologico dell'Italia Centro Adriatica (Nanni et al., 2011).

## 3. Stato dell'arte

### 3.1 Analisi granulometrica dei terreni

Le analisi granulometriche dei terreni fanno capo a diverse norme di riferimento (Raviolo, 1993).

Queste sono:

- AASHTO T 27, T 88
- ASTM D 421-85, D 1140-71, D 2217-85
- BS 1377: Part 2: 1990
- UNI 2334, 8520 – Parte 5
- CNR anno V n. 23-1971.

Le normative che permettono di analizzare ciascuna prova granulometrica possono differenziarsi per questi aspetti:

- Aperture delle maglie e caratteristiche dei setacci.
- Metodi di preparazione dei provini da analizzare.
- Limiti e ampiezza delle varie frazioni granulometriche (ghiaia, sabbia, limo e argilla).
- Metodo del densimetro o della pipetta per analisi granulometrica della frazione fine (granuli con diametro inferiore a 0.075 mm).

In generale, esse sono molto importanti in campo ingegneristico e non, poiché i criteri di accettazione dei materiali per la costruzione di opere dipendono dalla classificazione dei terreni.

Queste sono utili, insieme alle verifiche sperimentali rappresentate dalle prove di permeabilità, per studiare i problemi di filtrazione al fine di realizzare affidabili sistemi di drenaggio.

Le analisi granulometriche hanno come scopo quello di raggruppare e di classificare in diverse classi di grandezza, le particelle che compongono un terreno, determinandone, inoltre, la percentuale di taluna massa rapportata alla massa secca del campione iniziale.

Per quanto riguarda i limiti e le ampiezze delle frazioni granulometriche, secondo la norma ASTM (D 422; D 653), possiamo definire:

- Blocchi: per diametro dei grani superiore ai 300 mm.
- Ciottoli: per diametro dei grani compreso tra 75 mm e 300 mm.
- Ghiaia: per diametro dei grani compreso tra 4.75 mm e 75 mm.
- Sabbia: per diametro dei grani compreso tra 0.075 mm e 4.75 mm. È possibile fare anche una sotto classificazione in sabbia grossolana ( $2 \text{ mm} < d < 4.75 \text{ mm}$ ), sabbia media ( $0.425 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$ ), e sabbia fine ( $0.075 \text{ mm} < d < 0.425 \text{ mm}$ ).
- Limo: per diametro dei grani compreso tra 0.005 mm e 0.075 mm.
- Argilla: per diametro dei grani compreso tra 0.001 mm e 0.005 mm.
- Colloidi: per diametro dei grani inferiori ai 0.001 mm.

Si può effettuare un'analisi granulometrica per mezzo di una serie di setacci con apertura crescente, che vengono incastrati l'uno sopra l'altro e fatti vibrare così da separare i granuli di particelle simili che rimarranno trattenuti ognuno nel setaccio di riferimento. Questa tecnica è denominata vagliatura.

Fili di acciaio compongono la matrice della maglia dei setacci e queste hanno forma rettangolare e, in base a come vengono fatti incrociare i diversi fili, determinano aperture più o meno grandi.

Si può identificare un singolo setaccio, per diametri inferiori a 1/4 di pollice, anche mediante il numero delle maglie, denominate meshes, per ogni pollice di larghezza della rete.

La norma ASTM D 422 consiglia alcuni setacci che vanno da un'apertura delle maglie massima di 75 mm, a una minima di 0.075 mm.

Per determinare, inoltre, la classificazione granulometrica per granuli di dimensioni inferiori a 0.075 mm, ovvero le particelle di argilla e limo, utilizzo metodi indiretti basati sulla legge di Stokes e dunque sui tempi di sedimentazione delle particelle in acqua distillata, come tratteremo più avanti.

In *Tabella 1* sono mostrate le dimensioni nominali delle maglie dei setacci secondo la serie di Tyler (Raviolo, 1993):

Denominazione Standard	Alternativa	Luce netta (mm)	Deviazione standard (mm)	Apert. max. consentita per non più del 5% delle maglie (mm)	Apert. max. della singola maglia (mm)	Diametro nominale dei fili (mm)
125.00	5 in	127.0	±3.7	130.00	130.9	8.00 ± 5%
106.00	4.24 in	107.7	±3.2	110.20	111.1	6.40 ± 5%
100.00	4 in	101.6	±3.0	104.00	104.8	6.30 ± 5%
90.00	3 1/2 in	90.5	±2.7	93.60	94.4	6.08 ± 5%
75.00*	3 in	76.1	±2.2	78.10	78.7	5.80 ± 5%
63.00	2 1/2 in	64.0	±1.9	65.60	66.2	5.50 ± 5%
53.00	2.12 in	53.8	±1.6	55.20	55.7	5.15 ± 5%
50.00*	2 in	50.8	±1.5	52.10	52.6	5.05 ± 5%
45.00	1 3/4 in	45.3	±1.4	46.90	47.4	4.85 ± 5%
37.50*	1 1/2 in	38.1	±1.1	39.10	39.5	4.59 ± 5%
31.50	1 1/4 in	32.0	±1.0	32.90	33.2	4.23 ± 5%
26.50	1.06 in	26.9	±0.8	27.70	28.0	3.90 ± 5%
25.00*	1 in	25.4	±0.8	26.10	26.4	3.80 ± 5%
22.40	7/8 in	22.6	±0.7	23.40	23.7	3.50 ± 5%
19.00*	3/4 in	19.0	±0.6	19.90	20.1	3.30 ± 5%
16.00	5/8 in	16.0	±0.5	16.70	17.0	3.00 ± 5%
13.20	0.53 in	13.5	±0.41	13.83	14.05	2.75 ± 5%
12.50	1/2 in	12.7	±0.39	13.10	13.31	2.67 ± 5%
11.20	7/16 in	11.2	±0.35	11.75	11.94	2.45 ± 5%
9.50*	3/8 in	9.510	±0.30	9.97	10.16	2.27 ± 5%
8.00	5/16 in	8.000	±0.25	8.41	8.58	2.07 ± 5%
6.70	0.265 in	6.730	±0.21	7.05	7.20	1.87 ± 5%
6.30	1/4 in	6.350	±0.20	6.64	6.78	1.82 ± 5%
5.60	No 3 1/2	5.660	±0.18	5.90	6.04	1.68 ± 5%
4.75*	No 4	4.760	±0.15	5.02	5.14	1.54 ± 5%

*Tabella 1 (1/2). Dimensioni nominali delle maglie dei setacci (Serie Taylor) (Raviolo, 1993)*

4.00	No 5	4.000	±0.13	4.23	4.35	1.37 ± 5%
3.35	No 6	3.360	±0.11	3.55	3.66	1.23 ± 5%
2.80	No 7	2.830	±0.095	2.975	3.070	1.10 ± 5%
2.36*	No 8	2.380	±0.080	2.515	2.600	1.00 ± 5%
2.00*	No 10	2.000	±0.070	2.135	2.215	0.900 ±5%
1.70	No 12	1.680	±0.060	1.820	1.890	0.810 ±5%
1.40	No 14	1.410	±0.050	1.505	1.565	0.725 ±5%
1.18*	No 16	1.190	±0.045	1.270	1.330	0.650 ±5%
1.00	No 18	1.000	±0.040	1.080	1.135	0.580 ±5%
0.850*	No 20	0.841	±0.035	0.925	0.970	0.510 ±5%
0.710	No 25	0.707	±0.030	0.775	0.815	0.450 ±5%
0.600*	No 30	0.595	±0.025	0.660	0.695	0.390 ±7.5%
0.500	No 35	0.500	±0.020	0.550	0.585	0.340 ±7.5%
0.425*	No 40	0.420	±0.019	0.471	0.502	0.290 ±7.5%
0.355	No 45	0.354	±0.016	0.396	0.425	0.247 ±7.5%
0.300*	No 50	0.297	±0.014	0.337	0.363	0.215 ±7.5%
0.250*	No 60	0.250	±0.012	0.283	0.306	0.180 ±7.5%
0.212	No 70	0.210	±0.010	0.242	0.263	0.152 ±7.5%
0.180	No 80	0.177	±0.009	0.207	0.227	0.131 ±7.5%
0.150*	No 100	0.149	±0.008	0.174	0.192	0.110 ±7.5%
0.125	No 120	0.125	±0.007	0.147	0.163	0.091 ±7.5%
0.106*	No 140	0.105	±0.006	0.126	0.141	0.076 ±10%
0.090	No 170	0.088	±0.005	0.108	0.122	0.064 ±10%
0.075*	No 200	0.074	±0.005	0.091	0.103	0.053 ±10%
0.063	No 230	0.063	±0.004	0.077	0.089	0.044 ±10%
0.053	No 270	0.053	±0.004	0.066	0.076	0.037 ±10%
0.045	No 325	0.044	±0.003	0.057	0.066	0.030 ±10%
0.038	No 400	0.037	±0.003	0.048	0.057	0.025 ±10%

Tabella 1 (2/2). Dimensioni nominali delle maglie dei setacci (Serie Taylor) (Raviolo, 1993)

A seguire, in *Tabella 2*, è riportata la serie consigliata di setacci secondo le norme (Raviolo, 1993).

Setaccio No.	Apertura mm	Setaccio No.	Apertura mm
4	4.75	4	4.75
10	2.00	10	2.00
20	0.85	16	1.18
40	0.425	30	0.600
60	0.250	50	0.300
140	0.106	100	0.150
200	0.075	200	0.075

Tabella 2. Serie consigliata di setacci (Raviolo, 1993)

La preparazione dei provini (Raviolo, 1993) può essere effettuata per via:

- *Umida* (in acqua): ricorro a questa preparazione quando le particelle grossolane sono ricoperte da altri granuli a loro volta più fini. Quest'ultime devono essere quindi lavate e tolte, recuperando la frazione fine. Questo metodo è consigliato dalle Normative Inglesi.
- *Secca*: la posso considerare affidabile quando le particelle grossolane si presentano piuttosto pulite e non ricoperte quindi da granuli fini. Tale procedura è consigliabile se e solo se il confronto con il metodo umido mi suggerisce il non presentarsi di differenze in termini di risultati.

Nel prossimo capitolo verrà descritta scrupolosamente la procedura a umido secondo la normativa D 2217.

Per quanto riguarda le analisi granulometriche della frazione fine, la procedura più comune è quella del “Metodo del densimetro”, che verrà descritta e analizzata nel prossimo capitolo.

Le dimensioni delle particelle con diametro inferiore a 0.075 mm e superiori a 1 µm si misurano con metodo indiretto, ovvero controllo il tempo di sedimentazione all'interno di un cilindro che contiene una dispersione della miscela di particelle e acqua distillata fino ad un litro (Raviolo, 1993).

Il diametro dei granuli si calcola mediante la Legge di Stokes (1880):

$$D = \sqrt{\frac{1800 \eta_L}{\gamma_S - \gamma_L} V} \quad [3.0]$$

D = diametro della sfera (mm)

$\eta_L$  = viscosità dinamica del liquido (g s/cm<sup>2</sup>)

$\gamma_S$  = peso specifico della particella (g/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_L$  = densità del liquido (g/cm<sup>3</sup>)

V = velocità di caduta (cm/s)

La legge di Stokes permette di calcolare il diametro di una particella in funzione della velocità di caduta del granulo, del suo peso specifico, della viscosità e del peso specifico del liquido in cui è immerso.

### 3.2 I sondaggi geognostici

I sondaggi geognostici sono dei metodi di indagine che permettono di conoscere la stratigrafia e le proprietà geotecniche del terreno in questione (Gerbella, 1956).

I sondaggi geognostici, che sono indagini dirette, permettono attraverso l'utilizzo di strumenti dotati di un carotiere di analizzare il terreno anche una volta estratto il campione di litotipo in superficie.

Questi, dipendentemente dall'attrezzatura utilizzata, possono essere di diverse tipologie: infatti, in base alla natura del terreno, alla profondità da raggiungere e allo scopo da ottenere, possono variare, come mostrato in *Figura 1* (Gerbella, 1956).

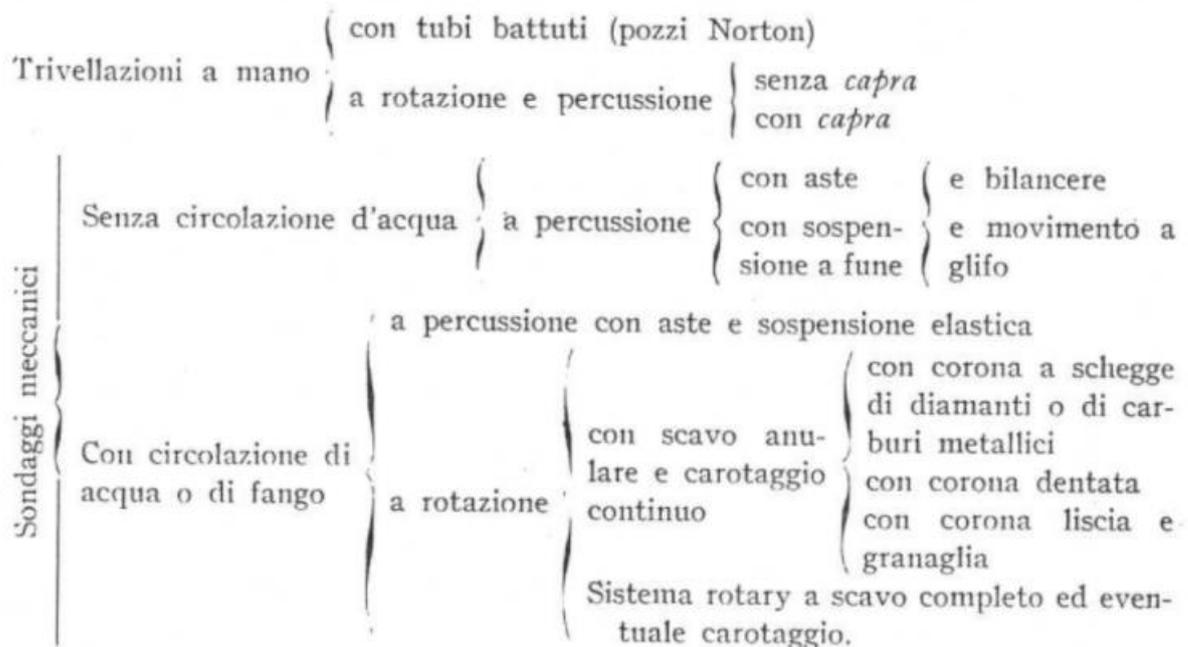


Figura 1. Classifica dei sondaggi (Gerbella, 1956)

### - ***Sondaggi a carotaggio a percussione***

Questa modalità di perforazione è caratterizzata da una batteria di aste collegate ad uno scalpello, strumento dotato di punta metallica capace di tagliare e rompere le rocce interessate. Si possono raggiungere profondità elevate e vi è la possibilità di attraversamento di ogni tipologia di terreno.

L'operazione avviene mediante caduta delle suddette aste cave, oppure per battitura con maglio.

Se eseguo questo carotaggio mediante circolazione di acqua o di fango, riesco a riportare in superficie il materiale frantumato con l'ausilio delle aste cave.

A differenza del sondaggio a carotaggio continuo, non si riescono a ricavare campioni indisturbati.

### - ***Sondaggi a rotazione***

Essi possono prevedere circolazione di acqua o di fango e si eseguono mediante un tubo carotiere, utensile utilizzato al fine di perforare il terreno. Una corona dentata è presente alla fine del tubo carotiere (che può essere semplice, doppio, o triplo), la quale ha la funzione di tagliare e frantumare il terreno.

Il fluido può scendere sia dall'interno cavo delle aste che dalle superfici laterali dell'asta stessa.

Inoltre, posso classificare il sondaggio a rotazione in base a:

### - ***Sondaggi a carotaggio continuo***

Per mezzo di questa tipologia di sondaggio è permesso il recupero di provini "indisturbati" e quindi rappresentativi, ovvero le carote. Questo sondaggio disturba poco i materiali del terreno in esame e, a seconda di questo, posso avere una perforazione a rotazione a carotiere semplice o a carotiere doppio.

Il materiale estratto con l'apposito carotiere è poi depositato in delle cosiddette cassette catalogatrici, che contengono usualmente cinque porzioni di terreno da circa

un metro caduna. Esse sono di norma riconoscibili da una descrizione visiva dell'operatore al momento dell'estrazione e da una numerazione progressiva.

- *Sondaggi a distruzione di nucleo*

Permettono di raggiungere una profondità senza conoscere le caratteristiche stratigrafiche del terreno. A differenza del carotaggio continuo, il materiale, una volta estratto, viene depositato a fianco dello scavo, e dalla loro estrazione si possono ricavare informazioni approssimate sulla tipologia dei terreni attraversati (<http://www.cugri.it/>).

### 3.3 Pericolosità sismica di base e analisi sismica del territorio

La Pericolosità Sismica (P) è per definizione (Gambelli et al., 2013):

“La Probabilità che un fissato valore di scuotimento del terreno, espresso con parametri fisici (picco di accelerazione, picco di velocità orizzontale, picco di spostamento orizzontale, accelerazione e ordinate spaziali) o macrosismici (intensità macrosismica) possa essere superato in un certo intervallo di tempo a seguito di un terremoto”.

La Vulnerabilità Sismica (V) è la valutazione in base probabilistica di quanto beni, cose e persone risentano dell'evento sismico a livello di danni.

Il Valore Esposto (E) è il valore economico dell'elemento o sistema sottoposto all'evento sismico.

Il Rischio Sismico (R) è la probabilità che un determinato valore di danno fissato a priori possa esse superato da un evento sismico in un determinato intervallo di tempo.

$$R = P \times V \times E$$

La Pericolosità Sismica (P), fissato un intervallo di tempo e definita una probabilità di superamento, definisce in senso probabilistico la stima del movimento causato dalle onde sismiche in un territorio: essa corrisponde a uno dei parametri

fondamentali per la definizione della Zonazione Sismica di un territorio, ottenendo dalla pericolosità sismica una classificazione utile alle attività di prevenzione riguardante un evento sismico e degli aspetti peculiari della microzonazione sismica.

In *Figura 2* è mostrata la Mappa di Pericolosità Sismica del territorio Nazionale (Stucchi et al., 2004).

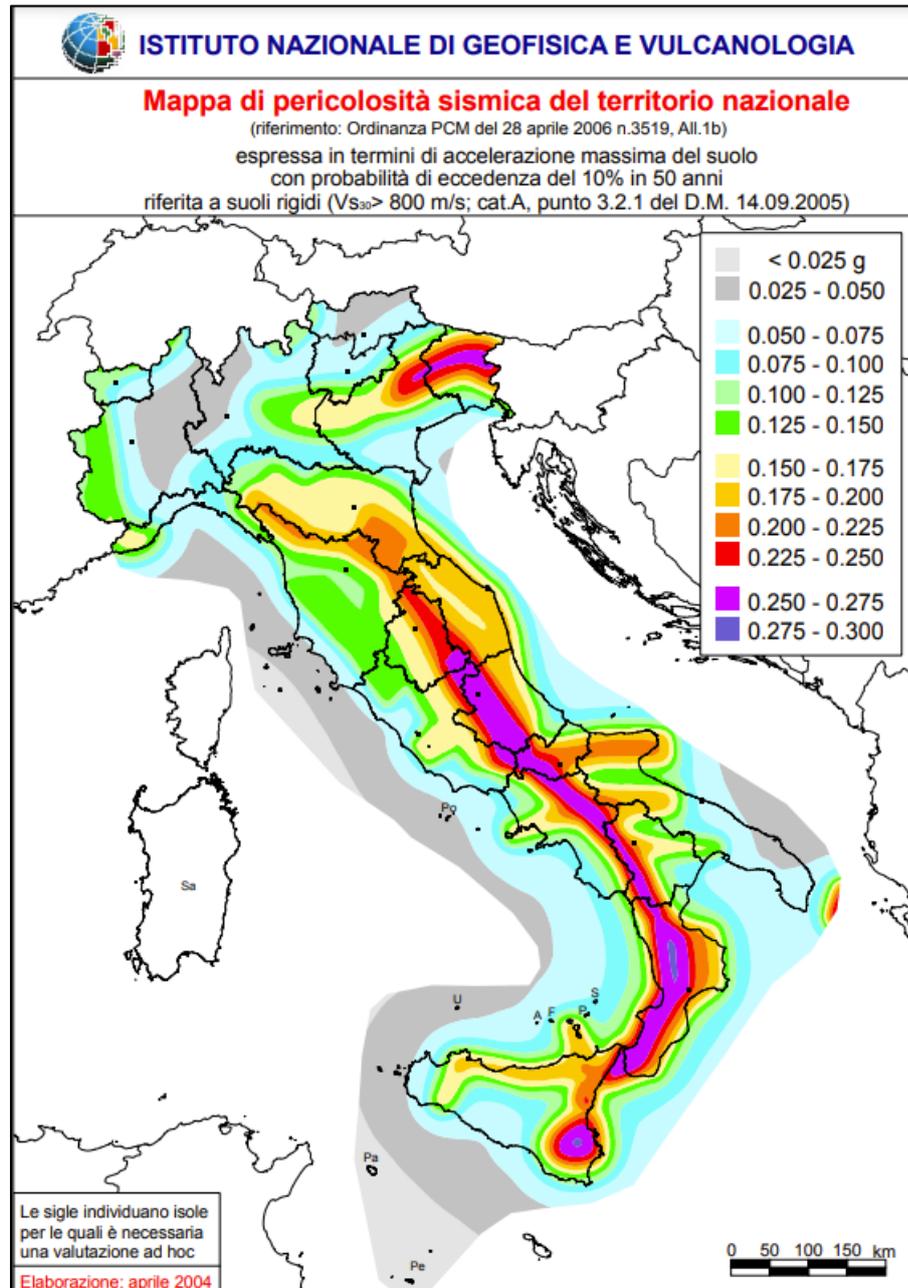


Figura 2. Pericolosità Sismica di riferimento per il territorio nazionale (Stucchi et al., 2004)

Le condizioni locali di un generico territorio, che rappresentano quelle che sono le condizioni geomorfologiche e geologiche di esso, sono la causa del cambiamento della pericolosità sismica di base in seguito a un evento sismico. Si manifestano, infatti, attraverso effetti locali, come l'amplificazione delle onde sismiche in corrispondenza, ad esempio, di una vallata, oppure attraverso fenomeni di liquefazione e così via.

In *Figura 3* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) viene descritta l'accelerazione massima al suolo analizzata con una probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni ( $T_r = 475$  anni).

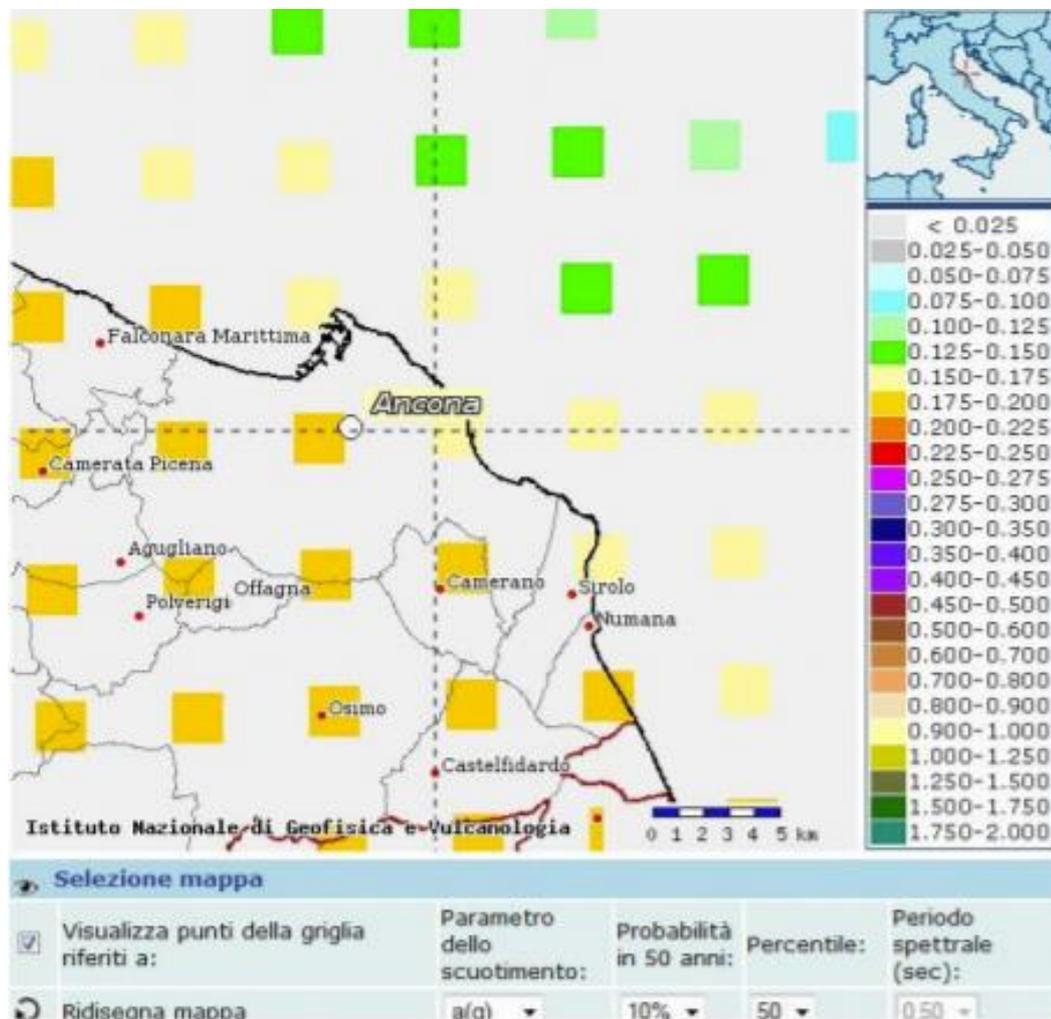


Figura 3. Particolare elaborato dalla "Mappa interattiva di pericolosità sismica" (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

Gli effetti locali possono essere classificati in base alle caratteristiche geomorfologiche del terreno in:

- ***Effetti di sito***

Definiti anche come effetti di amplificazione sismica locale, essi si possono distinguere in due particolari effetti, entrambi nei confronti di terreni che mostrano un buon comportamento alle sollecitazioni sismiche, risultandone stabili:

*Effetti di amplificazione topografica:*

Sono gli effetti che caratterizzano un territorio presentante un'irregolarità superficiale spiccata, ovvero da una morfologia caratterizzata da irregolarità topografiche.

*Effetti di amplificazione litologica:*

Questi effetti si manifestano nei confronti di terreni caratterizzati da una geomorfologia cosiddetta sepolta, come, ad esempio, bacini sedimentari.

- ***Effetti di instabilità***

Definiti come gli effetti che si verificano in terreni caratterizzati da un comportamento instabile verso gli effetti delle onde sismiche. Possiamo avere diversi effetti in base alla morfologia del luogo:

i. *Versanti in equilibrio precario*

Si possono mostrare riattivazioni o nuova formazione di fenomeni franosi quali movimenti da scivolamento, rotazionali, traslazionali, colamenti e crolli).

ii. *Aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte o visibili in superficie*

Come, ad esempio, contatti tettonici quali faglie sismogenetiche che possono indurre a movimenti pluridirezionali che causerebbero cedimenti differenziali alle strutture.

iii. *Terreni poco resistenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche*

Si possono generare rotture e scivolamenti connessi a deformazioni del terreno permanenti.

iv. *Siti interessati da strutture caratterizzate da fenomeni di subsidenza positiva o negativa.*

Questi effetti verranno trattati, inoltre, nel *Paragrafo 3.5*, in riferimento agli effetti di sito per la risposta sismica locale.

### 3.4 Comportamento meccanico sotto azioni sismici di terreni e rocce

Le deformazioni causate da azioni sismiche sugli strati più superficiali sono soprattutto di tipo distorsionale: infatti, le deformazioni volumetriche, generate a loro volta dalle onde primarie P, risultano essere trascurabili per via della condizione di drenaggio impedito. La causa principale di ciò è dovuta alla natura delle oscillazioni dinamiche sismiche che determinano sollecitazioni così rapide da impedire il drenaggio ai terreni superficiali, spesso ricadenti sotto falda. Le componenti principali, dunque, risultano essere le onde di superficie e le onde secondarie S, le quali agiscono sul comportamento meccanico dei terreni di natura distorsionale (Pagliaroli, 2006).

Il carattere resistivo di un litotipo o di un deposito può essere indagato in condizioni di taglio semplice ciclico, il quale corrisponde a una serie di carichi a partire dalle condizioni geostatiche sotto un'azione variabile nel tempo funzione del taglio. Ciò determina un comportamento non lineare e dissipativo del terreno, il quale è fortemente legato alla sua storia tensionale e descrivibile mediante due parametri, tenendo conto del singolo intervallo carico – scarico – ricarico:

- $G$  (shear modulus): Modulo di rigidezza al taglio.
- $D$  (damping ratio): Rapporto di smorzamento.

Questi parametri geotecnici sono molto sensibili alla deformazione tangenziale e il comportamento meccanico dei terreni possono essere descritti in funzione di questi parametri in base a tre principali campi di comportamento:

### *1. A piccole deformazioni*

Questo campo di deformazioni presenta un modulo di rigidità  $G$  massimo legato a bassi sforzi di taglio tangenziali sempre inferiori a una soglia di linearità, mentre il rapporto di smorzamento  $D$ , che rappresenta l'aliquota di energia dissipata per ciclo di deformazione, rimane basso. Detto ciò, in questo campo è possibile attuare una modellizzazione visco – elastico lineare, o più in generale elastico lineare.

### *2. A medie deformazioni*

In questo campo, invece, viene descritto un comportamento non lineare e dissipativo che si traduce in una diminuzione di  $G$  e un aumento dell'energia dissipata per ciclo, funzione di  $D$ . Il terreno in questo campo è ancora indipendente dalla storia tensionale e tende a percorrere un ciclo costante a intervalli ripetuti dal punto di vista deformativo, il che rende possibile una descrizione modellistica basata su un legame lineare che mette in relazione per ogni valore dell'azione di taglio tangenziale una coppia di parametri equivalenti di modulo di rigidità ( $G$ ) e dissipativo ( $D$ ).

### *3. A elevate deformazioni*

In questo campo si inducono sollecitazioni tangenziali causa di deformazioni strutturali irreversibili: la possibilità di trascurare le deformazioni volumetriche fatta all'inizio risulta non più attuabile dato che le sovrappressioni, generate dalla crescita delle deformazioni tangenziali, divengono una componente tensionale importante e dunque con loro la natura tensionale gioca un ruolo fondamentale nella descrizione della degradazione ciclica: quest'ultima è funzione del numero di cicli  $N$  delle sollecitazioni. Il comportamento del terreno, in questo campo, è complesso, e si può descrivere mediante un modello non lineare, elasto – plastico a incrudimento.

Per via della rigidità maggiore rispetto ai depositi, le rocce presentano un comportamento geomeccanico più resistente: le deformazioni tangenziali causate da sollecitazioni dinamiche importanti sono ridotte e si possono descrivere mediante un modello elastico lineare. Un'altra conseguenza dell'elevata rigidità delle rocce è sicuramente il comportamento poco dissipativo delle stesse, che si riflettono in un

rapporto di smorzamento (D) molto basso e funzione crescente del grado di alterazione degli ammassi rocciosi (Pagliaroli, 2006).

### 3.5 Effetti sismici di sito: risposta sismica locale

Le modifiche che un sito apporta in ingresso a un'onda sismica in termini di amplificazione, frequenza e durata, vanno sotto il nome di effetti sismici di sito e risposta sismica locale.

È bene riferire i tali rispetto a un sito di riferimento costituito da un piano affiorante del substrato roccioso, chiamato bedrock), definendo un moto di riferimento rispetto alle onde sismiche

Si possono distinguere diversi effetti sismici di sito in seguito alle combinazioni di particolari cause fisiche, quali ad esempio, la diffrazione, le riflessioni e soprattutto la risonanza. In base ad essi, si possono distinguere:

- ***effetti stratigrafici (monodimensionali)***

Questa tipologia di effetti è relativa alle modifiche che vengono effettuate al moto di un'onda sismica all'interno di un deposito a superficie libera piana costituito da stratigrafia prevalentemente orizzontale. Queste modifiche avvengono principalmente in direzione verticale.

Gli effetti di tipo stratigrafico sono derivanti soprattutto a fenomeni di intrappolamento delle onde sismiche nel deposito a causa delle riflessioni multiple per via della diversa caratterizzazione delle proprietà del substrato roccioso sottostante e del deposito stesso. Un altro fenomeno a cui è attribuibile l'effetto di tipo stratigrafico è il fenomeno della risonanza tra le onde sismiche riflesse e incidenti (Pagliaroli, 2006).

- ***effetti di bordo (valli alluvionali)***

Questi effetti sono molto importanti nello studio delle amplificazioni sismiche negli studi di microzonazione in grandi metropoli come Los Angeles, Tokyo o Città del Messico, tutte in qualche modo ricollegabili a valli alluvionali.

Importanti, per le valli alluvionali, sono gli effetti dovuti alla focalizzazione delle onde sismiche nelle aree di bordo delle vallate causata dall'interferenza costruttiva tra le onde riflesse e quelle incidenti, nonché quelli dovuti alla generazione delle onde di superficie che hanno come direzione principale quella orizzontale. Come ultima causa concatenante di questi effetti c'è di sicuro la risonanza bidimensionale della valle: le sue cause fondamentali (Bard e Bouchon, 1985; Tucker e King, 1984) sono:

- a. la frequenza che caratterizza il massimo di amplificazione spettrale, la quale è anche chiamata frequenza fondamentale di risonanza, non varia nella superficie della valle, in quanto risulta non avere relazioni con lo spessore dei depositi.
- b. Nel centro della valle si concentra la massima amplificazione, diminuendo allontanandosi da esso fino ad un valore pressoché nullo ai bordi della valle.

- ***effetti topografici***

Facendo riferimento al *Paragrafo 3.3*, si può aggiungere riguardo a questi effetti quale sia l'amplificazione e quale siano le funzioni che legano quest'ultima agli aspetti topografici e geomorfologici locali dell'area (Pagliaroli, 2006):

- i. L'amplificazione del moto sismico è maggiore nella parte più alta di un rilievo rispetto che alla base.
- ii. L'amplificazione è massima in intervalli di frequenze che corrispondono a lunghezze d'onda  $\lambda$  simili alla larghezza del rilievo topografico.
- iii. All'aumentare del rapporto tra l'altezza del rilievo  $H$  e la semilarghezza alla base  $L$  l'amplificazione aumenta.
- iv. L'amplificazione risulta maggiore per onde di tipo S che per onde di tipo P.
- v. L'amplificazione è funzione dell'angolo di incidenza delle onde sismiche.

## 4. Materiali e Metodi

In questo capitolo verranno descritte le procedure di analisi e i materiali utilizzati per il conseguimento dello scopo di questa tesi. Gli aspetti studiati, relativamente alla nostra area di studio corrispondente al Bacino del Torrente Miano, sono di tipo geologico, idrogeologico e geomorfologico e, riguardo ciascun aspetto, sono state portate avanti delle attività descritte in questo capitolo.

Sulla base dei dati e delle ricerche effettuate e riportate in letteratura da altri studenti, ricercatori e docenti dell'Università Politecnica delle Marche, si sono voluti intraprendere ulteriori studi sulle proprietà del bacino, riconoscendone le caratteristiche principali, focalizzandosi sugli aspetti sopraelencati.

Nei prossimi paragrafi verranno elencati e descritti dunque gli strumenti utilizzati e le metodologie di indagine intraprese.

### 4.1 Strumenti

Gli strumenti utilizzati nelle indagini effettuate sono analizzati in questo paragrafo. Le indagini condotte possono essere suddivise in: digitalizzazione dei sondaggi geognostici relativi all'area di Ancona, uscite in campagna nell'area del bacino del Torrente Miano, prove di laboratorio su campioni provenienti da quest'ultimo e analisi dei dati rilevati in campagna.

Possiamo suddividere gli strumenti utilizzati in tre principali categorie:

- Strumenti Meccanici
- Strumenti Elettronici
- Strumenti Informatici
- Strumenti Chimici

### 4.1.1 Strumenti Meccanici

#### - Flessometro

È uno strumento utilizzato per la misurazione di lunghezze. Esso fa riferimento a una scala di riferimento espressa in metri. Il flessometro è un metro a nastro molto utilizzato in ambito professionale: è costituito da un nastro metallico avvolto in un arrotolatore e questo strumento è dotato di un meccanismo a molla che permette all'arrotolatore di avvolgere il nastro automaticamente. Lo strumento utilizzato in queste indagini ha una lunghezza di 5 m (*Figura 1*).



*Figura 1. Flessometro di lunghezza 5 m ([www.stanley.com](http://www.stanley.com))*

#### - Attrezzi agricoli

Questi strumenti sono stati utilizzati nelle uscite in campagna. In particolare, si tratta di un insieme di attrezzi usati per lavorare il terreno ove vi era bisogno di effettuare una prova infiltrometrica. Elencandoli: zappa, rastrello, pala, vanga (*Figura 2*).



Figura 2. Attrezzi agricoli ([www.leroymerlin.it](http://www.leroymerlin.it))

#### - **Trivella a mano**

È uno strumento utilizzato per penetrare il terreno e grazie a una punta metallica che ruota sul suo asse riesce a effettuare il campionamento del suolo a diverse profondità. La forzante meccanica determinante la forza di infissione permette di raggiungere profondità più elevate. Lo strumento è lungo circa 120 cm e permette di campionare al massimo un provino di 15 – 20 cm di altezza per 5 cm di larghezza (*Figura 3*).



Figura 3. Trivella a mano ([www.scubla.it](http://www.scubla.it))

### - **Rotella metrica con impugnatura**

È costituito da un nastro in acciaio INOX millimetrato della lunghezza dell'ordine dei 10-20 metri e permette tramite una zavorra situata e allacciata all'estremità del nastro di effettuare delle misurazioni in verticale, come ad esempio, la profondità dalla bocca pozzo del fondo del pozzo stesso.

La rotella metrica con impugnatura è stata utilizzata per le misurazioni delle profondità dei pozzi (*Figura 4*).



*Figura 4. Rotella metrica con impugnatura. (www.ltf.it)*

### - **Infiltrometro a doppio anello**

L'infiltrometro a doppio anello (*Figura 5*) è un semplice strumento utilizzato per determinare le infiltrazioni d'acqua nel terreno. Le misure si effettuano secondo il metodo di prova standard ASTM D3385-03 e DIN 19682. È composto da diversi anelli di acciaio con diametro differente, da una staffa che permette di sorreggere la sonda, da una piastra battente e necessitante quindi di una mazza. Tramite essa si infiggono gli anelli parzialmente nel terreno e poi sono riempiti con acqua, dopo di che viene misurata la velocità di infiltrazione della stessa nel terreno. Il doppio anello limita la

diffusione laterale dell'acqua dopo l'infiltrazione. Il kit standard è composto da tre coppie di anelli interni ed esterni, che consentono la misurazione sincrona.

L'infiltrometro a doppio anello è adatto a quasi tutti i tipi di terreno e viene applicato in progetti attui alla determinazione del coefficiente di permeabilità saturo ( $k_{sat}$ ).

Le coppie di anelli di infiltrazione in acciaio INOX hanno i seguenti diametri: 28/53 cm, 30/55 cm e 32/57 cm. Gli anelli hanno un'altezza di 25 cm e possiedono un bordo tagliente (secondo la normativa DIN19682-7). Lo scopo dell'anello esterno è quello di fungere da zona cuscinetto contro le infiltrazioni d'acqua orizzontali provenienti dall'anello interno. Sono presenti, inoltre, ganci estraibili in acciaio che consentono la rimozione degli anelli. La forma della piastra di guida (a croce) permette una buona diffusione del martellamento e quindi garantisce il non danneggiamento del cerchio ([www.ecosearch.info](http://www.ecosearch.info)).



Figura 5. Kit completo dell'infiltrometro a doppio anello ([www.agriexpo.online/it](http://www.agriexpo.online/it))

- **Strumenti di laboratorio**

I. *Setacci per l'analisi granulometrica (ASTM E11)*

Il setaccio è uno strumento (o vaglio, da non confondere con il crivello) che si differenzia in base alla forma delle maglie: infatti, un setaccio ha una forma delle maglie quadrata, mentre un crivello le ha circolari (in disuso). Un setaccio (*Figura 7*) ha lo scopo di separare particelle dal diametro più grande da quelle con diametro più piccolo rispetto alla dimensione di apertura delle maglie, così da effettuare una caratterizzazione attraverso la distribuzione granulometrica di un campione.

La rete metallica che compone il setaccio può essere di diverse aperture e la serie di setacci varia in base alla normativa di riferimento. Per quanto riguarda le analisi effettuate la serie si rifà a quella ASTM.

Per le granulometrie si opera facendo passare il campione, precedentemente separato in particelle sciolte, in una serie o pila di setacci (*Figura 6*), trattenendo la frazione corrispondente al setaccio di riferimento ([www.powderprocess.net](http://www.powderprocess.net)).



*Figura 6. Pila di setacci ASTM*



Figura 7. Esempio di setaccio (12" ASTM sieve) ([www.globalgilson.com](http://www.globalgilson.com))

- II. Cilindri e becher in plastica e vetro, contenitori in alluminio e leghe di metallo, siringhe e spatole da laboratorio, cronometro per le prove di sedimentazione (Figura 8).



Figura 8. Strumenti da laboratorio, dall'alto a sinistra verso destra: 1) Cilindro graduato ([it.rs-online.com](http://it.rs-online.com)). 2) Becher in vetro graduato ([www.perlabo.it](http://www.perlabo.it)). 3) Contenitore in alluminio ([www.faccohotel.com](http://www.faccohotel.com)). 4) Cronometro meccanico ([www.fruugo.it](http://www.fruugo.it)). In basso da sinistra a destra: 5) Siringa ([www.henryschein.it](http://www.henryschein.it)). 6) Spatole metalliche ([www.farnell.com](http://www.farnell.com)).

III. Contenitori in plastica (taniche) per il trasporto di acqua utile alle prove infiltrometriche. Si sono utilizzate taniche da 5 litri (*Figura 9*), da 20 L (*Figura 10*) e da 25 litri (*Figura 11*).



*Figura 9. Tanica in plastica da 5 litri (www.boavistavetro.it)*



*Figura 10. Tanica in plastica da 20 litri (www.idroponica.it)*



*Figura 11. Tanica in plastica da 25 litri (www.packari.com)*

IV. Contenitori per i provini di terreno umido con tappo a vite, forbici, scotch, sacchetti in plastica richiudibili ermeticamente (*Figura 12*).



*Figura 12. In alto da sinistra: 1) Barattolo in plastica. 2) Scotch. In basso da sinistra: 3) Forbici. 4) Pennarello indelebile. 5) Sacchetti ([www.biosigma.it](http://www.biosigma.it)).*

#### - **Densimetro**

Il densimetro, anche chiamato aerometro (o baumè), è uno strumento utilizzato per misurare la densità relativa dei liquidi in funzione al galleggiamento. Essi sono calibrati e graduati con una o più scale. Le scale disponibili sono:

0 – 10

0 – 30

0 – 50

0 – 70

Per quanto riguarda l'idrometro, esso consiste in un tubo di vetro cavo sigillato galleggiante, uno stelo stretto con graduazioni per le misure e una zavorra (mercurio o piombo) per la stabilità.

Il punto in cui la superficie del liquido tocca lo stelo dell'idrometro indica una correlazione con la densità relativa del liquido stesso ([www.caimi.net](http://www.caimi.net)).

In particolare, il densimetro ad ampolla è caratterizzato da un bulbo di vetro contenente una zavorra di piombo. Il bulbo è situato sotto un tubetto in vetro che contiene una scala graduata (www.brunorossi.eu). La misurazione consiste nel mettere il densimetro nel fluido, farlo galleggiare, e quando lo strumento smette di oscillare si può leggere il valore indicato dal menisco del pelo dell'acqua sull'asta graduata, indicando così la densità dell'acqua.



*Figura 13. Densimetro ad ampolla*

- **Cartografia**

- I. Carta geologica dell'area di studio (1:10000) con relativa legenda (vedi *Figura 13*, Capitolo 2, Paragrafo 2.3.2).
- II. Carta geomorfologica dell'area di studio

## 4.1.2 Strumenti Elettronici

### - Freatimetro

Il freatimetro (*Figura 14*) è uno strumento manuale utilizzabile per la misura del carico idraulico. Chiamato anche sonda piezometrica, il freatimetro è caratterizzato da vari elementi: si può citare il nastro graduato che presenta all'estremità un sensore che emette un segnale acustico a contatto con la superficie del liquido (Sannino, 2020).

Il puntale del freatimetro è costituito da due elettrodi che, al momento del contatto con l'acqua, permettono al circuito elettrico di attivare un segnale che avvisa l'operatore della lettura sul nastro del livello statico dell'acqua.

Le caratteristiche del freatimetro utilizzato sono:

- Diametro della sonda pari a 3 cm
- Cavo di forma rotonda con anima in Kevlar
- Segnalatore acustico a contatto con l'acqua
- Nastro graduato (centimetri)



Figura 14. Freatimetro (<https://www.pndshop.it>)

## - **Conducimetro**

Il conducimetro (*Figura 15*) è uno strumento molto utile per conoscere la temperatura e la conducibilità elettrica di un liquido in maniera discreta, dettata da una frequenza di misurazione. Il principio dietro al quale lo strumento funziona si basa sulla misurazione della materia ionizzabile nel liquido e la quantità di sali disciolti in acqua: infatti, la conducibilità è direttamente proporzionale ai sali disciolti per le proprietà chimiche di questi ultimi. L'unità di misura del conducimetro è espressa in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (o in  $\text{mg}/\text{L}$ ) e valori alti di conducibilità corrispondono a molti sali disciolti in acqua.

Le caratteristiche del conducimetro possono essere riassunte in: cella in graffite a due elettrodi, sonda di temperatura incorporata per compensazione termica, diametro di circa 4 cm, cavo resistente all'idrolisi e ha la possibilità di essere abbinabile a un data logger o un visualizzatore portatile. Inoltre, i dati possono essere visualizzati mediante collegamento USB-A a un dispositivo esterno.



*Figura 15. Conducimetro ([www.tecnopenta.com](http://www.tecnopenta.com))*

### - **Trasduttore di pressione**

Il trasduttore di pressione, comunemente chiamato anche sensore di pressione, è uno strumento in grado di misurare una grandezza in entrata, ovvero la pressione in input, in un'altra grandezza fisica, ovvero in un segnale elettrico analogico in output. L'utilizzo, limitatamente al nostro caso studio (*Figura 16*), è stato effettuato nelle prove infiltrometriche.

Definiamo:

- Misurazione della pressione assoluta: è quella misura riferita alla condizione di vuoto assoluto con conseguente pressione nulla. Molto difficile da ottenere, questa misurazione è considerata teorica e gli strumenti che utilizzano questa misurazione sono anche utilizzati per la misurazione di livelli barometrici.
- Misurazione della pressione relativa: confrontando le misurazioni con quelli della pressione atmosferica, si ottiene una misura definita relativa.

Il trasduttore di pressione utilizzato misura la pressione assoluta idrostatica con una cella di misura in ceramica ed è ideale per misurare il livello di pozzi profondi, serbatoi, e quindi il livello di acque e acque reflue. La pressione, agendo sulla membrana ceramica capacitiva, crea uno spostamento della tale che traduce quest'ultimo in una variazione della capacità che il sensore converte in un segnale.



*Figura 16. Trasduttore di pressione "Diver"*

## - Stufa da laboratorio

I forni, o stufe da laboratorio sono strumenti che permettono di effettuare trattamenti termici. Lo scopo principale è quello di asciugare i provini. Essi sono in genere costituiti da armadi in acciaio inossidabile e possiedono uno sportello termico e piani interni forati per migliorare la circolazione dell'aria. Si possono raggiungere temperature elevate, dai 250 °C ai 300°C, mantenendo costante tale temperatura per la durata richiesta (timer).

Il principio di tale riscaldamento è quello della convezione: l'elemento riscaldante, infatti, non è collocato nella stessa camera interna del forno, ma in un involucro separato indipendente. In questo modo il calore non interagisce con l'integrità del provino da essiccare.

La tipologia di stufa da laboratorio utilizzata è quella del forno a camera riscaldata, il quale assicura un buono standard di cottura dei campioni e possiamo distinguere due modalità principali di funzionamento: quelle ad aria naturale, dove la circolazione dell'aria è governata da un moto convettivo, e quelle a circolazione forzata, dove il fenomeno di trasmissione di calore è quello della convezione forzata, più efficiente, ma necessitante di un organo meccanico che avvii il lo scambio termico.



Figura 17. Stufa da laboratorio ([www.strumentidalaboratorio.com](http://www.strumentidalaboratorio.com))

### - Vasca termostatica per le aerometrie

Questa vasca (*Figura 18*) permette di mantenere costante e di regolare la temperatura mediante delle resistenze elettriche, parametro molto importante per le analisi granulometriche mediante sedimentazione gravitazionale (aerometrie). In questa vasca vengono disposti i cilindri per queste prove. La vasca contiene acqua e in essa i cilindri sono in un bagno termostatico.



*Figura 18. Vasca termostatica per aerometrie*

### - Agitatore Meccanico

L'agitatore meccanico consiste in uno strumento metallico collegato ad alimentazione elettrica che consente di miscelare la soluzione contenuta in un apposito becher metallico incastrato sull'agitatore stesso. Il meccanismo di miscelazione consiste in una rotazione di palette metalliche attorno all'asse dell'agitatore. L'operazione viene effettuata per alcuni minuti in modo da limitare i tempi della miscelazione manuale.

In *Figura 19* è mostrato l'agitatore in esame.



Figura 19. Agitatore meccanico da laboratorio

### - Bilancia da laboratorio

La bilancia da laboratorio è uno strumento che consente di misurare la massa dei materiali appoggiati per gravità su essa. Ha una sensibilità dell'ordine del centigrammo (Figura 20).



Figura 20. Bilancia da laboratorio

### 4.1.3 Strumenti Informatici

#### - Commander Compass Go

Commander Compass Go è un'applicazione per IOS e Android sviluppata da Pavel Ahafonau.

Essa consiste in una serie di strumenti GPS utili per la navigazione in outdoor. Il toolkit funziona da bussola con carte, girobussola, ricevitore GPS, inseguitore punti chiave, tachimetro, altimetro, strumento di rilevamento posizione del sole, della luna e delle stelle, giroscopio orizzontale e convertitore di coordinate (apps.apple.com).

Questa applicazione, per il caso studio in esame, si è rilevata fondamentale per il rilevamento delle criticità geomorfologiche lungo lo sviluppo del Torrente Miano. Si sono individuati dei punti chiave georeferenziati e questi dati sono esportabili in altri software, come Google Earth Pro, per una migliore visualizzazione (*Figura 21*).



Figura 21. Commander Compass Go

### - **Autocad**

Autocad è un software di disegno tecnico assistito e modellistica ideato dalla software house americana Autodesk. Viene utilizzato come supporto alla realizzazione di disegni bidimensionali e tridimensionali in ambito architettonico, ingegneristico, meccanico ed elettronico. Esso si basa su un modello vettoriale, il quale permette di non perdere la risoluzione con la scalabilità ([www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)).

### - **Excel**

Excel è un programma sviluppato da Microsoft e appartiene alla suite Office. Fu lanciato per la prima volta sul mercato nel 1995. È attualmente il foglio elettronico di calcolo (spreadsheet) più diffuso e utilizzato. Esso è costituito da una griglia divisa in celle in cui si possono inserire formule e operazioni. L'estensione di riferimento per i prodotti Excel è “.xls”.

Le colonne sono contrassegnate dalle lettere maiuscole (A, B, C, ecc.) mentre le righe sono contrassegnate da numeri (1,2,3 ecc.). Le funzioni di Excel sono molteplici, vanno dalle operazioni più comuni (somma, sottrazione, moltiplicazione, divisione ecc.), alle formule matriciali, fino alla realizzazione di grafici.

### - **Google Earth Pro**

Google Earth è un software, scaricabile dall'indirizzo internet “[earth.google.it](http://earth.google.it)”, che dà una vista tridimensionale della terra e permette di esplorare la superficie terrestre con un livello di dettaglio molto alto.

Importante definire che la visualizzazione non è statica, poiché il software è capace di raggiungere un obiettivo muovendosi sulla mappa attraverso voli virtuali a distanza dalla superficie. In questo modo, attraverso foto aeree e satellitari, è possibile vedere tutto il pianeta. Precisamente, Google Earth, è un software che permette di creare un'immagine virtuale del pianeta tramite l'utilizzo di immagini satellitari, foto aeree e dati topografici, i quali sono conservati e memorizzati in una piattaforma GIS (Rossi, 2007).

## - ArcGIS

ArcGIS è un software per la creazione di mappe GIS che descrive luoghi e dati utilizzando le mappe interattive. Permette di progettare, creare, organizzare e condividere informazioni geografiche.

### 4.1.4 Strumenti Chimici

#### - Esametafosfato di Sodio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>

Descrizione:

- i. Polvere bianca (*Figura 22*), solubile in acqua ma insolubile in solvente organico
- ii. Peso molecolare: 611,82

Proprietà fisiche:

- i. Densità relativa:  $2,484 \text{ g/cm}^3$  (a  $20^\circ\text{C}$ )
- ii. Igroscopico, diviene appiccicoso quando assorbe umidità nell'aria

È chiamato anche Calgon e si ottiene per riscaldamento del fosfato monosodico.

L'esametafosfato di sodio si presenta come polvere fine, vetroso, amorfo ed è composto da catene di circa 25 unità di  $\text{NaPO}_3$  ([www.igmaspa.it](http://www.igmaspa.it)).

Diviene fondamentale per il nostro caso studio la proprietà disperdente del sodio esametafosfato (Calgon).



*Figura 22. Sodio esametafosfato (it.kaikes-kks.com)*

- **Alcool isopropilico ( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ )**

L'alcol isopropilico (*Figura 23*), noto anche come isopropanolo, è un liquido volatile infiammabile e incolore. È anche denominato come 2-propanolo, è uno dei composti organici della famiglia degli alcolici. Rappresenta il primo alcool sintetico commerciale.

L'alcol isopropilico viene utilizzato in laboratorio come agente antischiuma, in quanto è capace di far disperdere la schiuma, essendo fortemente idrofobico ([fachim.com](http://fachim.com)).



*Figura 23. Alcool isopropilico ([www.electronicmegastore.net](http://www.electronicmegastore.net))*

### - **Acqua distillata (dH20)**

L'acqua distillata si ottiene portando ad ebollizione l'acqua, per poi far condensare il vapore allo stato liquido in un contenitore diverso. Così si possono eliminare tutte le impurità dal liquido, che restano nel contenitore primario.

La formula chimica dell'acqua distillata è dH20, ed essa costituisce un liquido che non contiene nessuna impurità, ovvero nessun microrganismo, sale minerale o gas disciolto per cui presenta una conducibilità elettrica più bassa dell'acqua normale per una minore concentrazione di ioni al suo interno. È importante non esporla troppo all'aria poiché l'anidride carbonica contenuta all'interno potrebbe modificarne il pH ([www.maja.it](http://www.maja.it)). Fondamentale risulta quindi conservare l'acqua distillata in contenitori di materiale plastico che impediscano all'acqua di assorbire ioni, oppure si possono utilizzare anche contenitori in vetro borosilicato o quarzo, ma non in recipienti di vetro normale poiché esso rappresenta una sorgente di ioni metallici e anioni.

L'acqua distillata pura (*Figura 24*) risulta neutra, ovvero ha un pH di 7, ma spesso, a causa dell'assorbimento della CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, il pH si modifica per risultarne leggermente acido, con un valore pari a 5,8.



*Figura 24. Spruzzetta contenente acqua distillata ([www.azlon.com](http://www.azlon.com))*

## 4.2 Metodi d'indagine

Le indagini condotte nell'area di studio, il bacino del Torrente Miano, si distinguono in:

- Uscite in campagna e relative prove
- Prove di laboratorio
- Digitalizzazione ed elaborazione dati

Le prove effettuate sono state svolte dai mesi di Febbraio - Marzo 2021 fino ai mesi di Maggio - Giugno 2021, e, nell'arco di questo periodo temporale, sono stati fatti dei confronti tra le prove stesse.

Di seguito verranno analizzate le tre diverse tipologie di indagini conseguite, spiegandone il fine e descrivendone il procedimento operativo, a partire dai materiali utilizzati descritti nel Paragrafo 4.1.

### 4.2.1 Uscite in campagna e relative prove

Queste uscite sono state effettuate nei primi mesi del rilievo, Febbraio – Marzo e, per fare un confronto, sono state ripetute nei mesi di Maggio – Giugno, in quanto il clima è un fattore determinante nei confronti dei risultati ottenibili.

Queste prove possono essere riassunte principalmente in:

- *Rilievo dei pozzi* freatici nel bacino del Torrente Miano.
- *Prove infiltrometriche* nei diversi litotipi e depositi affioranti nel bacino del Torrente Miano
- *Prelievo dei campioni* relativi ai diversi litotipi e depositi affioranti nel bacino del Torrente Miano
- *Rilievo geomorfologico* dell'area di studio, con particolare attenzione alle criticità relative ai versanti del bacino e rilevamento diretto puntato all'individuazione di tutti gli elementi antropici e morfologici di esso finalizzato alla creazione di una carta geomorfologica aggiornata.

#### 4.2.1.1 Rilievo dei pozzi freatici

Nel mese di Febbraio si sono effettuate due differenti uscite in campagna che avevano come obiettivo l'individuazione dei pozzi freatici ubicati nel bacino di interesse e successivamente, nella seconda uscita, ci si è impegnati a svolgere le prove nei pozzi per determinarne i parametri geometrici e fisici di interesse.

La prima uscita è stata finalizzata alla determinazione delle coordinate geografiche relative a ogni singolo pozzo presente nell'area. Ciò è stato possibile mediante l'ausilio dell'applicazione Commander Compass Go (vedi Paragrafo 4.1.3). Si sono quindi appuntate le coordinate N ed E riferite al sistema di riferimento UTM, la quota rispetto al livello medio del mare, tutto questo grazie al sistema di georeferenziazione dell'applicazione, per poi individuare, tra i pozzi segnati in carta, quelli adatti all'esecuzione delle prove: si sono quindi esclusi i pozzi chiusi, quelli dove il permesso è stato negato poiché privati e quelli artesiani, senza dimenticare quelli già strumentati. Una volta appuntate queste informazioni manualmente in cartaceo, sono state riportate in formato digitale.

La seconda uscita, ripetuta anche nel mese di Maggio per confrontare i risultati ottenuti, è stata effettuata nel mese di Febbraio: essa consisteva in delle misure puntuali nei vari pozzi individuati per conoscere il livello del pelo libero della falda rispetto al livello medio del mare e i valori medi di temperatura e conducibilità elettrica. Per conseguire questi obiettivi sono state effettuate delle misurazioni mediante il freatimetro e mediante una sonda, in particolare un conduttimetro, entrambi descritti nel Paragrafo 4.1.2.

Descrivendo in particolare le attività della seconda uscita, si è partiti dalla misurazione dell'altezza geometrica della bocca pozzo rispetto al piano campagna, risultato utile per determinare per somma algebrica la quota del pelo libero rispetto al piano campagna. Una volta fatto ciò, utilizzando il freatimetro, si è registrato per ogni pozzo il livello della falda rispetto alla bocca pozzo e, sottraendo l'altezza della bocca pozzo misurata precedentemente, si è risaliti con una semplice differenza alla

profondità del pelo libero rispetto al piano campagna. Per fare ciò si è preso il freatimetro e dopo essersi assicurati della sua accensione, ovvero dopo aver schiacciato il tasto emettente il segnale sonoro di conferma, si è lasciato calare il sensore manualmente dalla bocca pozzo fino a che il sensore stesso, appena rilevato la presenza dell'acqua, emettesse un altro segnale sonoro continuo. A quel punto si effettua la lettura sul cavo graduato in plastica che sorregge all'estremità il sensore (*Figura 25*).

Considerando ora la quota della bocca pozzo appuntata nella prima uscita rispetto al livello medio del mare e sottraendo a questo valore la quota del pelo libero della falda rilevata col freatimetro rispetto alla bocca pozzo, si ottiene la quota del livello di falda rispetto al livello medio del mare. Questo procedimento, ripetuto per tutti i pozzi individuati, permette l'individuazione puntuale del livello di falda e, tramite opportune interpolazioni, si possono ricavare delle carte isopiezometriche del bacino.

Ripetendo il procedimento nel mese di Maggio, si possono fare dei confronti, proprio attraverso queste carte, con l'andamento del livello della falda nel tempo e trarre ipotesi sul sistema drenaggio - alimentazione del Torrente Miano.



*Figura 25. Lettura del livello del pelo libero della falda attraverso il freatimetro.*

Si riporta in *Tabella 1* la scheda tecnica relativa a un pozzo (*Figura 26*) esaminato e si rimanda per un'analisi più esplicita e di dettaglio all'elaborato condotto riguardante l'aspetto idrogeologico dell'area (Scarponi, 2021).

<b>Scheda tecnica relativa al pozzo n° 8</b>	
Coordinata N (UTM)	4827614
Coordinata E (UTM)	383324
Quota bocca pozzo (s.l.m.m.)	152,00 m
Quota della bocca pozzo rispetto al p.c.	0,50 m
Quota della bocca pozzo rispetto al pelo libero della falda	1,90 m
Quota della bocca pozzo rispetto al fondo del pozzo	5,00 m
Quota del pelo libero della falda (s.l.m.m.)	150,10 m

*Tabella 1. Esempio di scheda tecnica di un pozzo esaminato nel bacino del Torrente Miano*



*Figura 26. Pozzo n° 8*

Oltre al livello del pelo libero della falda, per effettuare delle analisi più esaustive sulle proprietà fisiche della falda, si sono misurate la temperatura e la conducibilità elettrica della stessa.

La misurazione è svolta da uno strumento, il conducimetro o conduttimetro (vedi Paragrafo 4.1.2), il quale misura attraverso un sensore la temperatura e la conducibilità elettrica in maniera discreta a seconda della frequenza di misurazione settata dall'operatore ante – campagna nel relativo software dedicato alla sonda stessa. Nel nostro caso la frequenza di misurazione era dell'ordine dei 10 secondi per le misurazioni effettuate nei mesi di Febbraio e di Maggio.

L'operazione di misurazione della conducibilità elettrica e della temperatura tramite il conducimetro viene effettuata in campagna facendo scendere dalla bocca pozzo la corda alla quale è legato lo strumento all'estremità di essa, avendo precedentemente determinato l'altezza totale del pozzo dalla bocca pozzo. La conoscenza di quest'ultima è, infatti, di fondamentale importanza in quanto la sonda è molto sensibile agli urti e quindi bisogna farla scendere senza toccare il fondo.

In seguito, quando il conducimetro è al livello libero della falda, un operatore segna l'orario di inizio della prova e si eseguono misurazioni nell'arco di 2 minuti, 1 minuto per la discesa della sonda e lo stesso tempo per la risalita: così facendo si avranno dei dati discreti (12 misurazioni) di temperatura (°C) e conducibilità elettrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Nel momento in cui la sonda esce dall'acqua l'operatore segna la fine della prova e ciò viene fatto poiché, essendo i dati molteplici (1 misurazione ogni 10 secondi), si può interrogare il software con l'orario preciso ed estrarne i dati rapidamente nei formati di interesse.

#### 4.2.1.2 Prove infiltrometriche

Le prove infiltrometriche sono delle prove che si eseguono per simulare e interrogare il terreno sulla sua capacità di resistere all'infiltrazione dell'acqua.

L'obiettivo di queste prove è quella di conoscere, una volta vicini alla saturazione, la velocità con cui l'acqua penetra nel terreno e quindi ricavare il coefficiente di permeabilità saturo ( $k_{sat}$ ).

Lo strumento necessario per effettuare questa tipologia di prova è l'infiltrometro a doppio anello, descritto nel Paragrafo 4.1.1, accompagnato da un ingente quantitativo di acqua e di strumenti agricoli che fanno sì che il terreno sia predisposto alla prova. In *Figura 27* sono mostrati alcuni di questi.



*Figura 27. Sono mostrate delle taniche contenenti acqua, la piastra di acciaio che distribuisce i carichi per l'infissione dei due anelli, una mazza, una paletta e dei secchi utili alla prova.*

Prima di effettuare la prova si deve rendere il terreno adatto all'esecuzione della prova stessa: attraverso attrezzi agricoli si toglie lo strato più superficiale, se presente, di coltre vegetale, la quale influenzerebbe i risultati in termini di permeabilità. Una volta fatto ciò, si procede alla resa pianeggiante del terreno e alla successiva disposizione dei due anelli metallici sulla superficie del terreno stesso in modo tale che l'anello interno sia contenuto nell'anello più grande esterno e che i due anelli siano concentrici (vedi *Figura 28*).



*Figura 28. I due anelli concentrici posizionati prima dell'infissione nel terreno e la piastra di carico.*

Una volta appoggiati i due anelli sul terreno, si prende la piastra di acciaio di forma a “X” (croce con lati uguali e punto di intersezione in mezzeria) e la si incastra sopra i due anelli, con la faccia di battitura del parallelepipedo centrale rigido rivolta verso l’alto. Verificando che non trasli rispetto ai due anelli, la piastra viene battuta ripetutamente con la mazza, distribuendo i carichi equamente ai due anelli, infiggendoli in maniera omogenea. Questa esecuzione sottopone l’operatore a livelli di pressione sonora elevati dovuti al contatto delle due superfici metalliche per cui sono consigliate delle cuffie antirumore isolanti.

Durante l’infissione si controlla con l’ausilio di un flessometro o di un metro rigido (*Figura 29*) la profondità di infissione dei due anelli in quattro punti, a due a due opposti rispetto al centro degli anelli stessi.



*Figura 29. Controllo infissione anello esterno in un punto della circonferenza.*

Per calcolare la profondità di infissione occorre sottrarre all'altezza dell'anello, pari a 25 cm, quella della misura effettuata col metro rigido rispetto al piano campagna.

Una volta terminata l'infissione, si prende la staffa reggi sonda e la si posiziona nell'anello centrale, incastrandola negli appositi punti. Successivamente si prende il trasduttore di pressione (descritto nel Paragrafo 4.1.2) e lo si lega alla staffa. È molto importante che la punta della sonda ove presente il trasduttore di pressione non tocchi per gravità il terreno sottostante, ma che si avvicini il più possibile (*Figura 30*), per poter effettuare una buona prova. È consigliabile far passare il cordino dello strumento prima nel reggi staffe e poi regolarlo una volta incastrato sull'anello interno.



*Figura 30. Posizionamento dello strumento di misura prima dell'esecuzione della prova.*

Adesso che lo strumento è stato posizionato, si controlla che la risorsa idrica per effettuare la prova sia sufficiente: per una prova si necessitano di diversi litri di acqua. Nel nostro caso, per ogni prova si aveva disponibilità di circa 150 l di acqua in taniche da 5, 20, 25 litri (vedi paragrafo 4.1.1). A volte questa quantità d'acqua era sufficiente, mentre per altri litotipi è stato necessario riprendere acqua da delle fonti idriche.

Controllato che l'acqua sia sufficiente per l'esecuzione della prova, si riempiono i due anelli contemporaneamente, facendo attenzione a sommergere l'intera sonda (*Figura 31*) e a raggiungere l'orlo senza far uscire acqua.



*Figura 31. Momento di inizio dell'esecuzione della prova*

È importante, poiché il trasduttore misura dati in maniera discreta con una frequenza di misurazione impostata per la prova di Marzo a 2 secondi e per quella di Maggio a 6 secondi, che l'operatore segni l'orario a ogni rimboccata d'acqua, così da trovare in maniera più agevole i dati (ciò corrisponderà a una linea verticale nel grafico pressione – tempo).

Durante l'avanzamento della prova, a seconda della permeabilità del litotipo in questione, l'acqua scenderà con una velocità non costante nel tempo. Quando l'acqua sta per far riemergere il trasduttore di pressione, è necessario eseguire un rimboccamento. Un'altra cosa a cui far attenzione è che il livello d'acqua si mantenga sempre costante all'interno dell'anello dove è presente la sonda e nell'anello esterno: un livello più basso nell'anello esterno induce infatti fenomeni di filtrazione orizzontale dall'interno verso l'esterno. Contrario nel caso in cui il livello esterno sia più alto di quello interno. È bene, quindi, fare un controllo continuo del livello di acqua all'interno dei due cilindri e farlo rimanere costante, rimboccando di volta in volta l'anello esterno e non quello interno dove è inserito lo strumento di misura, poiché registrerebbe variazioni di pressione dovuti ai disturbi causati dall'aggiunta continua di acqua.

Non appena si è raggiunta la saturazione si può notare come il livello d'acqua non scende più significativamente: a questo punto la prova si dice essere terminata e si può procedere con l'estrazione della staffa reggi sonda e dei due anelli con i ganci metallici in dotazione nel kit dell'infiltrometro. La durata della prova è variabile con la permeabilità del terreno e può durare da un minimo di circa 30 minuti a un massimo di qualche ora.

Prima di liberare il sito è bene riportare il terreno alle condizioni precedenti la prova, ricoprendolo con la coltre vegetale, se presente.

### 4.2.1.3 Prelievo dei campioni dei diversi litotipi

Il prelievo dei campioni, per ognuno degli otto siti investigati, consiste in:

- Prelievo di un provino di massa circa 100 g a 20 cm dal piano campagna per la determinazione del contenuto in acqua.
- Prelievo di tre differenti campioni di massa circa 500 g rispettivamente a profondità stimata dal piano campagna di circa:
  - i. 10 cm
  - ii. 40 cm
  - iii. 70 cm

Si inizia con il provino dal quale determinare il contenuto d'acqua in laboratorio. Il prelievo si effettua mediante la trivella a mano (vedi Paragrafo 4.1.1), si estraggono a 20 cm dal piano campagna all'incirca 100 g di campione e si ripongono nel contenitore con il tappo a vite (*Figura 32*): è importante far sì che esso sia sigillato il meglio possibile per evitare che l'acqua evapori o che l'acqua possa entrare, per questo motivo si sono sigillati con scotch tutti questi provini. È bene che tra la fase di estrazione e pesatura il campione rimanga in luoghi freschi adatti e il più possibili simili a quelli dell'ambiente naturale.



*Figura 32. Barattolo da sigillare contenente il campione su cui determinare il contenuto di acqua*

Su tale campione è bene indicare:

- I. Coordinate UTM (N,E)
- II. Data
- III. Orario
- IV. Sito investigato

Il procedimento è stato ripetuto e questi campioni sono stati prelevati anche nella seconda uscita effettuata nel mese di Maggio per determinarne il contenuto il acqua e fare un confronto con il risultato ottenuto con la prima uscita di Marzo.

La seconda fase consiste sull'estrazione dei provini per scopi di laboratorio quali le analisi granulometriche (setacciatura e sedimentazione).

Con l'ausilio della trivella a mano si effettua il prelievo di tre differenti provini per ogni sito investigato. La massa di ciascun provino è di circa 500 g ed essi sono presi a diverse profondità dal piano campagna: a 10 cm, a 40 cm e a 70 cm. L'altezza dei provini è sempre all'incirca 10 cm e le tre diverse profondità elencate precedentemente sono riferite alla profondità della testa del provino dal piano campagna. Una volta estratti si inseriscono nei sacchetti ermetici richiudibili come mostrato in *Figura 33*.

Per estrarre i provini si esercita una forza sulla trivella a mano e fatta ruotare su sé stessa, infiggendosi nel terreno sino alla profondità di interesse. All'estrazione della trivella è bene richiudere il foro di diametro 5 cm (*Figura 34*) che si viene a creare nel terreno.



*Figura 33. Provino per le analisi granulometriche inserito nel sacchetto apposito*



*Figura 34. Foro determinato dalla trivella a mano.*

In seguito, sono mostrati tre provini dello stesso sito presi a profondità differente (Figure 35, 36, 37). I campioni sono relativi a depositi alluvionali.



Figura 35. Provino 1/3 del sito 2 relativo a depositi alluvionali.



Figura 36. Provino 2/3 del sito 2 relativo a depositi alluvionali



Figura 37. Provino 3/3 del sito 2 relativo a depositi alluvionali.

Come si può notare nelle *Figure 35, 36, 37*, si è annotato sull'apposito sacchetto:

- Orario dell'estrazione del provino
- Data dell'estrazione (esempio, 15/03)
- Sito investigato (2)
- Coordinate UTM (N, E)
- Numero provino di quel sito (da 1 a 3, con profondità crescente)
- Profondità della testa e del piede del provino in cm

#### 4.2.1.4 Rilievo geomorfologico del bacino del Torrente Miano

Il rilievo geomorfologico dell'area di interesse è un'indagine di campagna finalizzata all'individuazione delle irregolarità e delle criticità del torrente e dei versanti.

Per quanto riguarda il corso d'acqua si annotano, dirigendosi verso la sorgente, tutti i particolari antropici rilevanti. Tra questi elenchiamo: tubazioni, briglie, gallerie, ponti. Un altro dato rilevante all'analisi sono gli elementi naturali stessi che si oppongono e ostacolano il corretto percorso del torrente: un esempio possono essere

alberi abbattuti a causa di fenomeni meteorologici avversi (*Figura 38*). Ciò può essere descritto analizzando quelli che sono i diversi dissesti idrogeologici dell'area.

Per un corretto rilievo geomorfologico è bene georeferenziare tutte le criticità e gli elementi antropici in modo da individuare le cause di possibili eventi naturali avversi. Ciò è stato condotto con l'ausilio dell'applicazione Commander Compass Go, descritta nel Paragrafo 4.1.3 e poi si è riportati i punti in Google Earth Pro (*Figura 39*).

Molto importante risulta l'analisi dei pendii, si individuano le aree in frana (*Figura 40*) e, ove possibile, le nicchie di scorrimento, facendo particolare attenzione alle aree antropizzate (Osimani, 2021).



*Figura 38. Albero caduto sulle sponde del Torrente Miano (Marzo 2021).*



Figura 39. Elementi geomorfologici con vista spalle alla sorgente del Miano riportati in Google Earth Pro



Figura 40. Versante in frana sulla destra idrografica del Torrente Miano

## 4.2.2 Prove di laboratorio

Per ricavare informazioni relative alla granulometria e al contenuto d'acqua dei campioni prelevati dalle indagini di campagna nell'area di interesse, si effettuano delle prove di laboratorio. Queste prove, effettuate nei laboratori di Idrogeologia e di Geotecnica Ambientale dell'Università Politecnica delle Marche, si possono distinguere sia per lo scopo e sia per il momento in cui sono state eseguite. Entrambe le prove sono state fatte sui sei differenti litotipi presenti nel bacino e analizzati.

- I. Essiccamento del provino umido prelevato in giornata (100 g) nelle indagini di campagna (vedi Paragrafo 4.2.1.3) e determinazione del contenuto d'acqua del campione stesso.
- II. Analisi granulometriche per ricavare la distribuzione granulometrica dei campioni rappresentanti i vari litotipi. Queste si dividono in analisi per setacciatura (per diametri delle particelle superiori a 0.075 mm) e per sedimentazione (per diametri delle particelle inferiori a 0.075 mm).

I litotipi rappresentanti il bacino e analizzati sono:

1. Depositi alluvionali. I provini relativi a questo litotipo sono tre, relativi a luoghi diversi della stessa alluvione.
2. Depositi eluvio – colluviali.
3. Formazione dei Colombacci.
4. Depositi di frana.
5. Argille azzurre.
6. Formazione gessoso – solfifera.

Per la seconda tipologia di prove di laboratorio è bene precisare che le analisi sono state condotte studiando i provini prelevati a 10, 40 e 70 cm dal piano campagna.

#### 4.2.2.1 Determinazione del contenuto d'acqua dei campioni

Una volta prelevati 100 g di provino alla profondità di 20 cm in ciascun sito rappresentante una diversa litologia, i campioni, precedentemente sigillati e trasportati all'interno di barattoli con tappo a vite, vengono portati nel laboratorio. Qua si controlla che la bilancia sia funzionante e che il valore segni la massa nulla. Verificato questo si pesa il barattolino con il terreno dentro (una volta tolto l'eventuale scotch o etichette). Importante puntualizzare il fatto che la tara dei diversi barattolini sono note. Una volta determinato il peso lordo e la tara, calcoliamo il peso netto del campione umido. Fatto ciò, si versa il contenuto del barattolo in un contenitore precedentemente pesato, facendo attenzione a non lasciare nessun granulo, e si mette il tutto in una stufa da laboratorio (vedi Paragrafo 4.1.2) alla temperatura di 105°C per almeno 24 ore: così si garantisce l'effettivo essiccamento del provino e quindi mi permette di affermare che tutta l'acqua contenuta nel campione sia evaporata. Fatto questo, dopo 24 ore si estrae il tutto e si ripesa il contenitore più il materiale al suo interno. A questo punto si può determinare il contenuto in umidità facendo questa equazione:

$$w (\%) = 100 \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad [4.0]$$

Dove:

$w (\%)$  = contenuto d'acqua espresso in percentuale

$m_u$  = massa del campione umido

$m_s$  = massa del campione secco

Questa operazione viene condotta per ogni litotipo per entrambi i provini prelevati a Marzo e a Maggio, nella stessa data in cui sono state effettuate le prove infiltrometriche. Importante ribadire l'estrema urgenza nell'effettuare questa prova una volta estratto il provino per poter considerare i risultati accettabili.

#### 4.2.2.2 Analisi granulometrica per via umida

L'analisi granulometrica di un terreno consiste nel determinare la distribuzione dei granuli che lo compongono. Essa si sviluppa in due prove differenti, secondo la normativa ASTM:

i. Vagliatura

Si procede con questa prova determinando la distribuzione granulometrica di un campione rappresentativo il terreno in esame. I granuli trattenuti hanno un diametro superiore dell'apertura dell'ultimo setaccio, il n° 200 ASTM, che corrisponde a un diametro dei granuli di 0.075 mm. La normativa standard di riferimento per questa tipologia di prova è l'ASTM D6913.

ii. Sedimentazione (Aerometria)

Per determinare la distribuzione dei granuli con diametro inferiore a 0.075 mm si esegue questa prova che si basa sulla legge di Stokes, che affronteremo più avanti e che è ben descritta nel Capitolo 3. Per queste analisi granulometriche ci si riferisce alla normativa standard di riferimento ASTM D7928.

#### 4.2.2.2.1 Analisi granulometrica per *vagliatura*

Si descrive ora la procedura di vagliatura che si è adottata per il nostro caso studio, secondo la normativa ASTM D6913.

##### **1. Preparazione dei setacci.**

I setacci utilizzati hanno apertura delle maglie, secondo la normativa e in base alla dimensione massima dei nostri provini (*Figura 41*):

- 8.0 mm (setaccio n° 5/6" ASTM)
- 4.0 mm (setaccio n° 5 ASTM)
- 2.8 mm (setaccio n° 7 ASTM)
- 2.0 mm (setaccio n° 10 ASTM)
- 1.0 mm (setaccio n° 18 ASTM)
- 710  $\mu\text{m}$  (setaccio n° 25 ASTM)
- 425  $\mu\text{m}$  (setaccio n° 40 ASTM)
- 250  $\mu\text{m}$  (setaccio n° 60 ASTM)
- 149  $\mu\text{m}$  (setaccio n° 100 ASTM)
- 75  $\mu\text{m}$  (setaccio n° 200 ASTM)



*Figura 41. Alcuni dei setacci ASTM utilizzati.*

## ***2. Preparazione dei provini.***

I provini prelevati in campagna e conservati negli appositi sacchetti sigillati, vengono aperti. Dai campioni si prende una quantità che corrisponde a una massa di circa 200 g, opportunamente pesata e annotata.

Le prove effettuate sono quindici e si rifanno a sei tipologie di litotipi differenti. Per un aspetto di ottimizzazione i campioni rifacenti ai depositi eluvio-colluviali e alla formazione delle Argille Azzurre sono stati opportunamente uniti poiché le caratteristiche granulometriche si ipotizzano simili.

Per lo stesso litotipo, avendo a disposizione tre diversi provini, prelevati a profondità 10, 40 e 70 cm dal piano campagna, si sono eseguite tre differenti analisi granulometriche.

Dunque, i provini su cui effettuare la prova sono riferiti a:

- 1) Depositi alluvionali (provino prelevato a profondità 10 cm dal p.c.)
- 2) Depositi alluvionali (provino prelevato a profondità 40 cm dal p.c.)
- 3) Depositi alluvionali (provino prelevato a profondità 70 cm dal p.c.)
- 4) Depositi eluvio – colluviali / Argille azzurre (provini prelevati a profondità 10 cm dal p.c.)
- 5) Depositi eluvio – colluviali / Argille azzurre (provini prelevati a profondità 40 cm dal p.c.)
- 6) Depositi eluvio – colluviali / Argille azzurre (provini prelevati a profondità 70 cm dal p.c.)
- 7) Formazione a Colombacci (provino prelevato a profondità 10 cm dal p.c.)
- 8) Formazione a Colombacci (provino prelevato a profondità 40 cm dal p.c.)
- 9) Formazione a Colombacci (provino prelevato a profondità 70 cm dal p.c.)
- 10) Depositi di frana (provino prelevato a profondità 10 cm dal p.c.)
- 11) Depositi di frana (provino prelevato a profondità 40 cm dal p.c.)
- 12) Depositi di frana (provino prelevato a profondità 70 cm dal p.c.)

- 13) Formazione gessoso – solfifera (provino prelevato a profondità 10 cm dal p.c.)
- 14) Formazione gessoso – solfifera (provino prelevato a profondità 40 cm dal p.c.)
- 15) Formazione gessoso – solfifera (provino prelevato a profondità 70 cm dal p.c.)

### ***3. Essiccazione dei provini.***

A questo punto, si pesa la tara dei contenitori in alluminio opportunamente numerati in base al tipo di campione e si inseriscono i provini all'interno di essi. Si pesa quindi il peso lordo, che corrisponde al peso della tara più il netto umido del campione, e si inserisce il tutto nella stufa da laboratorio alla temperatura di 105°C per 24 ore.

### ***4. Determinazione della massa secca e del contenuto in acqua.***

Dopo 24 ore, i provini sono pronti per essere tolti dal forno e si può procedere con la pesatura del lordo. Ottenuto questo risultato, è possibile sottraendo la tara ricavare il peso del secco del campione e, quindi, il suo contenuto in acqua (vedi formula [4.0]). Per queste prove il contenuto in acqua non è molto indicativo poiché nel corso delle settimane, anche essendo sigillato, l'acqua è parzialmente evaporata. Questo avvertimento non ci mette in condizioni di preoccupazione, poiché per procedere con la prova è di interesse solamente il peso del secco del campione.

### ***5. Aggiunta di Sodio esametafosfato.***

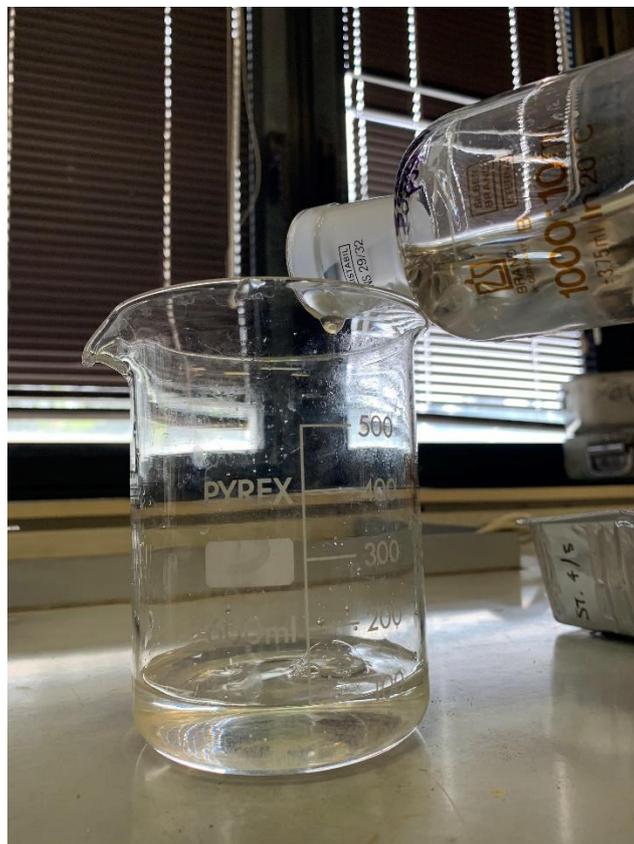
A questo punto, secondo la normativa ASTM D6913, bisogna procedere con la vagliatura del provino al setaccio n° 200 ASTM, con apertura delle maglie di 0.075 mm. Questo setaccio fa infatti da spartiacque tra il materiale grossolano e il fine, e quindi tra l'analisi granulometrica per vagliatura e quella per sedimentazione.

Per fare ciò si procede con una vagliatura in umido: il provino secco è molto addensato e il passaggio attraverso le maglie è difficoltoso. Un altro problema sta nelle

particelle di fine che potrebbero avvolgere e ricoprire i granuli più grandi: questo indurrebbe il problema della vagliatura e la possibilità che particelle con diametro inferiore a 0.075 mm possano essere trattenute al setaccio n° 200 ASTM.

Una soluzione tale problema è procedere con l'aggiunta di un disperdente: si è usato quindi del Sodio esametafosfato ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>), agente chimico descritto nel Paragrafo 4.1.4.

Il dosaggio di tale agente chimico, che permette la separazione di tutte le singole particelle del campione, è di 5 g per litro di acqua aggiunta per la creazione della soluzione (*Figura 42*).



*Figura 42. Preparazione della soluzione di sodio esametafosfato.*

La soluzione è stata preparata e ora ci si accinge a versarla nel recipiente contenente il provino precedentemente essiccato e pesato (*Figura 43*).



Figura 43. Aggiunta della soluzione disperdente sul provino essiccato

Fatto ciò, si aspetta che la soluzione disperda e renda lavorabile il campione. Tale attesa può variare in base alla tipologia di provino. È bene non procedere col passo successivo prima di aver aspettato almeno due ore.

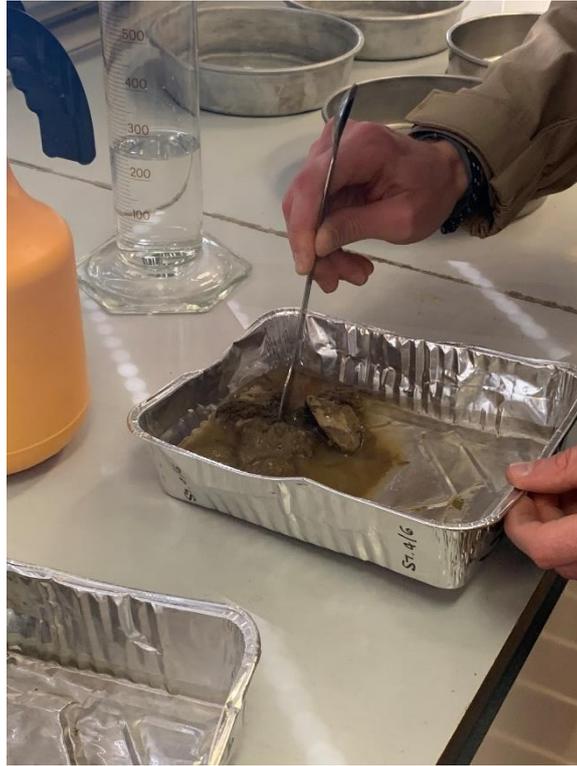
Si procede quindi col la lavorazione del provino (*Figura 44*) che precede la vagliatura: munendosi di spatole da laboratorio (descritte nel Paragrafo 4.1.1) si separano le particelle facendo attenzione a due cose:

- Usare una singola spatola per ogni campione.

Bisogna riporre particolare attenzione a questo avvertimento poiché usare una singola spatola altererebbe la distribuzione granulometrica dei vari campioni per contaminazione di altre particelle appartenenti ad altri campioni.

- Terminata la separazione dei granuli, accertarsi che non vi sia rimasto del materiale sulla spatola.

Evitando di fare ciò si avrebbe una perdita di materiale e una distribuzione granulometrica si attesterà essere differente dalla reale.



*Figura 44. Azione di separazione dei granuli del campione in esame.*

Terminata questa operazione, si arriva a una condizione in cui il campione risulta di consistenza melmosa (*Figura 45*) e risulta essere pronto per la vagliatura in umido al setaccio n° 200 ASTM.



*Figura 45. Provino pronto per la vagliatura al setaccio n° 200 ASTM*

## **6. Vagliatura in umido al setaccio n° 200 ASTM.**

In questo punto viene descritta la vagliatura in umido al setaccio n° 200 ASTM. Essa si fa per scartare il passante, di non interesse per questa prova, secondo la normativa ASTM, e per eseguire un'ulteriore separazione dei granuli procedendo per via umida.

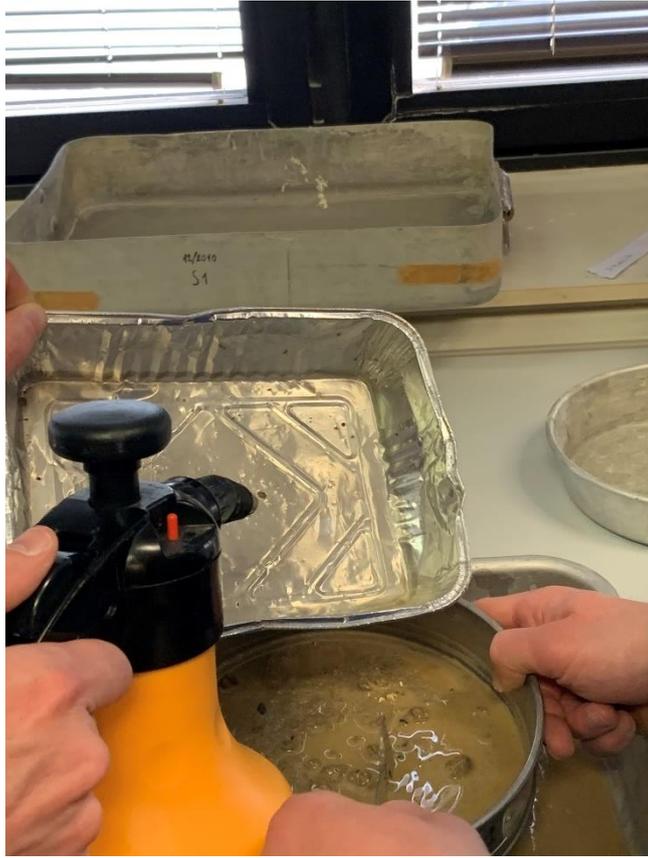
Ci si munisce del setaccio n° 200 ASTM e mediante l'ausilio di acqua distillata contenuta in degli spruzzini, si versa il tutto (*Figura 46 e 47*) nel setaccio e per mezzo delle spatole da laboratorio si fanno passare i granuli con dimensioni inferiori ai 0.075 mm (il fine) attraverso il setaccio (*Figura 48*).

Il passante viene raccolto in grandi contenitori che poi vengono lavati e il materiale all'interno viene scartato poiché non interessa in questa prova.

Si eseguono questi passaggi per tutti i provini e la prova va avanti fino a che non passa più nulla dal setaccio (*Figura 49*) e quindi, quando l'acqua che attraversa lo stesso risulta limpida (*Figura 50*).



*Figura 46. Si versa il tutto nel setaccio n° 200 ASTM*



*Figura 47. Si fa attenzione che tutto il materiale sia stato trasferito al setaccio n° 200 ASTM*



*Figura 48. Con l'ausilio di acqua distillata e delle spatole da laboratorio si effettua la vagliatura*



*Figura 38 Si verifica che l'acqua non trasporti più materiale e che quindi sia limpida per il termine della prova*



*Figura 50. Il trattenuto al setaccio n° 200 ASTM utile per la prova*

Si trasferisce, con l'aiuto di uno spruzzino, il trattenuto al setaccio in un contenitore tarato di alluminio facendo attenzione a non perdere del materiale. Il setaccio deve essere completamente pulito alla conclusione del trasferimento del materiale (*Figura 51*).



*Figura 51. Setaccio n° 200 ASTM senza trattenuto*

### ***7. Essiccazione del trattenuto al setaccio n° 200 ASTM e determinazione del peso secco del trattenuto.***

Trasferito il trattenuto in un contenitore tarato di alluminio, si esegue l'essiccazione in una stufa per 24 ore alla temperatura di 105 °C.

Si pesa quindi il contenitore più il materiale essiccato e si determina per differenza alla tara il peso secco del trattenuto al setaccio n° 200 ASTM. Questo è il peso di riferimento a cui riferirsi in percentuale in massa per i punti successivi.

### 8. Preparazione della pila dei setacci e taratura degli stessi.

Si prendono i setacci descritti nel punto (1), si tarano (*Figura 52*) e si dispongono in pila partendo dal basso dal setaccio con apertura delle maglie più piccola e in ordine crescente si dispongono gli altri l'uno sopra l'altro (*Figura 53*).



*Figura 39 Taratura dei setacci ASTM*



*Figura 53. Un particolare della pila dei setacci ASTM*

### **9. Vagliatura secondo la normativa ASTM D6913.**

Questa fase è fondamentale per una buona esecuzione della prova.

Si prende il trattenuto al setaccio n° 200 ASTM e lo si versa nella pila di setacci a partire da quello da 8.0 mm (*Figura 54*). Questa procedura si effettua per via umida, dunque con l'ausilio di acqua si fanno passare i granuli e il setaccio, contenente il trattenuto, viene tolto. Si ripete la procedura per tutti i setacci sottostanti con apertura delle maglie via via più piccole fino ad arrivare al setaccio n° 200 che, necessariamente, sarà pulito.

A procedura terminata si avranno tutti i setacci con ognuno il suo trattenuto corrispondente all'apertura delle maglie degli stessi (*Figura 55*).



*Figura 54. Momento di inizio vagliatura.*



*Figura 55. I vari setacci col trattenuto umido.*

### ***10. Essiccamento dei trattenuti ai vari setacci e calcolo del peso netto trattenuto.***

I vari setacci, già tarati in precedenza, vengono fatti essiccare nella stufa per 24 ore alla temperatura di 105 °C.

Si tolgono dal forno e a questo punto vengono pesati determinando per differenza il netto trattenuto per ciascun setaccio.

Ora si possono sommare i vari trattenuti secchi e determinare la massa secca del trattenuto al n° 200 ASTM e si verifica che il risultato sia lo stesso di quello descritto in procedura (7).

Fondamentale risulterà, inoltre, il rapporto in massa del trattenuto a ogni setaccio rispetto al totale secco che determinerà poi la percentuale di passante a quell'apertura

della maglia, quindi si potrà predisporre di una curva di distribuzione della dimensione dei granuli del campione, giungendo al compimento dello scopo preposto.

#### 4.2.2.2.2 Analisi granulometrica per *sedimentazione (aerometrie)*

Nelle prossime pagine verranno descritte esaurientemente le procedure per la corretta esecuzione di un'analisi granulometrica tramite sedimentazione (per via umida) secondo la normativa ASTM D7928 per la determinazione della distribuzione granulometrica di un campione, studiando i granuli con diametro inferiore a 0.075 mm e maggiori di 1  $\mu\text{m}$ .

Prima di procedere con la trattazione, è bene ricordare ciò che è già stato trattato nel Capitolo 3 riguardante la legge legata a questa prova, ovvero quella di Stokes (vedi formula [3.0]).

##### **1. Preparazione dei provini.**

Per poter iniziare la prova si prendono circa 100 g di campione per ciascuno dei quindici provini e si tara un contenitore di alluminio, dove viene segnato il litotipo e la profondità di estrazione del provino.

##### **2. Determinazione del contenuto d'acqua.**

Fatto ciò, si determina il contenuto d'acqua e il peso secco come già spiegato nel precedente paragrafo.

##### **3. Vagliatura al setaccio n° 10 ASTM.**

Secondo la normativa ASTM D7928 è bene vagliare il provino al setaccio n° 10 ASTM, ovvero il setaccio con apertura delle maglie corrispondente a 2 mm.

Questa operazione si fa senza l'utilizzo di acqua per praticità: infatti, l'interesse questa volta rimane nel passante al setaccio n° 10 e, utilizzando acqua e per il fatto

che i terreni risultano già con IP abbastanza alto, sicuramente la procedura in via umida risulterebbe più scomoda, come suggerito inoltre dalla normativa.

Una volta determinato il passante, lo si pesa e la procedura termina quando si sono raggiunti almeno i 60 g di massa netta secca.

Si ripete la procedura per tutti i quindici campioni e si ripongono i passanti al setaccio n° 10 ASTM in recipienti di alluminio, come mostrato in *Figura 56*.

A questo punto il trattenuto al setaccio viene scartato.



*Figura 56. A sinistra il recipiente di alluminio numerato con all'interno il passante al setaccio n° 10 ASTM, a destra il setaccio n° 10 ASTM con il trattenuto da scartare*

Ora, spostandosi nel laboratorio di Geotecnica Ambientale dell'Università Politecnica delle Marche, abbiamo preparato la miscela adatta per effettuare la prova.

#### ***4. Aggiunta di Sodio esametafosfato e acqua distillata.***

Dal recipiente in alluminio ora si prendono 60 g di materiale secco trattenuto al setaccio n° 10 ASTM e lo si inserisce in un becher di vetro precedentemente tarato.

Si aggiungono poi 5 g di sodio esametafosfato, come descritto nella procedura ASTM D7928, con lo scopo di disperdere i granuli del campione.

Oltre al sodio esametafosfato, per creare la soluzione adatta all'azione dell'agente chimico, si aggiungono 100 ml di acqua distillata.

A questo punto si mischia il tutto con una spatola da laboratorio e si aspettano almeno 24 ore per far sì che l'agente disperdente faccia il suo lavoro sui granuli del campione.

Una nota importante risulta quella legata alla proprietà igrometrica del sodio: è bene prima dell'utilizzo mettere la quantità pesata di sodio in una campana di vetro o comunque in un essiccatore per eliminare l'umidità contenuta in esso.

#### ***5. Preparazione del cilindro di prova.***

Dopo 24 ore, si prendono i becher contenenti la miscela e li si versano ciascuno in un contenitore metallico (*Figura 57*) evitando di lasciare del materiale nel becher. A seguito delle dimensioni della vasca di immersione, sono state eseguite quattro prove per ciclo.

Il contenitore metallico viene incastrato nell'agitatore meccanico (vedi Paragrafo 4.1.2) che miscela il tutto.

Dopo circa cinque minuti si estrae il contenitore metallico e si versa il tutto nel cilindro di vetro, anch'esso descritto nel Paragrafo 4.1.2. In questa operazione si fa attenzione che tutto il materiale sia trasferito nel cilindro (*Figura 58*).

A questo punto si porta a volume il cilindro con acqua distillata fino a leggere sulla scala graduata 1 litro (*Figura 59*).





Figura 59. Cilindro di vetro portato a volume e pronto per entrare in vasca di sedimentazione.

### **6. Descrizione della prova nella vasca di sedimentazione.**

Si agita, come previsto dalla normativa ASTM D7928, per almeno 10 volte il cilindro ben chiuso e lo si immette rapidamente nella vasca termostatica contenente acqua (*Figura 60*).

È bene, in queste procedure, che un operatore avvii un cronometro al momento esatto del posizionamento del cilindro nella vasca.

In questo momento si inserisce il densimetro 152H (descritto nel Paragrafo 4.1.1) dall'alto del cilindro e lo si fa leggermente ruotare su proprio asse. Si inserisce, ove necessario, alcol isopropilico (vedi Paragrafo 4.1.3) tramite un'apposita siringa da laboratorio per togliere la schiuma generatasi a dopo l'agitazione del cilindro. Le letture si effettuano sull'asta graduata dello stesso: requisito fondamentale per una corretta esecuzione delle letture sono quelli di effettuarle quando il densimetro non

oscilli visivamente sulla verticale e che la lettura stessa venga fatta sul menisco creato sull'asta graduata in vetro del densimetro (secondo la normativa ASTM D7928).

Un altro dato importante da riportare è quello della temperatura. Essa è infatti un parametro fisico che influisce molto sulla prova e quindi si rimedia in parte ponendo il cilindro in una vasca termostatica. L'altra correzione che ci permette di non tenere conto delle differenze di temperatura nel tempo è inserita nel foglio Excel per l'elaborazione dei dati.



*Figura 60. Esecuzione della prova: i cilindri sono disposti nella vasca termostatica per la sedimentazione gravimetrica.*

### ***7. Esecuzione delle letture.***

Le letture si effettuano sul densimetro come descritto nel precedente punto (6).

Esse si effettuano con progressione geometrica nel tempo a partire da 15 s (ASTM D7928).

In *Tabella 2* sono mostrate i tempi in cui è necessario effettuare le letture sul densimetro per ogni prova a partire dal posizionamento del cilindro nella vasca.

<b>Tempi di lettura</b>	<b>Tempo T minuti</b>
15''	0,25
30''	0,50
1'	1
2'	2
4'	4
15'	15
45'	45
2h	120
4h	240
24h	1440
48h	2880

*Tabella 2. Tempi di lettura per le aerometrie.*

Le letture, come le temperature, vengono riportate su un foglio cartaceo. In *Figura 61* è riportato un esempio di foglio tipo.

**ANALISI GRANULOMETRICA CON AEROMETRO A.S.T.M.**

Richiedente:

Indagine :

Sondaggio

Campione

Profondità m.

Granulometria con setacci A.S.T.M. del trattenuto al 200 MESH					DATI PER L' AEROMETRIA															
Set. N.	Diam. mm	Tratten. cum. g	Tratten. cum. %	Pass. P %	Baker n° =															
					Cilindro n°															
					Aerometro n°	1														
					Correzione tot.															
5/8"	16,000				Peso secco	50,00 g														
5/16"	8,000				Peso specifico	g														
4	4,750				DATI DELLA SETACCIATURA  Peso totale iniziale = Peso totale finale = Materiale disperso =															
10	2,000																			
18	1,000																			
40	0,425																			
80	0,180																			
200	0,075																			
FONDO																				
Data	Ora	Tempi di lettura	Tempo T minuti	Letture									Temp. t°	Correz. totale C	Letture corretta	L	K	Diametro D = mm	Passante P %	Passante P' %
		15'	0,25																	
		30'	0,50																	
		1'	1																	
		2'	2																	
		4'	4																	
		15'	15																	
		45'	45																	
		2h	120																	
		4h	240																	
		24h	1440																	
		48h	2880																	

Figura 61. Esempio di foglio per l'analisi granulometrica con aerometro (A.S.T.M.)

### ***8. Vagliatura al setaccio n° 200 ASTM***

Terminata la prova ed effettuate quindi tutte le letture, si estrae il cilindro e si prosegue con la vagliatura per via umida del campione contenuto in esso. La vagliatura è effettuata al setaccio n° 200 ASTM. Prima di fare ciò è opportuno tarare il vaglio.

### ***9. Essiccamento del trattenuto al setaccio n° 200 ASTM e determinazione del peso secco del passante al setaccio n° 200 ASTM.***

Eseguita la vagliatura si ripongono i vari setacci nella stufa di laboratorio alla temperatura di 105 °C per 24 ore.

Dopo aver aspettato un giorno si può procedere alla determinazione del peso lordo del setaccio contenente il secco trattenuto al vaglio n° 200 ASTM. Per differenza, conoscendo la tara del setaccio, è possibile determinare la massa secca del trattenuto al vaglio stesso.

È, però, di interesse determinare il passante a tale setaccio, ovvero il fine: si sottrae perciò alla massa secca totale utilizzata nella prova quella trattenuta al setaccio n° 200 ASTM appena determinata.

### ***10. Determinazione della distribuzione granulometrica del fine.***

Conclusa la prova si può ricavare la distribuzione granulometrica in base alle letture effettuate e alla massa determinata di passante al setaccio n° 200 ASTM e, in merito, verranno mostrati risultati nel prossimo capitolo.

## **4.2.3 Sviluppi ed elaborazioni digitali**

Queste elaborazioni si basano su dei software che permettono, grazie alla loro capacità di calcolo ed elevata precisione, facilitare il lavoro manuale di un operatore (vedi Paragrafo 4.1.3).

Si sono fatti degli usi di questi programmi al fine di eseguire diverse tipologie di indagini che hanno portato a giungere a delle conclusioni mediante i risultati forniti,

che si tratteranno nel prossimo capitolo. Le elaborazioni digitali sono state utilizzate al fine di:

- Digitalizzare sondaggi geognostici della zona di Ancona a partire da un manuale cartaceo (Sciarra et al., 1985).
- Costruzione delle curve di distribuzione granulometrica, sia per vagliatura che per sedimentazione.
- Redazione di carte a partire dai dati ricavati dalle indagini precedenti relative al bacino del Torrente Miano.
- Realizzazione dei grafici adatti a una migliore visualizzazione dei risultati forniti.

#### 4.2.3.1 Digitalizzazione dei sondaggi geognostici della zona di Ancona

Questa procedura ha come scopo il riportare in formato “.pdf” e “.dwg” i sondaggi geognostici riportati in “Censimenti dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano” (Sciarra et al., 1985) relativo alla “Cartografia geologico-tecnica ai fini urbanistici del territorio del comune di Ancona”.

Lo scopo del manuale è quello di descrivere e individuare le caratteristiche geologico – tecniche dei principali litotipi del comune di Ancona.

Per quanto riguarda l’immagazzinamento dei dati, si è utilizzati dei codici contenenti tutte le caratteristiche tecniche di un sondaggio.

I campi scelti per rappresentare i diversi sondaggi sono:

1. *Codice*: indica un campo fondamentale per la ricerca di tale record, elemento caratterizzato da un codice diverso.
2. *Profondità*: descrive la profondità dal p.c. del sondaggio.
3. *Falda*: in caso nel corso del sondaggio fosse ritrovata una superficie piezometrica, essa è stata indicata in questo campo.

4. *Litotipo*: descrive la litologia del terreno investigato e può contenere fino a quattro differenti litotipi.
5. *Parametri geotecnici*: in questo campo viene fatta una descrizione geotecnica mediante dei parametri relativi al litotipo se questi sono presenti.
6. *Note*: si definiscono le proprietà tecniche del sondaggio geognostico.

In tale manuale sono riportati 578 sondaggi geognostici relativi a tavole aerofotogrammetriche 1:10000 suddivise in diverse maglie quadrate di ampiezza 1 km relative al territorio del comune di Ancona.

Il primo campo, quello relativo al codice, fornisce le indicazioni per risalire all'ubicazione di un qualsiasi sondaggio mediante i termini alfanumerici del codice stesso:

- Primo termine: indica il numero di una delle due tavole aerofotogrammetriche 1:10000 del territorio comunale di Ancona.
- Secondo termine: indica le coordinate della maglia quadrata di lato 1 km.
- Terzo termine: riporta il numero del sondaggio ubicato all'interno della maglia.

Con questo lavoro ci si è limitati a digitalizzare la tavola fotogrammetrica 1:10000 numero 2, con particolare attenzione alle maglie:

- |      |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|
| i.   | 3-a |     |     |
| ii.  | 2-b | 3-b | 4-b |
| iii. | 3-c | 4-c | 5-c |
| iv.  | 3-d | 4-d | 5-d |
| v.   | 3-e | 4-e |     |

In *Figura 62* è mostrato un sondaggio con le sue caratteristiche (Sciarra et al., 1985).

Record n. 138  
 CODICE 2,5c,23  
 PROFONDITA 9.20  
 FALDA -5.3 m  
 LITOTIPO\_1 da 0 a 2.0 m - terreno di riporto  
  
 PAR\_GEOTE1 n.r.  
  
 LITOTIPO\_2 da 2.0 a 6.0 m - colluvioni siltose con sabbia  
 PAR\_GEOTE2 pv=1.93 T/mc ; c'=24 KPa ; fi'= 20^; WL=53.1 % ; WP = 21.2 %  
 LITOTIPO\_3 da 6.0 a 9.2 m - argille grigie alterate con calcinelli  
 PAR\_GEOTE3 pv=1.99 t/mc ; c'= 44 KPa ; fi'=17^;WL= 53.6 % ; WP = 20.2 %  
 LITOTIPO\_4 n.r.  
 PAR\_GEOTE4 n.r.  
 NOTE carotaggio continuo a rotazione

Figura 62. Sondaggio ripreso dal manuale "Censimenti dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano" (Sciarra et al., 1985). Particolare del sondaggio numero 138.

Mediante il software Autocad, già descritto nel Paragrafo 4.1.3, a partire dalle caratteristiche riportate in ogni campo di ciascun sondaggio si è realizzata la rappresentazione grafica del sondaggio geognostico stesso.

Esso è raffigurato mediante una colonna stratigrafica (*Figura 63*) riportante a destra di essa i valori di profondità dal piano campagna dei limiti stratigrafici e all'interno di ogni litotipo è riportato un numero indicante quello relativo al proprio nome, citato in legenda (*Figura 64*).

In alto si riportano i valori identificativi del sondaggio come il record, il codice e le note.

RECORD : n. 138  
 CODICE : 2,5c,23  
 NOTE : carotaggio continuo a rotazione

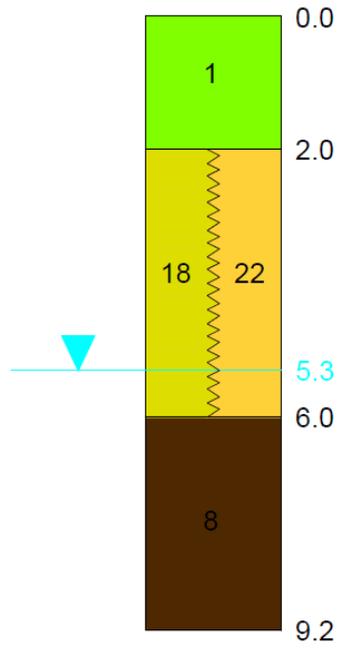


Figura 63. Digitalizzazione di un sondaggio dal manuale “Censimenti dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano” (Sciarra et al., 1985). Particolare della colonna stratigrafica relativa al sondaggio numero 138.

LEGENDA :



Figura 64. Raffigurazione di una parte della legenda dei litotipi presenti nelle colonne stratigrafiche riprese dai sondaggi indicati in “Censimenti dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano” (Sciarra et al., 1985).

#### 4.2.3.2 Costruzione delle curve di distribuzione granulometrica

Una volta eseguite le prove granulometriche descritte al Paragrafo 4.2.2.2, l'obiettivo principale è la determinazione della distribuzione granulometrica.

Essa può essere rappresentata su un grafico dove sull'asse delle  $y$  c'è il passante espresso in percentuale e sull'asse delle  $x$  il logaritmo in base dieci della dimensione dei granuli.

Per diagrammare tali informazioni, si utilizzano fogli Excel in cui si inseriscono i dati ricavati dalle prove granulometriche per setacciatura e per sedimentazione. Inseriti tali dati avremo una curva che descrive le proprietà geometriche del nostro litotipo in termini di granulometria.

Nel prossimo capitolo verranno mostrati i risultati relativi alle distribuzioni granulometriche dei diversi litotipi presenti nel bacino del Torrente Miano.

#### 4.2.3.3 Realizzazione delle carte relative al territorio di Ancona

Le carte realizzate in base alle indagini percorse sono principalmente di tre tipi:

- Carta dello spessore delle coperture della zona comunale di Ancona a partire dai dati ottenuti in campagna e ai dati dei sondaggi geognostici digitalizzati ripresi dal manuale “Censimenti dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano” (Sciarra et al., 1985). Viene inoltre realizzata una sezione in cui viene analizzato lo spessore delle coperture in confronto ai danni subiti dal terremoto di Ancona, 1972.
- Carte isopiezometriche realizzate a partire dai dati puntuali dei pozzi esaminati nel bacino del Torrente Miano.
- Carta geomorfologica aggiornata mediante rilievo geomorfologico del bacino di studio con particolare attenzione ai pendii in frana.

Per la realizzazione di tali carte si ricorre all'utilizzo di due programmi: Excel e ArcGIS.

In Excel vengono realizzati dei fogli contenenti i cosiddetti *metadati*, ovvero dati che possono essere ben letti dal software ArcGIS che ha come base di disegno la cartografia reale.

Il procedimento attuo alla creazione di tali mappe è lo stesso per ogni carta e si realizza su ArcGIS:

1. *Realizzazione di un foglio Excel contenente i metadati*
2. *Esportare i metadati in un file di testo (.txt).*
3. *In ArcGIS, selezionare “Add Data” e aprire il file “.txt”.*
4. *Convertire il file “.txt” in “Shape file puntuale” a partire dalle coordinate del punto.*
5. *Utilizzare il comando “Topo To Raster” per assegnare a ciascun punto il valore nella colonna che indica il soggetto della carta.*
6. *Con il comando “Contour” si realizza il “raster” dello spessore delle coperture.*

#### 4.2.3.4 Realizzazione di grafici a partire dai dati rilevati dalle indagini

Si può descrivere la procedura per la realizzazione di tre tipologie di grafici:

1. *Grafici per la determinazione del coefficiente di permeabilità satura ( $k_{sat}$ ).*

Per la realizzazione di questi grafici si parte dai dati registrati dal trasduttore di pressione durante le prove infiltrometriche, esaustivamente descritte nel Paragrafo 4.2.1.2.

Si collega la sonda a un dispositivo, come ad esempio un pc, e si estrapolano i dati registrati durante la prova. A questo punto si importano i dati in un foglio Excel e si filtrano i dati stessi, eliminando quei dati in cui la sonda non è riuscita a registrare correttamente. Fatto ciò, si individua il particolare momento in cui si è effettuata la prova e si interrogano i dati in quell'intervallo di tempo.

A questo punto basta selezionare la colonna relativa ai dati di pressione assoluta e quella relativa al tempo e creare un grafico a dispersione.

Ora col comando “interpolazione lineare” si cerca di trovare una relazione sotto forma di una retta che mi descriva come varia la pressione con tempo e che, quindi, mi dia la velocità di abbassamento dell’acqua nel terreno. Prendendo infatti l’ultimo tratto della mia curva, corrispondente al terreno saturo, l’interpolazione fornirà l’equazione di una retta ( $y = mx + q$ ) e non resta che controllare l’attendibilità statistica del risultato interrogando il programma con il coefficiente di determinazione  $R^2$ . Questo coefficiente deve essere prossimo all’unità per indicare una buona prova.

Si può ora determinare il coefficiente di permeabilità satura ( $k_{sat}$ ) con una semplice formula geometrica facilmente ricavabile dal grafico. L’unità di misura di tale coefficiente è m/s e corrisponde quindi a una velocità.

## *2. Grafici di temperatura e conducibilità elettrica della falda del bacino del Miano*

I dati di temperatura e di conducibilità elettrica sono ottenuti a partire dal conduttimetro (vedi Paragrafo 4.1.2) utilizzato nelle indagini dei pozzi e quindi della falda nel bacino del Torrente Miano.

Si procede come per la realizzazione dei grafici del punto 1 fino ad arrivare alla creazione di un grafico temperatura – tempo e conducibilità – tempo per ogni pozzo.

## 5. Risultati e discussione

In questo capitolo sono riportati e discussi i risultati ottenuti per mezzo delle indagini eseguite nel territorio comunale di Ancona e più precisamente nell'area di studio del bacino del Torrente Miano.

Viene effettuata una descrizione su base granulometrica dei litotipi studiati e un'esposizione qualitativa delle tavole dei sondaggi geognostici del territorio di Ancona, esplicando il contenuto mediante una carta dello spessore delle coperture.

È, inoltre, condotta un'analisi riguardante il rischio sismico del territorio di Ancona mettendo in relazione lo spessore della copertura con i danneggiamenti dell'evento sismico che colpì il capoluogo nel 1972.

### 5.1 Contenuto d'acqua dei diversi litotipi presenti nel bacino

Si intende riportare nelle prossime tabelle il risultato rispetto al contenuto d'acqua dei litotipi affioranti nel bacino del Torrente Miano a partire dai dati grezzi rilevati in campagna nelle due uscite principali, ovvero a Marzo e a Maggio.

#### 5.1.1 I risultati di Marzo riguardanti il contenuto d'acqua dei litotipi

In *Tabella 1* sono riportati i valori di umidità dei siti indagati durante le indagini percorse per l'effettuazione delle prove infiltrometriche. Il quantitativo d'acqua è riferito a un campione posto a profondità di 20 cm dal piano campagna.

LITOTIPO	LORDO UMIDO	LORDO SECCO	TARA (BARATTOLO)	TARA (VASSOIO)	NETTO UMIDO	NETTO SECCO	CONTENUTO D'ACQUA
/	g	g	g	g	g	g	%
Depositi alluvionali (1/3)	155,72	222,67	14,17	116,69	141,55	105,98	33,56
Depositi alluvionali (2/3)	131,65	209,83	14,02	114,75	117,63	95,08	23,72
Depositi alluvionali (3/3)	144,01	126,43	14,06	19,36	129,95	107,07	21,37
Depositi eluvio - colluviali	176,87	148,97	/	19,69	157,18	129,28	21,58
Formazione a Colombacci	291,39	243,71	/	19,21	272,18	224,5	21,24
Depositi di frana	288,37	228,29	/	18,67	269,7	209,62	28,66
Argille Azzurre	137,07	114,69	/	19,1	117,97	95,59	23,41
Formazione gessoso - solfifera	191,81	174,92	/	19,38	172,43	155,54	10,86

Tabella 1. Risultati relativi al contenuto d'acqua dei litotipi investigati (Marzo 2021).

Sono riportate anche le pesature effettuate nei confronti del provino umido e secco, valori necessari al fine del calcolo del contenuto d'acqua.

Si ricorda, inoltre, la formula utilizzata al calcolo dell'umidità del provino (vedi [4.0]).

### 5.1.2 I risultati di Maggio riguardanti il contenuto d'acqua dei litotipi

In *Tabella 2* sono riportati i valori di umidità dei siti indagati durante le indagini percorse per l'effettuazione delle prove infiltrometriche. Il quantitativo d'acqua è riferito a un campione posto a profondità di 20 cm dal piano campagna. La metodologia rimane la stessa di quella seguita per la determinazione del risultato di Marzo.

LITOTIPO	LORDO UMIDO	LORDO SECCO	TARA (BARATTOLO)	TARA (VASSOIO)	NETTO UMIDO	NETTO SECCO	CONTENUTO D'ACQUA
/	g	g	g	g	g	g	%
Depositi alluvionali (1/3)	110,00	98,60	13,88	19,14	96,12	79,46	20,97
Depositi alluvionali (2/3)	103,10	99,35	13,88	20,00	89,22	79,35	12,44
Depositi alluvionali (3/3)	103,26	97,87	13,88	19,99	89,38	77,88	14,77
Depositi eluvio - colluviali	91,93	84,77	13,88	18,95	78,05	65,82	18,58
Formazione a Colombacci	95,10	94,09	13,88	18,77	81,22	75,32	7,83
Depositi di frana	132,95	123,39	13,88	18,93	119,07	104,46	13,99
Argille Azzurre	134,13	126,42	13,88	19,31	120,25	107,11	12,27
Formazione gessoso - solfifera	68,75	68,83	13,88	18,95	54,87	49,88	10,00

*Tabella 2. Risultati relativi al contenuto d'acqua dei litotipi investigati (Maggio 2021).*

Sono riportate anche le pesature effettuate nei confronti del provino umido e secco, valori necessari al fine del calcolo del contenuto d'acqua.

Si ricorda, inoltre, la formula utilizzata al calcolo dell'umidità del provino (vedi [4.0]).

Si può notare, confrontando *Tabella 1* e *2*, la variazione di umidità che il terreno ha subito per questioni climatiche:

In generale, si evidenzia come il contenuto d'acqua dei provini sia più basso nel mese di Maggio che in quello di Marzo, in accordo con le temperature e le condizioni meteo meno avverse.

In particolare, il campione relativo al litotipo rappresentante la formazione a Colombacci varia di molto il suo contenuto d'acqua e registra il valore più basso nel provino prelevato a Maggio. Esso presentava a Marzo un'umidità del 21,24%, mentre a Maggio del 7.83%.

Ciò è dovuto principalmente alla natura più grossolana della formazione e alla sua permeabilità intrinseca. Un altro fattore riguardante il contenuto d'acqua di questo terreno è la sua tendenza ad avere granuli dalla più bassa superficie specifica, con conseguente minore trattenuta di acqua sotto forma capillare e igroscopica.

## 5.2 Analisi granulometriche dei campioni prelevati nel bacino del Miano

Corpo centrale di questo studio, in questo paragrafo vengono rappresentate e discussi i risultati derivanti le analisi granulometriche descritte nel Paragrafo 4.2.2.2.

Le analisi, come già discusso, sono suddivise in base alla determinazione di fusi riguardanti granuli dalle dimensioni inferiori o superiori di 0.075 mm.

Esse si dividono in:

- Analisi granulometrica per vagliatura.
- Analisi granulometrica per sedimentazione (aerometrie).

### 5.2.1 Realizzazione delle curve granulometriche a partire dalla vagliatura

Si trattano ora le analisi effettuate sui campioni mediante vagliatura. Scopo di queste procedure sono le realizzazioni dei fusi granulometrici.

Vengono ora rappresentati mediante la *Tabella 3* i pesi relativi ai campioni su cui si è effettuata la prova.

LITOTIPO (profondità dal p.c. della testa del provino)	TARA (CONTENITORE)	LORDO UMIDO	LORDO SECCO	NETTO UMIDO	NETTO SECCO
-	g	g	g	g	g
Depositi Alluvionali (10 cm)	18,75	225,31	180,68	206,56	187,81
Depositi Alluvionali (40 cm)	18,24	224	180,25	205,76	187,52
Depositi Alluvionali (70 cm)	18,7	222,81	182,59	204,11	185,41
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (10 cm)	18,64	267,57	235,4	248,93	230,29
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (40 cm)	19,55	223,67	198,5	204,12	184,57
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (70 cm)	19,09	227,45	196,2	208,36	189,27
Formazione a Colombacci (10 cm)	19,33	284,45	202,74	265,12	245,79
Formazione a Colombacci (40 cm)	18,18	228,29	188,12	210,11	191,93
Formazione a Colombacci (70 cm)	18,4	219,15	180,77	200,75	182,35
Depositi di frana (10 cm)	18,62	223,51	160,83	204,89	186,27
Depositi di frana (40 cm)	19,15	227,17	176,12	208,02	188,87
Depositi di frana (70 cm)	19,6	220,62	171,67	201,02	181,42
Formazione gessoso - solfifera (10 cm)	20	231,16	200,48	211,16	191,16
Formazione gessoso - solfifera (40 cm)	19,27	226,82	208,03	207,55	188,28
Formazione gessoso - solfifera (70 cm)	19,23	226,25	207,13	207,02	187,79

Tabella 3. Pesi dei campioni dei vari litotipi.

Come già descritto nel Paragrafo 4.2.2.2.1, si individua il peso secco netto del mio campione.

A questo punto è possibile effettuare la vagliatura mediante la procedura ASTM.

I campioni vengono così suddivisi:

- In base alla litologia
- In base alla profondità di estrazione

Riguardo le Argille Azzurre e i depositi eluvio – colluviali, essi sono stati analizzati insieme per via delle loro caratteristiche granulometriche simili. Stesso discorso per i tre provini appartenenti ai depositi alluvionali che per i quali sono stati uniti in pesi uguali i campioni corrispondenti alla stessa profondità di estrazione.

Nelle prossime *Tablelle (dalla 4 alla 18)* sono mostrati i risultati relativi alla vagliatura per via umida.

- **Depositi alluvionali (10 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>459,88</b>	<b>0,00</b>
<b>4</b>	<b>397,05</b>	<b>398,45</b>	<b>1,40</b>
<b>2,8</b>	<b>438,62</b>	<b>440,21</b>	<b>1,59</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>559,12</b>	<b>0,64</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>456,07</b>	<b>1,30</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>344,8</b>	<b>1,00</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>303,47</b>	<b>1,03</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>286,22</b>	<b>0,98</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>389,79</b>	<b>1,71</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>273,59</b>	<b>3,89</b>
		<b>NETTO SECCO TOTALE</b>	<b>13,54</b>

*Tabella 4. Vagliatura riguardante il campione dei depositi alluvionali (10 cm)*

- **Depositi alluvionali (40 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>459,88</b>	<b>0</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>22,2</b>	<b>1,35</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>21,46</b>	<b>2,36</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>559,81</b>	<b>1,33</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>456,52</b>	<b>1,75</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>344,9</b>	<b>1,1</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>303,79</b>	<b>1,35</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>286,65</b>	<b>1,41</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>390,18</b>	<b>2,1</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>273,75</b>	<b>4,05</b>
		<b>NETTO SECCO TOTALE</b>	<b>16,8</b>

*Tabella 5. Vagliatura riguardante il campione dei depositi alluvionali (40 cm)*

- **Depositi alluvionali (70 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>481,52</b>	<b>1,67</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>512,8</b>	<b>1,05</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>511,21</b>	<b>0,64</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>500,59</b>	<b>0,61</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>462,14</b>	<b>0,68</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>412,75</b>	<b>1,67</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>408,16</b>	<b>0,95</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>399,14</b>	<b>3,22</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>387,16</b>	<b>3,76</b>
		NETTO SECCO TOTALE	14,25

Tabella 6. Vagliatura riguardante il campione dei depositi alluvionali (70 cm)

- **Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (10 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>470,88</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>34,88</b>	<b>14,03</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>27,92</b>	<b>8,82</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>565,26</b>	<b>6,78</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>463,51</b>	<b>8,74</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>347,7</b>	<b>3,9</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>307,07</b>	<b>4,63</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>289</b>	<b>3,76</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>392,23</b>	<b>4,15</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>273,61</b>	<b>3,91</b>
		NETTO SECCO TOTALE	69,72

Tabella 7. Vagliatura riguardante il campione dei depositi eluvio-colluviali / argille azzurre (10 cm)

- **Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (40 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>513,9</b>	<b>34,05</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>520,45</b>	<b>8,70</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>514,19</b>	<b>3,62</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>503</b>	<b>3,02</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>463,85</b>	<b>2,39</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>414,84</b>	<b>3,76</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>409,26</b>	<b>2,05</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>402,71</b>	<b>6,79</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>388,2</b>	<b>4,80</b>
		<b>NETTO SECCO TOTALE</b>	<b>69,18</b>

Tabella 8. Vagliatura riguardante il campione dei depositi eluvio-colluviali / argille azzurre (40 cm)

- **Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (70 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>468,31</b>	<b>8,43</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>28,52</b>	<b>7,67</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>22,1</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>560,19</b>	<b>1,71</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>458</b>	<b>3,23</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>345,55</b>	<b>1,75</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>304,8</b>	<b>2,36</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>287,72</b>	<b>2,48</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>391,23</b>	<b>3,15</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>275,19</b>	<b>5,49</b>
		<b>NETTO SECCO TOTALE</b>	<b>39,27</b>

Tabella 9. Vagliatura riguardante il campione dei depositi eluvio-colluviali / argille azzurre (70 cm)

- **Formazione a Colombacci (10 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>504,71</b>	<b>24,86</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>518,53</b>	<b>6,78</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>513,5</b>	<b>2,93</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>502,26</b>	<b>2,28</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>463,83</b>	<b>2,37</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>415,59</b>	<b>4,51</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>410,23</b>	<b>3,02</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>406,38</b>	<b>10,46</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>392,59</b>	<b>9,19</b>
		NETTO SECCO TOTALE	66,40

Tabella 10. Vagliatura riguardante il campione della formazione a Colombacci (10 cm)

- **Formazione a Colombacci (40 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>475,45</b>	<b>15,57</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>31,04</b>	<b>10,19</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>24,16</b>	<b>5,06</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>563,1</b>	<b>4,62</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>461,32</b>	<b>6,55</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>347,43</b>	<b>3,63</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>306,93</b>	<b>4,49</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>289,96</b>	<b>4,72</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>395,17</b>	<b>7,09</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>279,84</b>	<b>10,14</b>
		NETTO SECCO TOTALE	72,06

Tabella 11. Vagliatura riguardante il campione della formazione a Colombacci (40 cm)

- **Formazione a Colombacci (70 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>506,21</b>	<b>26,36</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>518,89</b>	<b>7,14</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>514,7</b>	<b>4,13</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>503,46</b>	<b>3,48</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>465,32</b>	<b>3,86</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>419,35</b>	<b>8,27</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>411,73</b>	<b>4,52</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>408,04</b>	<b>12,12</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>395,2</b>	<b>11,80</b>
		NETTO SECCO TOTALE	81,68

*Tabella 12. Vagliatura riguardante il campione della formazione a Colombacci (70 cm)*

- **Depositi di frana (10 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>459,88</b>	<b>0</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>22,63</b>	<b>1,78</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>19,74</b>	<b>0,64</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>559,01</b>	<b>0,53</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>455,07</b>	<b>0,3</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>344,28</b>	<b>0,48</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>303,27</b>	<b>0,83</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>286,8</b>	<b>1,56</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>390</b>	<b>1,92</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>272,61</b>	<b>2,91</b>
		NETTO SECCO TOTALE	10,95

*Tabella 13. Vagliatura riguardante il campione dei depositi di frana (10 cm)*

- **Depositi di frana (40 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>490,1</b>	<b>10,25</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>513,8</b>	<b>2,05</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>511,61</b>	<b>1,04</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>500,7</b>	<b>0,72</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>462,2</b>	<b>0,74</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>412,61</b>	<b>1,53</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>407,86</b>	<b>0,65</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>398,63</b>	<b>2,71</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>385,51</b>	<b>2,11</b>
		NETTO SECCO TOTALE	21,80

*Tabella 14. Vagliatura riguardante il campione dei depositi di frana (40 cm)*

- **Depositi di frana (70 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>459,88</b>	<b>0</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>21,24</b>	<b>0,39</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>19,9</b>	<b>0,8</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>559,25</b>	<b>0,77</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>454,91</b>	<b>0,14</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>344,62</b>	<b>0,82</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>304,2</b>	<b>1,76</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>286,84</b>	<b>1,6</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>389,87</b>	<b>1,79</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>273,11</b>	<b>3,41</b>
		NETTO SECCO TOTALE	11,48

*Tabella 15. Vagliatura riguardante il campione dei depositi di frana (70 cm)*

- **Formazione gessoso – solfifera (10 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>496,69</b>	<b>16,84</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>518,88</b>	<b>7,13</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>515,4</b>	<b>4,83</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>504,44</b>	<b>4,46</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>466,28</b>	<b>4,82</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>421,46</b>	<b>10,38</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>412,63</b>	<b>5,42</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>407,28</b>	<b>11,36</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>392,16</b>	<b>8,76</b>
		NETTO SECCO TOTALE	74,00

Tabella 16. Vagliatura riguardante il campione della formazione gessoso – solfifera (10 cm)

- **Formazione gessoso – solfifera (40 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>8</b>	<b>459,88</b>	<b>463,7</b>	<b>3,82</b>
<b>4</b>	<b>20,85</b>	<b>31,08</b>	<b>10,23</b>
<b>2,8</b>	<b>19,1</b>	<b>25,52</b>	<b>6,42</b>
<b>2</b>	<b>558,48</b>	<b>563,3</b>	<b>4,82</b>
<b>1</b>	<b>454,77</b>	<b>463,2</b>	<b>8,43</b>
<b>0,71</b>	<b>343,8</b>	<b>348,65</b>	<b>4,85</b>
<b>0,425</b>	<b>302,44</b>	<b>309,4</b>	<b>6,96</b>
<b>0,25</b>	<b>285,24</b>	<b>291,8</b>	<b>6,56</b>
<b>0,149</b>	<b>388,08</b>	<b>395,7</b>	<b>7,62</b>
<b>0,075</b>	<b>269,7</b>	<b>280,2</b>	<b>10,5</b>
		NETTO SECCO TOTALE	70,21

Tabella 17. Vagliatura riguardante il campione della formazione gessoso – solfifera (40 cm)

- **Formazione gessoso – solfifera (70 cm)**

<b>Dimensione apertura delle maglie del setaccio</b>	<b>Tara</b>	<b>Lordo secco</b>	<b>Netto secco</b>
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
<b>3,36</b>	<b>479,85</b>	<b>488,26</b>	<b>8,41</b>
<b>2</b>	<b>511,75</b>	<b>518,1</b>	<b>6,35</b>
<b>1,4</b>	<b>510,57</b>	<b>514,15</b>	<b>3,58</b>
<b>1</b>	<b>499,98</b>	<b>503,85</b>	<b>3,87</b>
<b>0,71</b>	<b>461,46</b>	<b>465,67</b>	<b>4,21</b>
<b>0,355</b>	<b>411,08</b>	<b>419,86</b>	<b>8,78</b>
<b>0,25</b>	<b>407,21</b>	<b>412,9</b>	<b>5,69</b>
<b>0,125</b>	<b>395,92</b>	<b>409,54</b>	<b>13,62</b>
<b>0,063</b>	<b>383,4</b>	<b>393,14</b>	<b>9,74</b>
		NETTO SECCO TOTALE	64,25

*Tabella 18. Vagliatura riguardante il campione della formazione gessoso – solfifera (70 cm)*

Avendo ora determinato il trattenuto secco totale al setaccio n° 200 ASTM è possibile riferendosi al peso iniziale secco del provino, ricavare il passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e il relativo trattenuto (*Tabella 19*).

LITOTIPO (profondità dal p.c. della testa del provino)	Massa totale (secca)	Massa trattenuta al setaccio n° 200 (secca)	Trattenuto al setaccio n° 200	Passante al setaccio n° 200
-	g	g	%	%
Depositi Alluvionali (10 cm)	187,81	13,54	7,21	92,79
Depositi Alluvionali (40 cm)	187,52	16,8	8,96	91,04
Depositi Alluvionali (70 cm)	185,41	14,25	7,69	92,31
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (10 cm)	230,29	69,72	30,27	69,73
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (40 cm)	184,57	69,18	37,48	62,52
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (70 cm)	189,27	39,27	20,75	79,25
Formazione a Colombacci (10 cm)	245,79	66,4	27,01	72,99
Formazione a Colombacci (40 cm)	191,93	72,06	37,54	62,46
Formazione a Colombacci (70 cm)	182,35	81,68	44,79	55,21
Depositi di frana (10 cm)	186,27	10,95	5,88	94,12
Depositi di frana (40 cm)	188,87	21,8	11,54	88,46
Depositi di frana (70 cm)	181,42	11,48	6,33	93,67
Formazione gessoso - solfifera (10 cm)	191,16	74	38,71	61,29
Formazione gessoso - solfifera (40 cm)	188,28	70,21	37,29	62,71
Formazione gessoso - solfifera (70 cm)	187,79	64,25	34,21	65,79

Tabella 19. Trattenuto e passante al setaccio n° 200 delle varie litologie rappresentate.

Si nota, riferendosi alla *Tabella 19*, come le litologie che presentano una granulometria più grossolana siano la Formazione a Colombacci e la Formazione gessoso – solfifera.

D'altro canto, come si poteva immaginare, i terreni con permeabilità più bassa, ovvero i depositi alluvionali presentano in maggior quantità frazione fine: sono composti al 90 % circa da materiale passante al setaccio n° 200 ASTM, mentre i depositi di frana, con permeabilità più alta in conseguenza al terreno rimaneggiato, hanno un passante che varia con la profondità tra i valori di 88,46 e 94,12%.

Ora si riportano le curve di distribuzione granulometrica (*Figure 1 – 15*) per diametri superiori agli 0.075 mm secondo la SERIE 1 di setacci ASTM, e per diametri superiori a 0.063 mm secondo la SERIE 2 (ASTM) relativamente ai campioni studiati (*Tablelle 20 – 35*).

- **Depositi alluvionali (10 cm)**

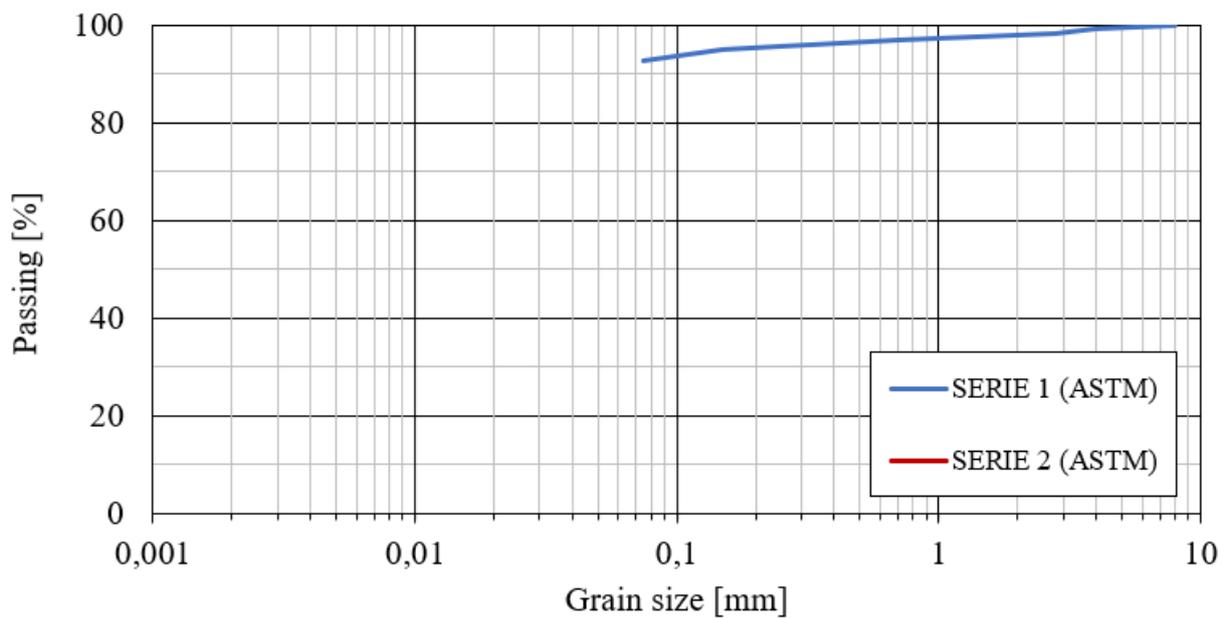


Figura 1. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	100,00
4	99,25
2,8	98,41
2	98,07
1	97,38
0,71	96,84
0,425	96,29
0,25	95,77
0,149	94,86
0,075	92,79

Tabella 20. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi alluvionali (40 cm)*

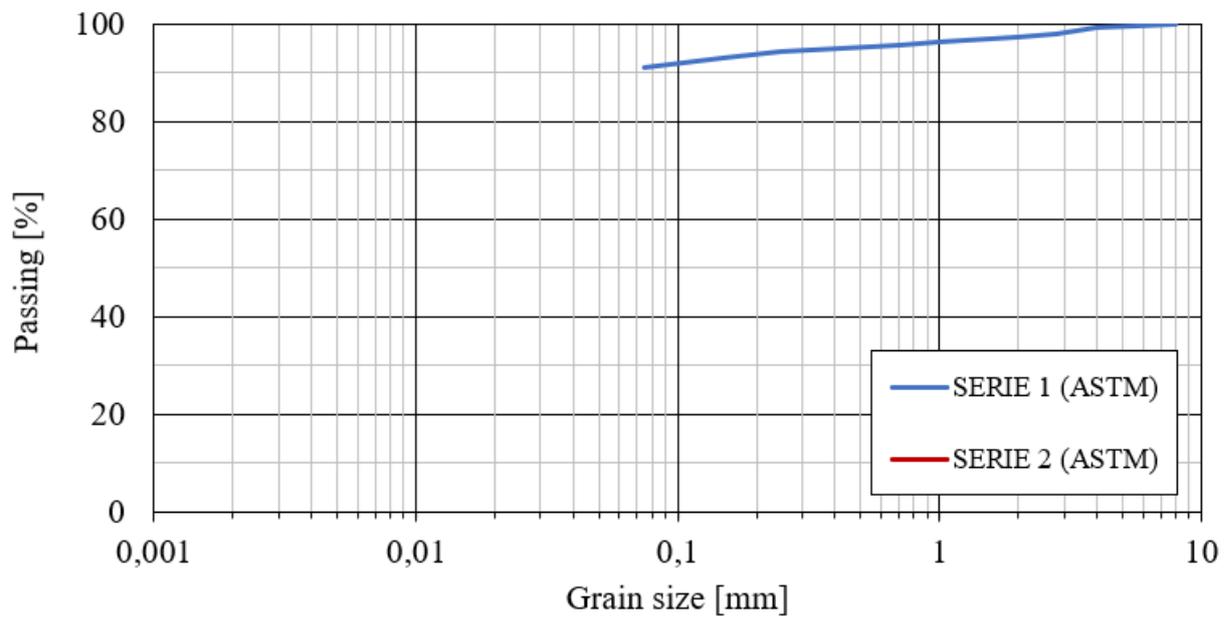


Figura 2. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	100,00
4	99,28
2,8	98,02
2	97,31
1	96,38
0,71	95,79
0,425	95,07
0,25	94,32
0,149	93,20
0,075	91,04

Tabella 21. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi alluvionali (70 cm)*

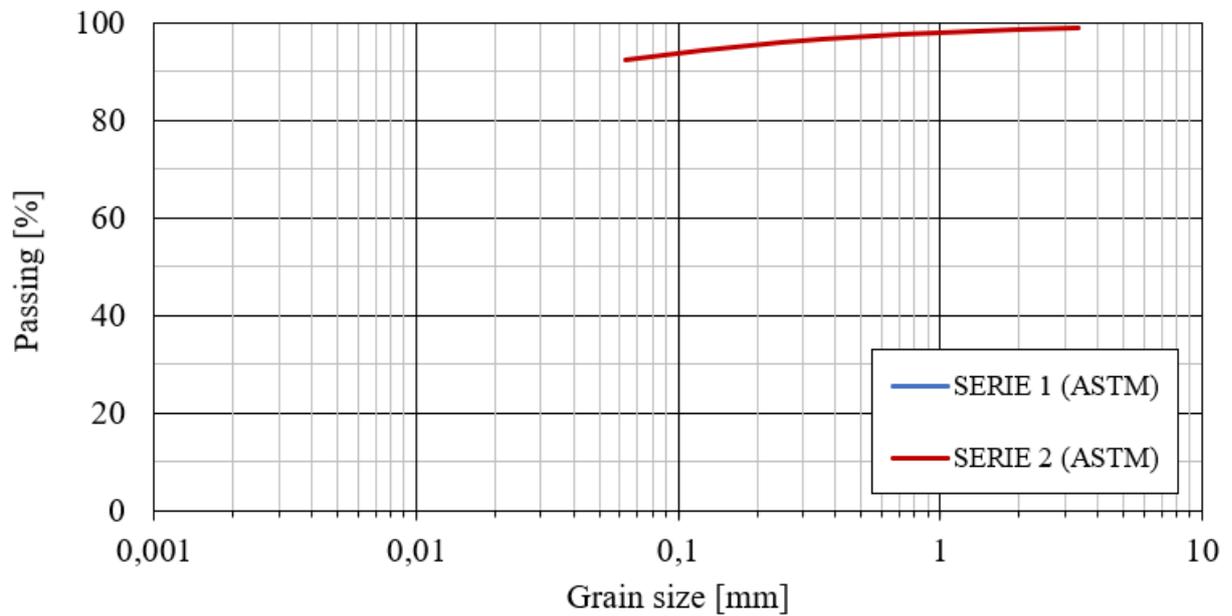


Figura 3. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	99,10
2	98,53
1,4	98,19
1	97,86
0,71	97,49
0,355	96,59
0,25	96,08
0,125	94,34
0,063	92,31

Tabella 22. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (10 cm)*

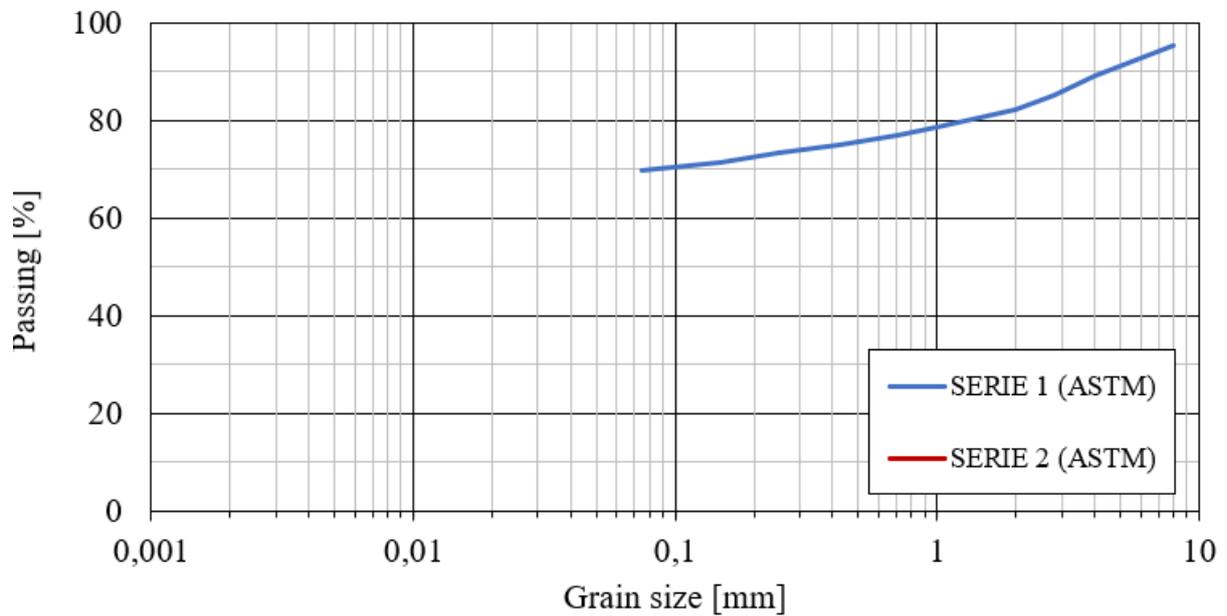


Figura 4. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	95,22
4	89,13
2,8	85,30
2	82,36
1	78,56
0,71	76,87
0,425	74,86
0,25	73,23
0,149	71,42
0,075	69,73

Tabella 23. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (40 cm)*

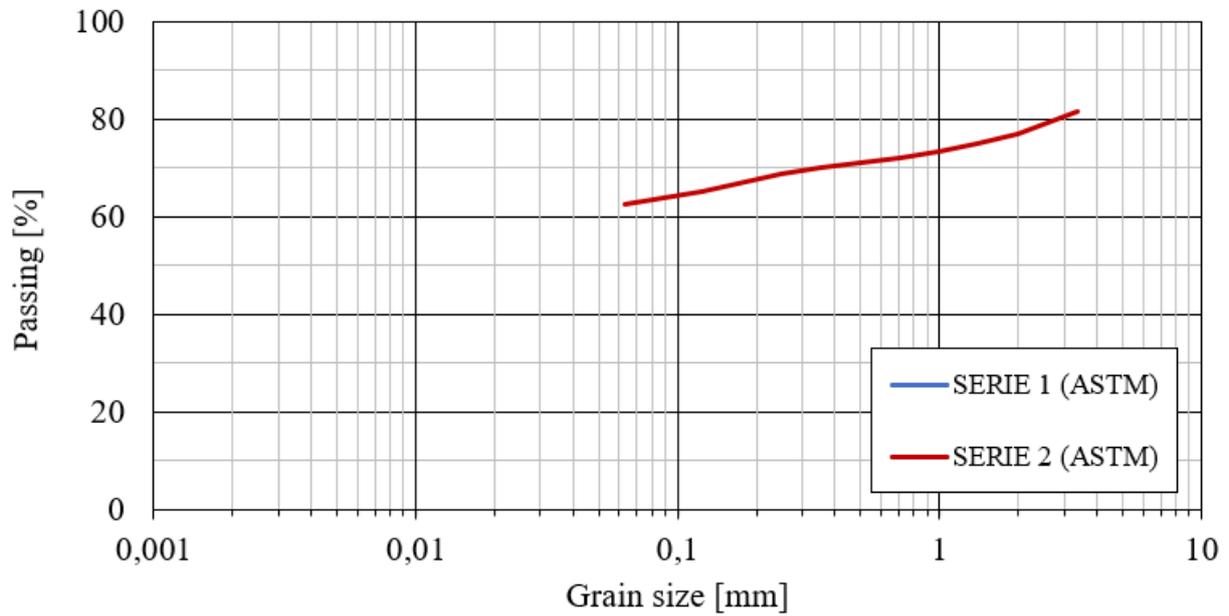


Figura 5. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	81,55
2	76,84
1,4	74,88
1	73,24
0,71	71,95
0,355	69,91
0,25	68,80
0,125	65,12
0,063	62,52

Tabella 24. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (70 cm)*

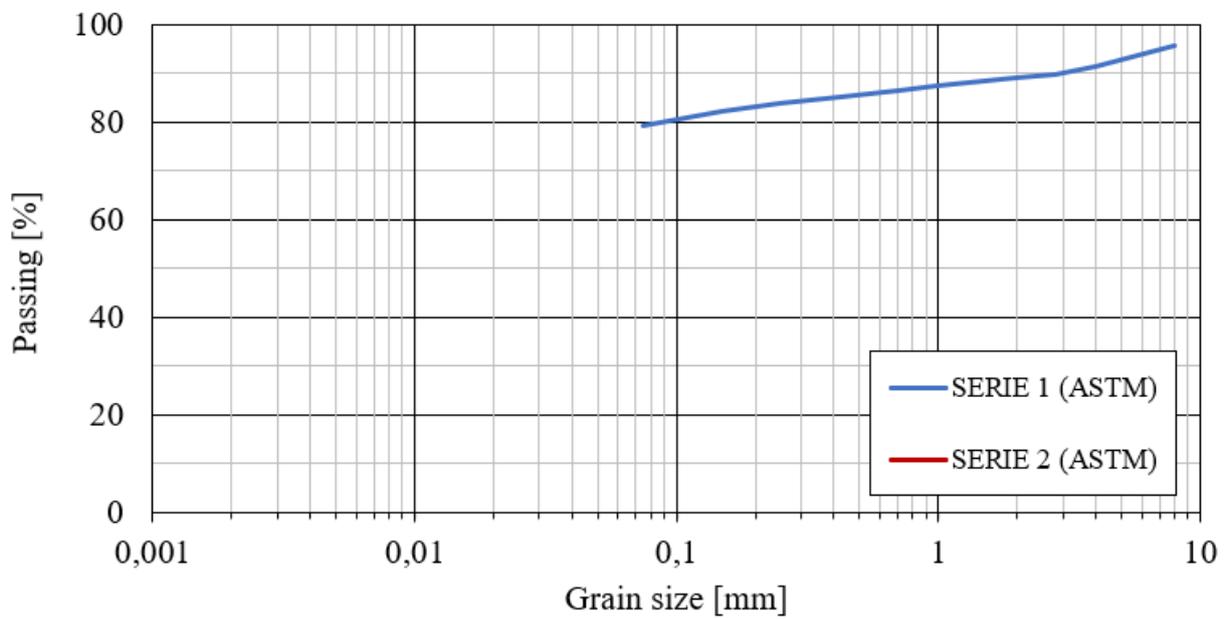


Figura 6. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	95,55
4	91,49
2,8	89,91
2	89,01
1	87,30
0,71	86,37
0,425	85,13
0,25	83,82
0,149	82,15
0,075	79,25

Tabella 25. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Formazione a Colombacci (10 cm)*

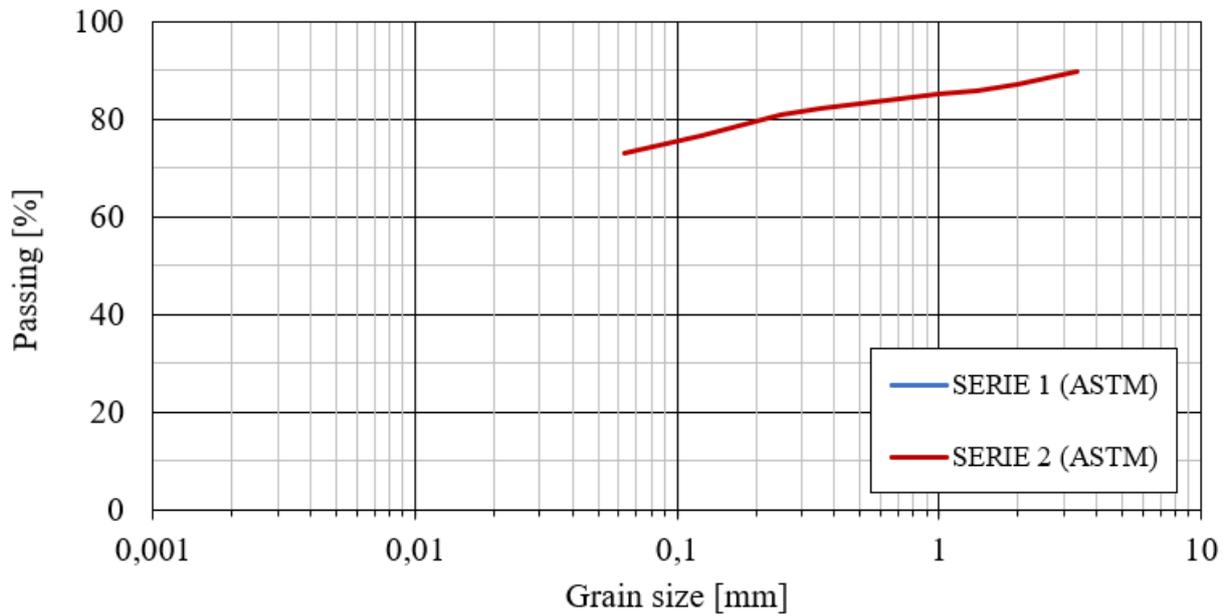


Figura 7. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	89,89
2	87,13
1,4	85,94
1	85,01
0,71	84,04
0,355	82,21
0,25	80,98
0,125	76,72
0,063	72,99

Tabella 26. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Formazione a Colombacci (40 cm)*

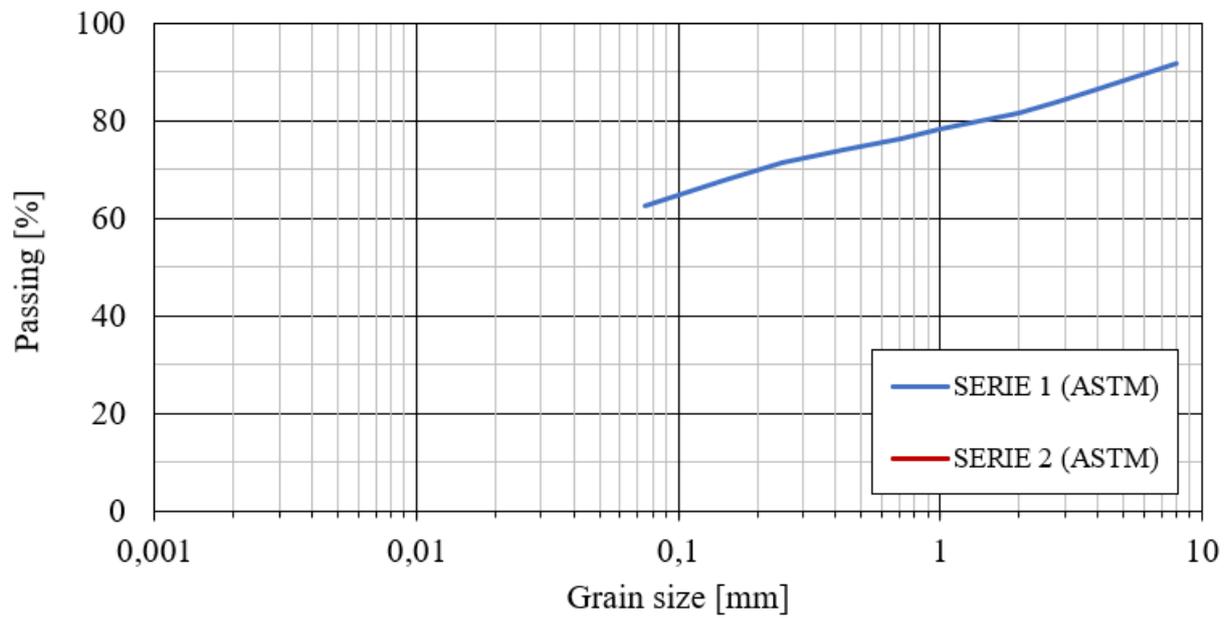


Figura 8. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	91,89
4	86,58
2,8	83,94
2	81,53
1	78,12
0,71	76,23
0,425	73,89
0,25	71,43
0,149	67,74
0,075	62,46

Tabella 27. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Formazione a Colombacci (70 cm)*

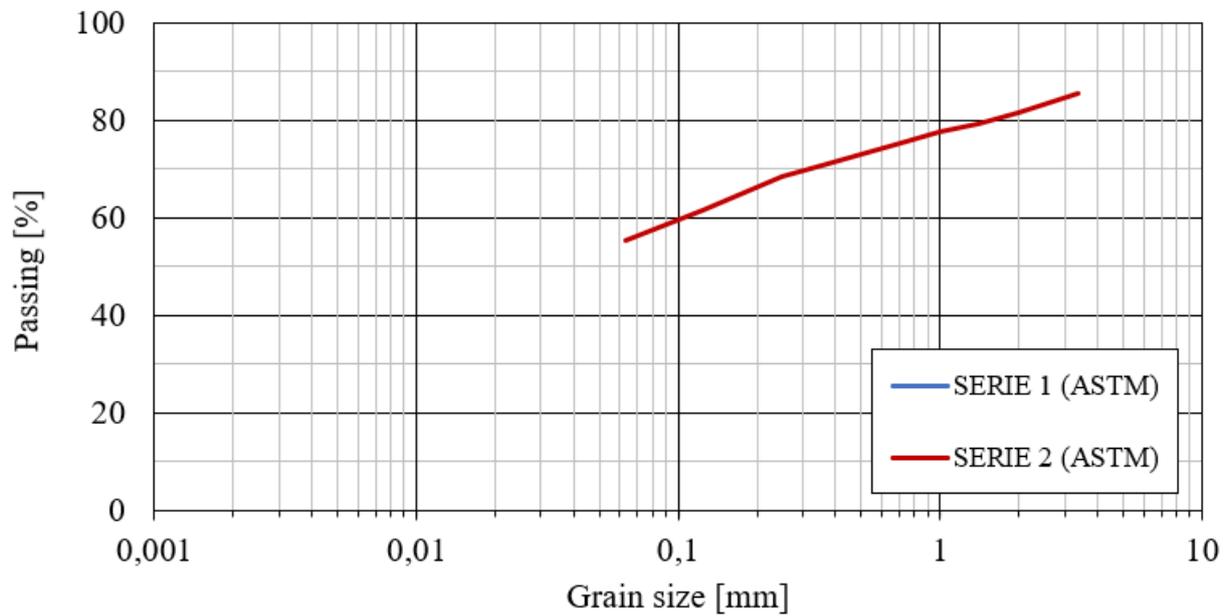


Figura 9. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	85,54
2	81,63
1,4	79,36
1	77,46
0,71	75,34
0,355	70,80
0,25	68,32
0,125	61,68
0,063	55,21

Tabella 28. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi di frana (10 cm)*

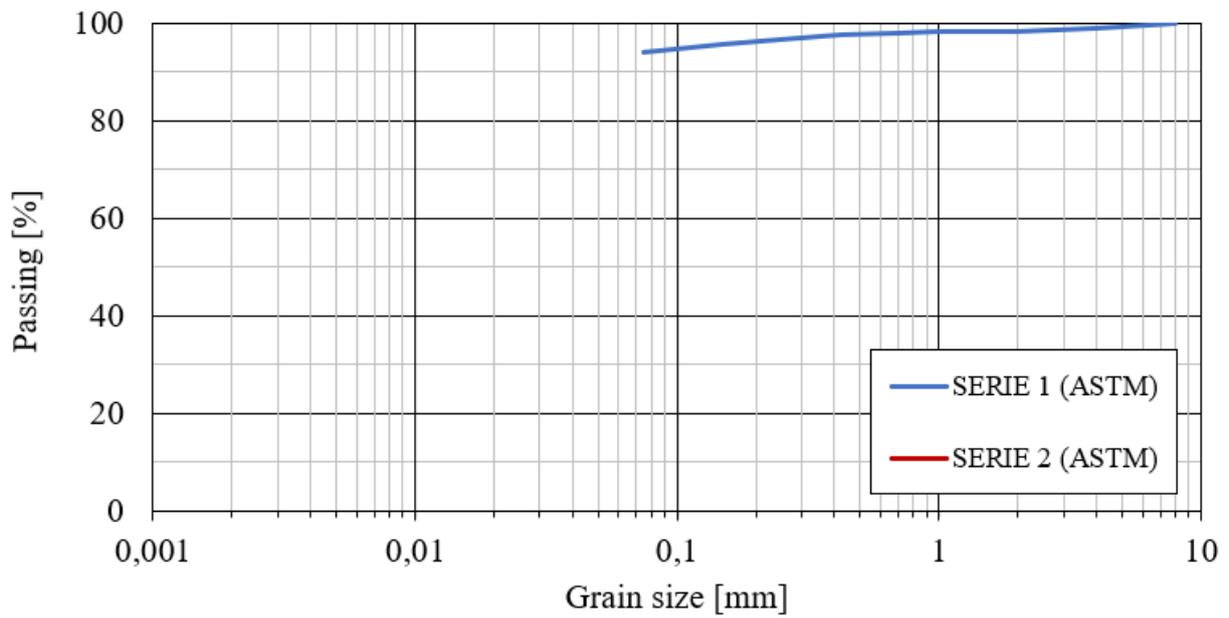


Figura 10. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	100,00
4	99,04
2,8	98,70
2	98,42
1	98,26
0,71	98,00
0,425	97,55
0,25	96,71
0,149	95,68
0,075	94,12

Tabella 29. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi di frana (40 cm)*

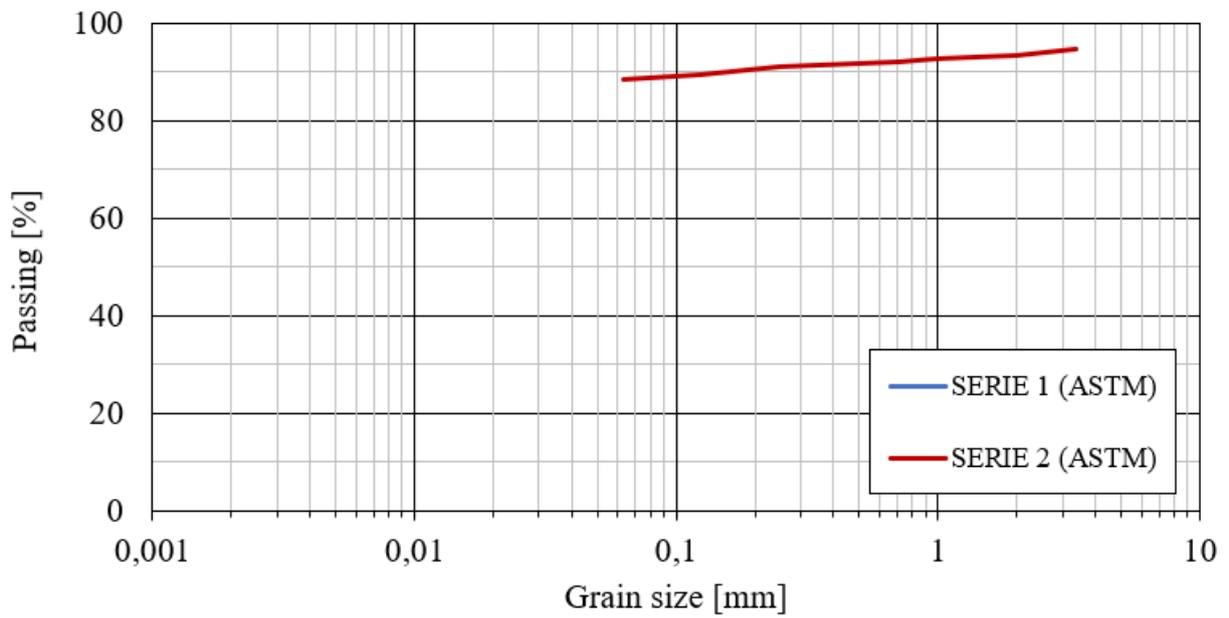


Figura 11. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	94,57
2	93,49
1,4	92,94
1	92,56
0,71	92,16
0,355	91,35
0,25	91,01
0,125	89,57
0,063	88,46

Tabella 30. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Depositi di frana (70 cm)*

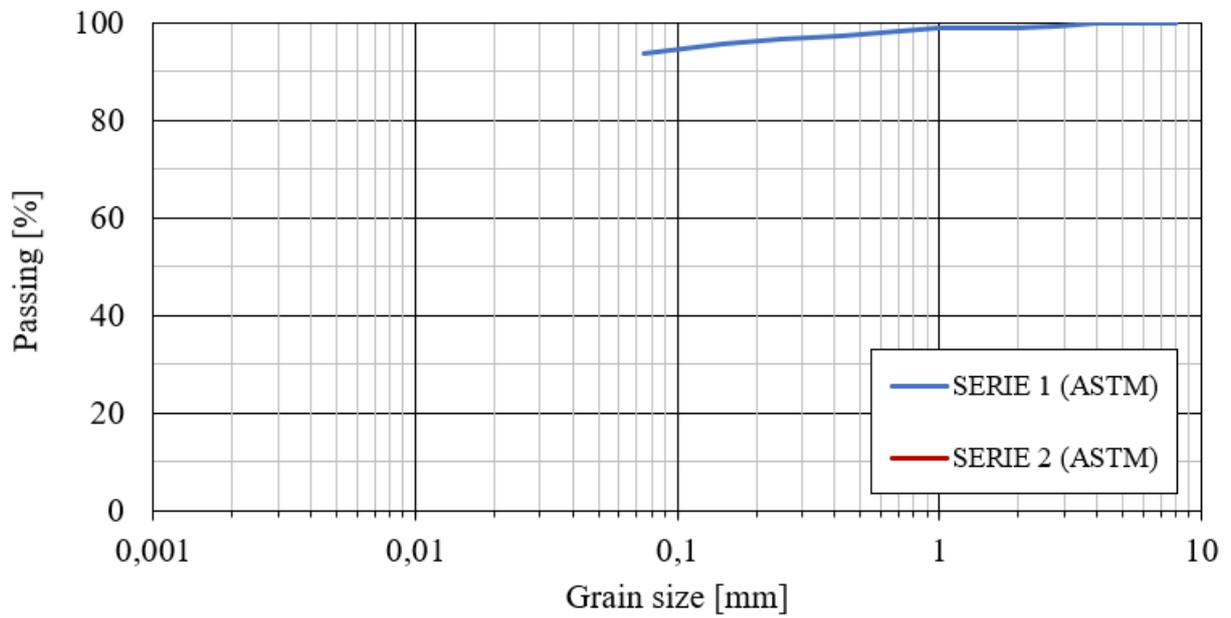


Figura 12. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	100,00
4	99,79
2,8	99,34
2	98,92
1	98,84
0,71	98,39
0,425	97,42
0,25	96,54
0,149	95,55
0,075	93,67

Tabella 31. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Formazione gessoso – solfifera (10 cm)*

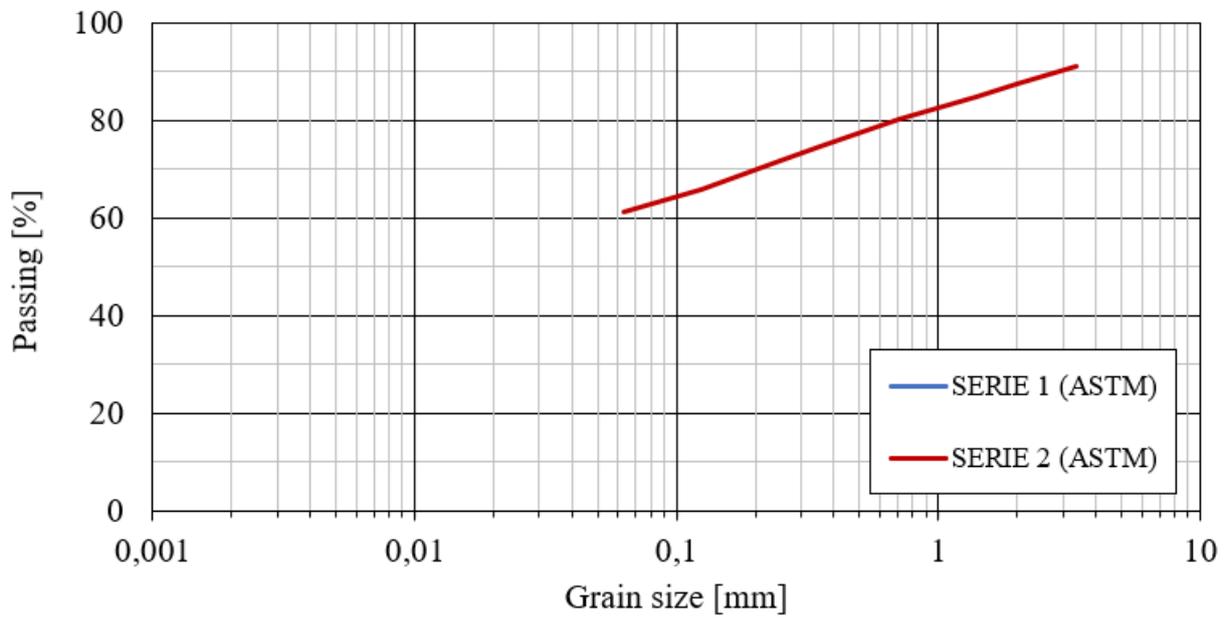


Figura 13. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	91,19
2	87,46
1,4	84,93
1	82,60
0,71	80,08
0,355	74,65
0,25	71,81
0,125	65,87
0,063	61,29

Tabella 32. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Formazione gessoso – solfifera (40 cm)*

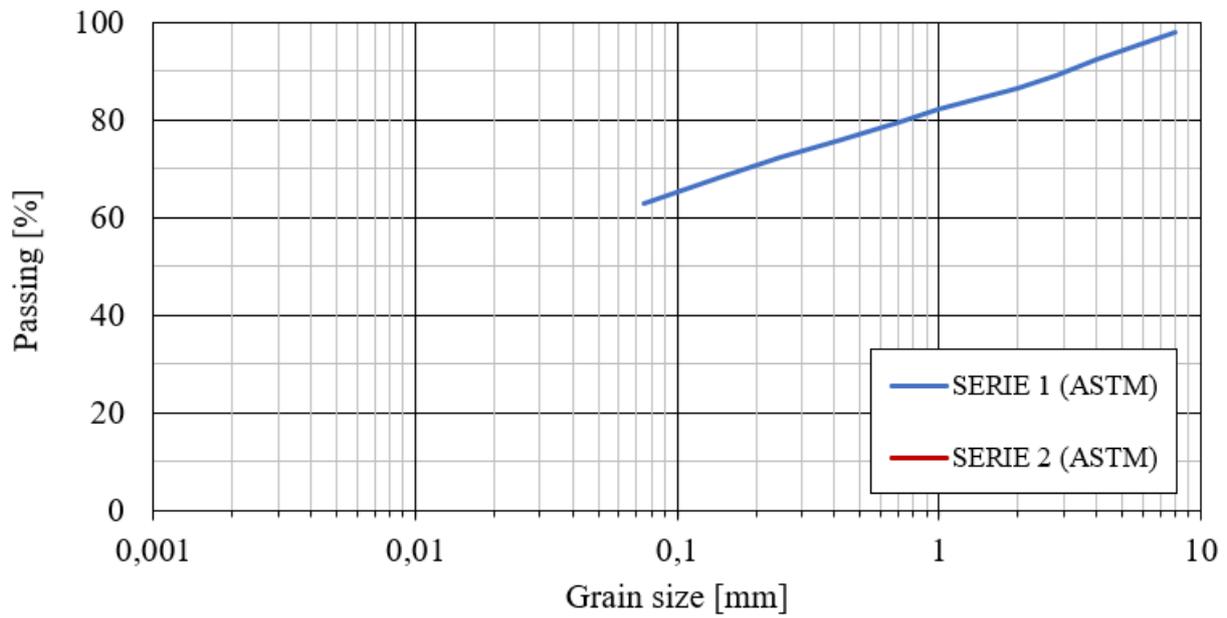


Figura 14. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.075 mm

SERIE 1 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
8	97,97
4	92,54
2,8	89,13
2	86,57
1	82,09
0,71	79,51
0,425	75,82
0,25	72,33
0,149	68,29
0,075	62,71

Tabella 33. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

- *Formazione gessoso – solfifera (70 cm)*

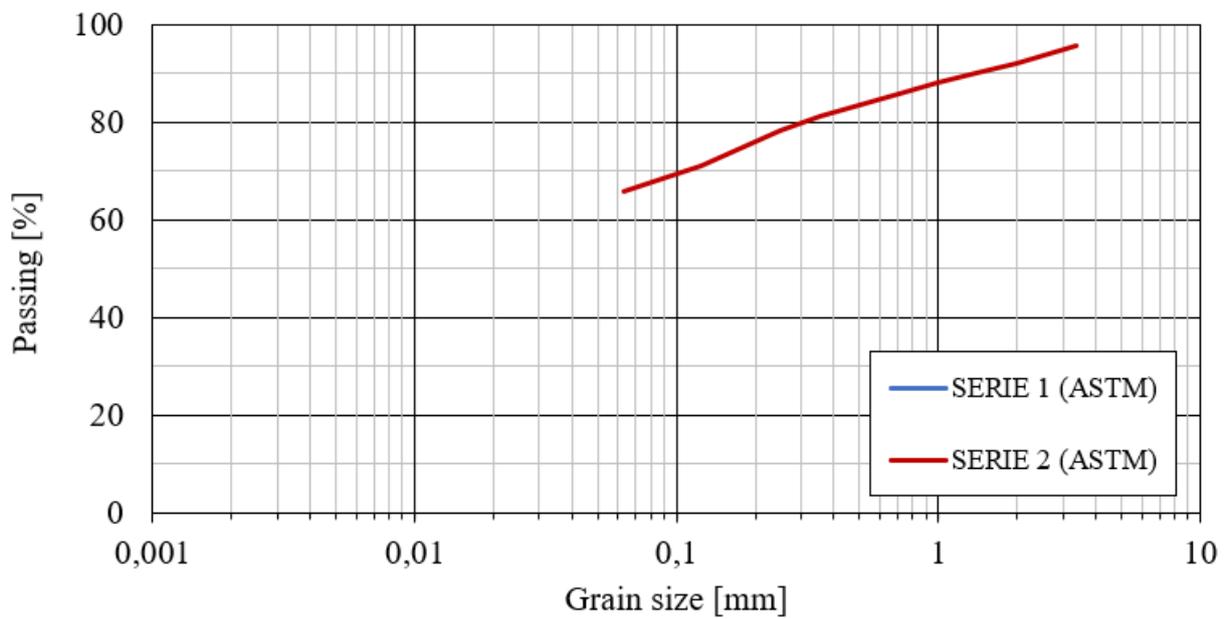


Figura 15. Curva granulometrica per dimensione dei granuli superiori a 0.063 mm

SERIE 2 (ASTM)	
d [mm]	P [%]
3,36	95,52
2	92,14
1,4	90,23
1	88,17
0,71	85,93
0,355	81,26
0,25	78,23
0,125	70,97
0,063	65,79

Tabella 34. Passante (%) al setaccio corrispondente (mm)

Le caratteristiche granulometriche dei litotipi rappresentati dai provini esaminati mediante vagliatura hanno punti in comune tra gli stessi campioni prelevati a profondità diverse e anche confrontando litotipi stessi differenti affioranti nel bacino di studio.

Considerando le curve relative la distribuzione granulometrica della frazione grossolana dei depositi alluvionali (*Figure 1 - 3*), si evidenzia come il campione relativo alla profondità di 10 cm presenti una curva dal passante più elevato di particelle più grossolane rispetto al campione rappresentante lo stesso litotipo prelevato però alla profondità di 40 cm. La pendenza cambia andamento scendendo ancora in profondità: il campione di deposito alluvionale situ in profondità 70 cm dal piano campagna presenta un passante più elevato nell'andamento della curva rispetto al campione prelevato a 40 cm dal p.c.: questo determina una differenza peculiare nell'andamento della curva granulometrica.

La distribuzione granulometrica dei campioni di depositi alluvionali può essere confrontata con quella dei campioni di depositi di frana (*Figure 10 - 12*). Essi sono costituiti dalla maggior quantità di fine, per cui il passante ai setacci della vagliatura sarà sempre superiore di un valore percentuale già di per sé elevato.

In particolare, analizzando i provini di depositi di frana prelevati a differente profondità dal piano campagna (10, 40 e 70 cm), possiamo notare la somiglianza di distribuzione granulometrica del campione più superficiale con quello rispettivo alluvionale: nonostante l'inclinazione piuttosto simile delle due curve, si evidenzia come per il provino del litotipo di deposito di frana il passante sia più elevato, deducendo quindi la maggior quantità di fine costituente questo terreno rispetto a quello alluvionale.

Il campione prelevato a profondità intermedia invece presenta una curva più bassa rispetto a quello analizzato relativamente ai depositi alluvionali. Ciò spiega un quantitativo di fine inferiore.

Le curve granulometriche dei due provini presi a 70 cm dal p.c. sono quasi sovrapponibili e da ciò si può trarre che la distribuzione granulometrica delle particelle aventi diametro superiore a 0.075 mm sia la stessa.

Si prende ora in considerazione la distribuzione granulometrica della Formazione a Colombacci (*Figure 7 – 9*) con la profondità. Essa costituisce, tra i litotipi in esame, la distribuzione con un minore passante al setaccio n° 200 ASTM e perciò il terreno più grossolano.

Si nota bene come con la profondità la curva granulometrica si abbassa presentando sempre la simile inclinazione. Scendendo con la profondità la Formazione a Colombacci, dunque, presenta un terreno sempre più grossolano. In particolare, l'abbassamento è più notevole dal provino prelevato a 10 cm da p.c. e quello prelevato a 40 cm.

L'inclinazione delle curve rappresentanti i litotipi di depositi eluvio – colluviali / Argille (*Figure 4 – 6*) è molto pronunciata soprattutto per dimensioni di granuli superiori agli 1-2 mm: ciò indica come vi sia poco materiale di diametro maggiore a tali valori e di come invece siano presenti più granuli di dimensioni inferiori, indicato dall'appiattimento della curva per codesti diametri.

Infine, analizzando la Formazione gessoso – solfifera (*Figure 13 – 15*), i campioni hanno mostrato una distribuzione granulometrica presentante molti granuli di dimensioni superiori a 0.075 mm, con un'inclinazione delle curve elevata, seconda solo a quella dei provini di formazione a Colombacci. La distribuzione non varia molto con la profondità se non per il campione prelevato a profondità più elevata (70 cm) che presenta un passante complessivo ai vari diametri decisamente più elevato, ma mantenendo comunque la stessa inclinazione.

Come conseguenza, si possono determinare il quantitativo percentuale di ghiaia e quello di sabbia rappresentante il mio provino.

I granuli il cui diametro è compreso tra gli 0,075 mm e i 2 mm sono considerati come sabbia, mentre quelli aventi diametro maggiore di 2 mm sono considerate ghiaie (vedi *Tabelle 36 – 50*).

- *Depositi alluvionali (10 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>7,21</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>1,93</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>5,58</i>

*Tabella 36. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi alluvionali (40 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>8,96</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>2,69</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>6,27</i>

*Tabella 37. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi alluvionali (70 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>7,69</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>1,47</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>6,22</i>

*Tabella 38. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (10 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>30,27</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>17,64</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>12,63</i>

*Tabella 39. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (40 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>37,48</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>23,16</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>14,32</i>

*Tabella 40. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (70 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>20,75</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>11,00</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>9,75</i>

*Tabella 41. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Formazione a Colombacci (10 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>27,01</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>12,87</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>14,14</i>

*Tabella 42. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Formazione a Colombacci (40 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>37,54</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>18,47</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>19,07</i>

*Tabella 43. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Formazione a Colombacci (70 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>44,79</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>18,37</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>26,42</i>

*Tabella 44. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi di frana (10 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>5,88</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>1,58</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>4,30</i>

*Tabella 45. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi di frana (40 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>11,54</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>6,51</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>5,03</i>

*Tabella 46. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Depositi di frana (70 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>6,33</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>1,08</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>5,25</i>

*Tabella 47. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa*

- *Formazione gessoso – solfifera (10 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>38,71</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>12,54</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>26,17</i>

*Tabella 48. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Formazione gessoso – solfifera (40 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>37,29</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>13,43</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>23,86</i>

*Tabella 49. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

- *Formazione gessoso – solfifera (70 cm)*

<i>Coarse</i>	<i>%</i>	<i>34,21</i>
<i>gravel</i>	<i>G %</i>	<i>7,86</i>
<i>sand</i>	<i>S %</i>	<i>26,35</i>

*Tabella 50. Trattenuto percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione ghiaiosa e sabbiosa.*

Si nota come per i depositi alluvionali e per quelli di frana il quantitativo di sabbia (%) rimanga pressoché costante con la profondità anche per le leggere variazioni di trattenuto al setaccio n° 200.

In generale si evidenzia come la componente sabbiosa sia sempre quella principale rispetto a quella ghiaiosa, tranne per i depositi eluvio – colluviali e per le Argille Azzurre, le quali presentano in tutti e tre i provini analizzati una prevalenza di frazione ghiaiosa rispetto a quella sabbiosa.

### 5.2.2 Realizzazione delle curve granulometriche relative a sedimentazione

Per riuscire a definire la distribuzione granulometrica dei granuli con diametro avente dimensione inferiore a 0.075 mm si utilizza l'analisi granulometrica per sedimentazione (vedi Paragrafo 4.2.2.2.2).

Si esegue, dunque, secondo la normativa ASTM la vagliatura al setaccio n° 10 ASTM del provino e si sceglie come massa di riferimento per la prova un valore di massa secca di 60 g.

A questo punto si può proseguire con la procedura di preparazione dell'emulsione contenente il materiale passante al vaglio n° 10 ASTM, acqua e sodio esametafosfato.

Si fanno le letture (sul densimetro 152H e sul termometro per le compensazioni) secondo una frequenza di misurazione in progressione geometrica: Riempendo le caselle in blu di questo foglio di calcolo Excel si possono ricavare gli altri parametri che hanno come valori (vedere le *Tablelle 51 – 65*):

- **Depositi Alluvionali (10 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	58,0	19,9	5,0	7,5	0,0506	85,5
2	1,0	55,0	19,9	5,0	8,0	0,0370	80,6
3	2,0	53,0	19,9	5,0	8,3	0,0267	77,4
4	4,0	50,0	19,9	5,0	8,8	0,0194	72,6
5	15,0	44,0	19,9	5,0	9,8	0,0106	62,9
6	45,0	40,0	19,9	5,0	10,4	0,0063	56,4
7	120,0	35,0	19,9	5,0	11,3	0,0040	48,4
8	240,0	32,0	19,9	5,0	11,8	0,0029	43,5
9	1440,0	24,0	19,7	5,1	13,1	0,0012	30,5
10	2880,0	24,0	20,1	5,0	13,1	0,0009	30,7
11	8640,0	20,0	20,7	4,8	13,7	0,0005	24,6

Tabella 51. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi Alluvionali (40 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	58,0	19,9	5,0	7,5	0,0506	85,5
2	1,0	57,0	19,9	5,0	7,6	0,0362	83,9
3	2,0	55,0	19,9	5,0	8,0	0,0261	80,6
4	4,0	53,0	19,9	5,0	8,3	0,0189	77,4
5	15,0	47,0	19,9	5,0	9,3	0,0103	67,7
6	45,0	42,0	19,9	5,0	10,1	0,0062	59,7
7	120,0	37,0	19,9	5,0	10,9	0,0040	51,6
8	240,0	34,0	19,9	5,0	11,4	0,0029	46,7
9	1440,0	29,0	19,7	5,1	12,3	0,0012	38,6
10	2880,0	27,0	20,1	5,0	12,6	0,0009	35,6
11	8640,0	25,0	20,7	4,8	12,9	0,0005	32,6

Tabella 52. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi Alluvionali (70 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	60,0	19,9	5,0	7,1	0,0495	88,7
2	1,0	57,0	19,9	5,0	7,6	0,0362	83,9
3	2,0	55,0	19,9	5,0	8,0	0,0261	80,6
4	4,0	52,0	19,9	5,0	8,4	0,0191	75,8
5	15,0	46,0	19,9	5,0	9,4	0,0104	66,1
6	45,0	42,0	19,9	5,0	10,1	0,0062	59,7
7	120,0	37,0	19,9	5,0	10,9	0,0040	51,6
8	240,0	35,0	19,9	5,0	11,3	0,0028	48,4
9	1440,0	29,0	19,7	5,1	12,3	0,0012	38,6
10	2880,0	27,0	20,1	5,0	12,6	0,0009	35,6
11	8640,0	26,0	20,7	4,8	12,7	0,0005	34,3

Tabella 53. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (10 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	56,0	19,9	5,0	7,8	0,0491	79,3
2	1,0	54,0	19,9	5,0	8,1	0,0354	76,2
3	2,0	52,0	19,9	5,0	8,4	0,0256	73,1
4	4,0	50,0	19,9	5,0	8,8	0,0184	70,0
5	15,0	45,0	19,9	5,0	9,6	0,0100	62,2
6	45,0	41,0	19,9	5,0	10,3	0,0059	56,0
7	120,0	36,0	19,9	5,0	11,1	0,0038	48,2
8	240,0	33,0	19,9	5,0	11,6	0,0027	43,5
9	1440,0	26,0	19,7	5,1	12,7	0,0012	32,5
10	2880,0	23,0	20,1	5,0	13,2	0,0008	28,1
11	8640,0	20,0	20,7	4,8	13,7	0,0005	23,7

Tabella 54. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (40 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	44,0	20,8	4,7	9,8	0,0580	63,4
2	1,0	43,0	20,8	4,7	9,9	0,0413	61,8
3	2,0	41,0	20,8	4,7	10,3	0,0297	58,5
4	4,0	40,0	20,8	4,7	10,4	0,0212	56,9
5	15,0	33,0	20,8	4,7	11,6	0,0115	45,6
6	45,0	33,0	20,8	4,7	11,6	0,0067	45,6
7	120,0	31,0	21,3	4,6	11,9	0,0041	42,7
8	240,0	27,0	21,3	4,6	12,6	0,0030	36,2
9	1440,0	22,0	21,3	4,6	13,4	0,0013	28,1
10	2880,0	20,0	21,2	4,6	13,7	0,0009	24,9

Tabella 55. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (70 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	40,0	20,8	4,7	10,4	0,0599	56,9
2	1,0	33,0	20,8	4,7	11,6	0,0446	45,6
3	2,0	30,0	20,8	4,7	12,1	0,0322	40,8
4	4,0	29,0	20,8	4,7	12,3	0,0230	39,2
5	15,0	28,0	20,8	4,7	12,4	0,0119	37,5
6	45,0	25,0	20,8	4,7	12,9	0,0070	32,7
7	120,0	22,0	20,8	4,7	13,4	0,0044	27,9
8	240,0	21,0	20,8	4,7	13,6	0,0031	26,2
9	1440,0	17,0	21,3	4,6	14,2	0,0013	20,1
10	2880,0	16,0	21,2	4,6	14,4	0,0009	18,4

Tabella 56. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Formazione a Colombacci (10 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	40,0	20,8	4,7	10,4	0,0635	59,5
2	1,0	39,0	20,8	4,7	10,6	0,0453	57,8
3	2,0	38,0	20,8	4,7	10,8	0,0323	56,1
4	4,0	37,0	20,8	4,7	10,9	0,0230	54,4
5	15,0	33,0	20,8	4,7	11,6	0,0122	47,7
6	45,0	30,0	21,3	4,6	12,1	0,0072	42,9
7	120,0	29,0	21,3	4,6	12,3	0,0044	41,2
8	240,0	25,0	21,3	4,6	12,9	0,0032	34,5
9	1440,0	17,0	21,3	4,6	14,2	0,0014	21,0
10	2880,0	15,0	21,2	4,6	14,6	0,0010	17,5

Tabella 57. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Formazione a Colombacci (40 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	47,0	20,8	4,7	9,3	0,0565	68,2
2	1,0	45,0	20,8	4,7	9,6	0,0406	65,0
3	2,0	44,0	20,8	4,7	9,8	0,0290	63,4
4	4,0	42,0	20,8	4,7	10,1	0,0208	60,1
5	15,0	41,0	20,8	4,7	10,3	0,0108	58,5
6	45,0	36,0	21,3	4,6	11,1	0,0065	50,7
7	120,0	32,0	21,3	4,6	11,8	0,0041	44,3
8	240,0	28,0	21,3	4,6	12,4	0,0030	37,8
9	1440,0	21,0	21,3	4,6	13,6	0,0013	26,5
10	2880,0	19,0	21,2	4,6	13,9	0,0009	23,2

Tabella 58. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Formazione a Colombacci (70 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	41,0	22,5	4,1	10,3	0,0594	59,5
2	1,0	40,0	22,5	4,1	10,4	0,0424	57,9
3	2,0	37,0	22,5	4,1	10,9	0,0307	53,1
4	4,0	35,0	22,5	4,1	11,3	0,0220	49,8
5	15,0	33,0	22,5	4,1	11,6	0,0115	46,6
6	45,0	28,0	22,5	4,1	12,4	0,0069	38,5
7	120,0	23,0	22,3	4,2	13,2	0,0044	30,3
8	240,0	23,0	22,5	4,1	13,2	0,0031	30,5
9	1440,0	18,0	22,1	4,3	14,1	0,0013	22,1
10	2880,0	16,0	22,2	4,2	14,4	0,0009	19,0

Tabella 59. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi di frana (10 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	59,0	22,5	4,1	7,3	0,0501	88,6
2	1,0	57,0	22,5	4,1	7,6	0,0362	85,3
3	2,0	55,0	22,5	4,1	8,0	0,0261	82,1
4	4,0	54,0	22,5	4,1	8,1	0,0187	80,5
5	15,0	50,0	22,5	4,1	8,8	0,0100	74,0
6	45,0	44,0	22,5	4,1	9,8	0,0061	64,4
7	120,0	39,0	22,2	4,2	10,6	0,0039	56,1
8	240,0	34,0	22,1	4,3	11,4	0,0029	48,0
9	1440,0	27,0	22,1	4,3	12,6	0,0012	36,7
10	2880,0	25,0	22,2	4,2	12,9	0,0009	33,5

Tabella 60. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi di frana (40 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	56,0	22,5	4,1	7,8	0,0517	83,7
2	1,0	55,0	22,5	4,1	8,0	0,0370	82,1
3	2,0	52,0	22,5	4,1	8,4	0,0270	77,3
4	4,0	50,0	22,5	4,1	8,8	0,0194	74,0
5	15,0	47,0	22,5	4,1	9,3	0,0103	69,2
6	45,0	40,0	22,5	4,1	10,4	0,0063	57,9
7	120,0	34,0	22,2	4,2	11,4	0,0040	48,0
8	240,0	31,0	22,1	4,3	11,9	0,0029	43,1
9	1440,0	24,0	22,1	4,3	13,1	0,0012	31,8
10	2880,0	22,0	22,2	4,2	13,4	0,0009	28,7

Tabella 61. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Depositi di frana (70 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	56,0	22,5	4,1	7,8	0,0517	83,7
2	1,0	55,0	22,5	4,1	8,0	0,0370	82,1
3	2,0	53,0	22,5	4,1	8,3	0,0267	78,9
4	4,0	52,0	22,5	4,1	8,4	0,0191	77,3
5	15,0	49,0	22,5	4,1	8,9	0,0101	72,4
6	45,0	44,0	22,5	4,1	9,8	0,0061	64,4
7	120,0	38,0	22,2	4,2	10,8	0,0039	54,5
8	240,0	34,0	22,1	4,3	11,4	0,0029	48,0
9	1440,0	29,0	22,1	4,3	12,3	0,0012	39,9
10	2880,0	29,0	22,2	4,2	12,3	0,0009	40,0

Tabella 62. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Formazione gessoso - solfifera (10 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	45,0	22,2	4,2	9,6	0,0575	65,8
2	1,0	41,0	22,2	4,2	10,3	0,0420	59,3
3	2,0	39,0	22,2	4,2	10,6	0,0302	56,1
4	4,0	38,0	22,2	4,2	10,8	0,0215	54,5
5	15,0	34,0	22,2	4,2	11,4	0,0114	48,0
6	45,0	31,0	22,2	4,2	11,9	0,0067	43,2
7	120,0	27,0	22,1	4,3	12,6	0,0042	36,7
8	240,0	23,0	22,1	4,3	13,2	0,0031	30,2
9	1440,0	17,0	22,4	4,2	14,2	0,0013	20,7
10	2880,0	15,0	22,1	4,3	14,6	0,0009	17,3
11	8640,0	8,0	22,7	4,1	15,7	0,0006	6,4

Tabella 63. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Formazione gessoso - solfifera (40 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	46,0	22,2	4,2	9,4	0,0570	67,4
2	1,0	44,0	22,2	4,2	9,8	0,0410	64,2
3	2,0	43,0	22,2	4,2	9,9	0,0292	62,6
4	4,0	41,0	22,2	4,2	10,3	0,0210	59,3
5	15,0	39,0	22,2	4,2	10,6	0,0110	56,1
6	45,0	34,0	22,2	4,2	11,4	0,0066	48,0
7	120,0	31,0	22,1	4,3	11,9	0,0041	43,1
8	240,0	27,0	22,1	4,3	12,6	0,0030	36,7
9	1440,0	20,0	22,4	4,2	13,7	0,0013	25,6
10	2880,0	18,0	22,1	4,3	14,1	0,0009	22,1
11	8640,0	14,0	22,7	4,1	14,7	0,0005	16,0

Tabella 64. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

- **Formazione gessoso - solfifera (70 cm)**

152H							
Reading number during sedimentatio test	Elapsed time	Hydrometer reading	Temperature	152H hydrometer offset at reading m	Effective depth	Maximum particle diameter in suspension	Mass percent finer
m	time <sub>m</sub> (min)	r <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> (°C)	r <sub>d,m</sub> (g/L)	H <sub>m</sub> (cm)	D <sub>m</sub> (mm)	N <sub>m</sub> (%)
1	0,50	45,0	22,2	4,2	9,6	0,0575	65,8
2	1,0	42,0	22,2	4,2	10,1	0,0417	60,9
3	2,0	41,0	22,2	4,2	10,3	0,0297	59,3
4	4,0	40,0	22,2	4,2	10,4	0,0212	57,7
5	15,0	36,0	22,2	4,2	11,1	0,0113	51,3
6	45,0	33,0	22,2	4,2	11,6	0,0067	46,4
7	120,0	28,0	22,1	4,3	12,4	0,0042	38,3
8	240,0	25,0	22,1	4,3	12,9	0,0030	33,4
9	1440,0	20,0	22,4	4,2	13,7	0,0013	25,6
10	2880,0	17,0	22,1	4,3	14,2	0,0009	20,5
11	8640,0	13,0	22,7	4,1	14,9	0,0005	14,4

Tabella 65. Foglio di calcolo Excel sulle aerometrie

Ora, avendo immesso i dati necessari, per determinare il fuso granulometrico resta da ricavare, mediante una vagliatura al setaccio n° 200 ASTM, la massa passante secca (Tabella 66).

LITOTIPO (profondità dal p.c. della testa del provino)	Tara	Massa lorda secca passante al setaccio n° 200	Massa secca passante al setaccio n° 200
-	g	g	g
Depositi Alluvionali (10 cm)	358,24	363,36	5,12
Depositi Alluvionali (40 cm)	256,84	264,11	7,27
Depositi Alluvionali (70 cm)	482,91	486,65	3,74
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (10 cm)	445,7	456,31	10,61
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (40 cm)	289,01	309,19	20,18
Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (70 cm)	282,3	302,01	19,71
Formazione a Colombacci (10 cm)	390,02	413,53	23,51
Formazione a Colombacci (40 cm)	383,45	401,23	17,78
Formazione a Colombacci (70 cm)	384,05	408,39	24,34
Depositi di frana (10 cm)	275,87	280,7	4,83
Depositi di frana (40 cm)	387,96	396,2	8,24
Depositi di frana (70 cm)	285,87	293,66	7,79
Formazione gessoso - solfifera (10 cm)	273,4	290	16,6
Formazione gessoso - solfifera (40 cm)	393,25	407,25	14
Formazione gessoso - solfifera (70 cm)	403,18	420,83	17,65

Tabella 66. Vagliatura al setaccio n° 200 ASTM e determinazione della massa secca passante a tale setaccio.

Si inseriscono tali dati nel foglio di calcolo e si determinano le curve granulometriche del fine per ogni litotipo presente nel bacino (Figura 16 - 30).

Curva granulometrica relativa al provino rappresentante:

- **Depositi Alluvionali (10 cm)**

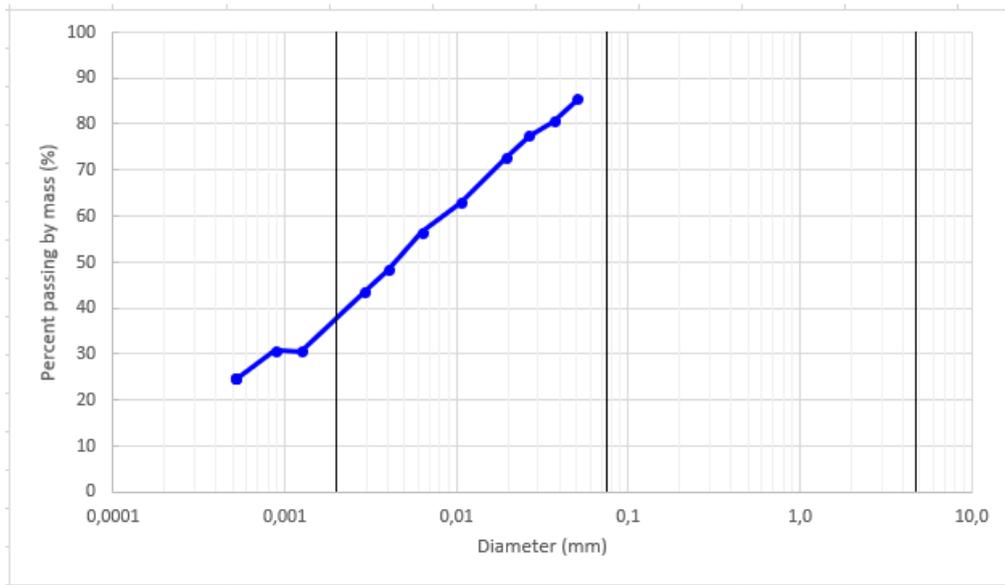


Figura 16. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi Alluvionali (40 cm)**

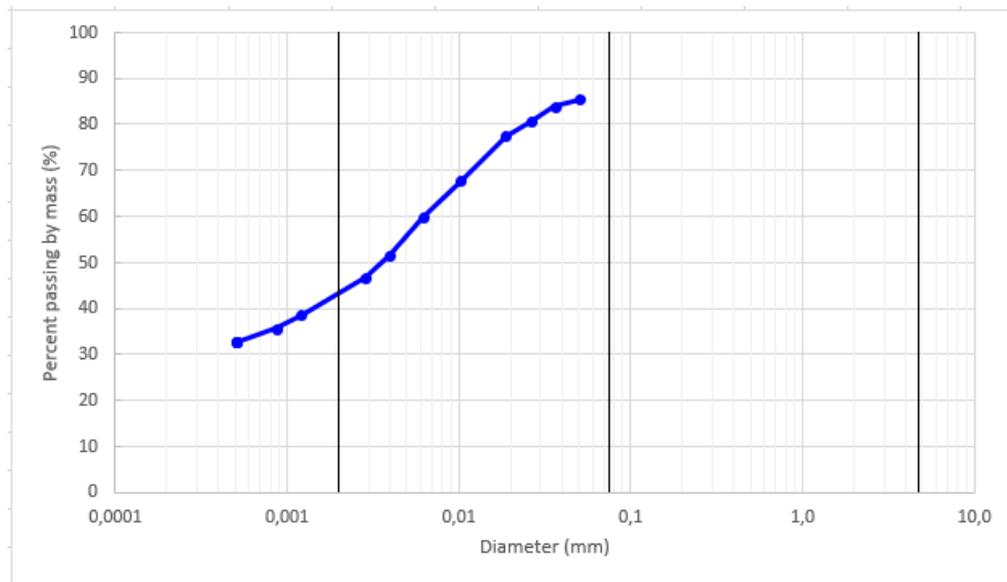


Figura 17. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi Alluvionali (70 cm)**

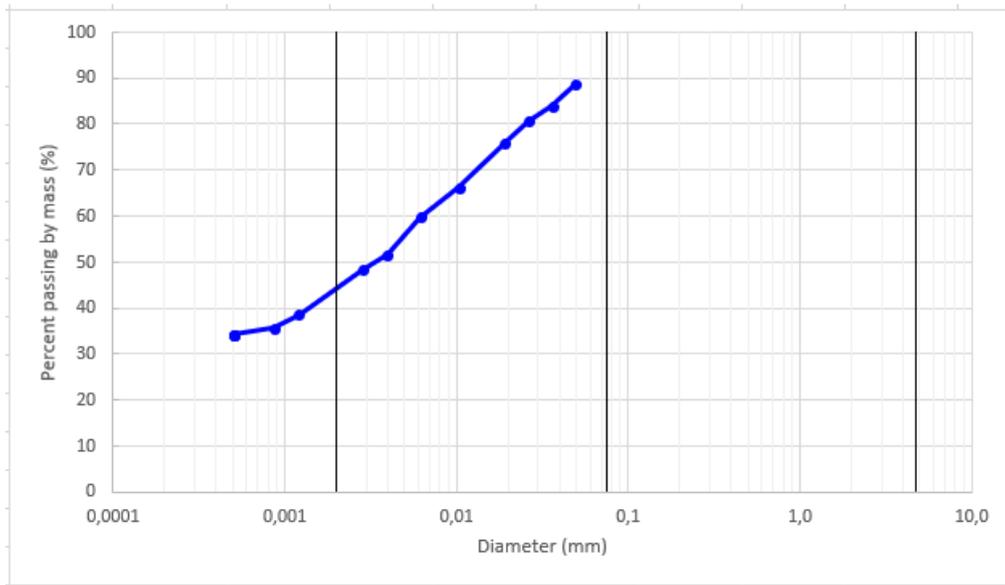


Figura 18. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (10 cm)**

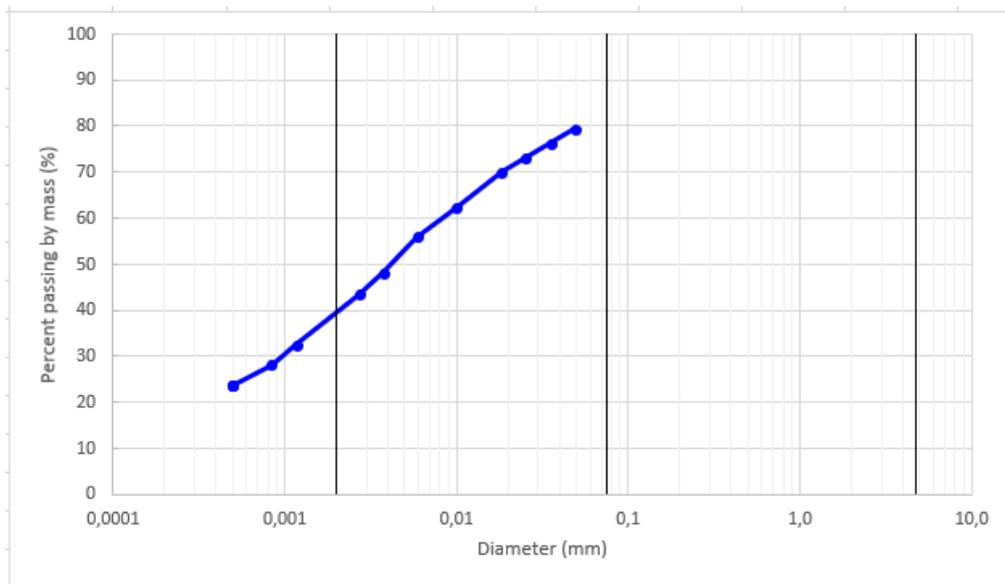


Figura 19. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (40 cm)**

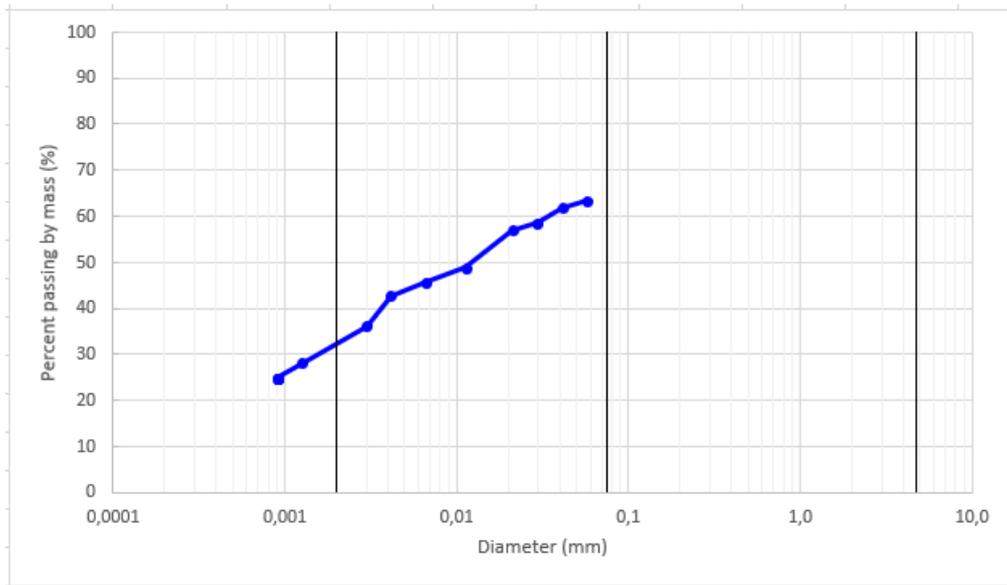


Figura 20. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (70 cm)**

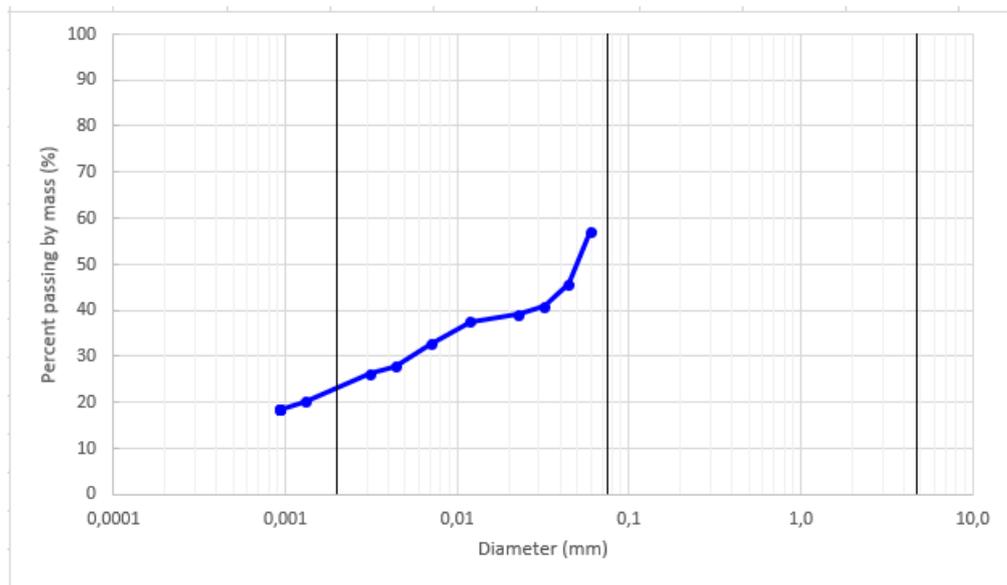


Figura 21. Distribuzione granulometrica del fine

- **Formazione a Colombacci (10 cm)**

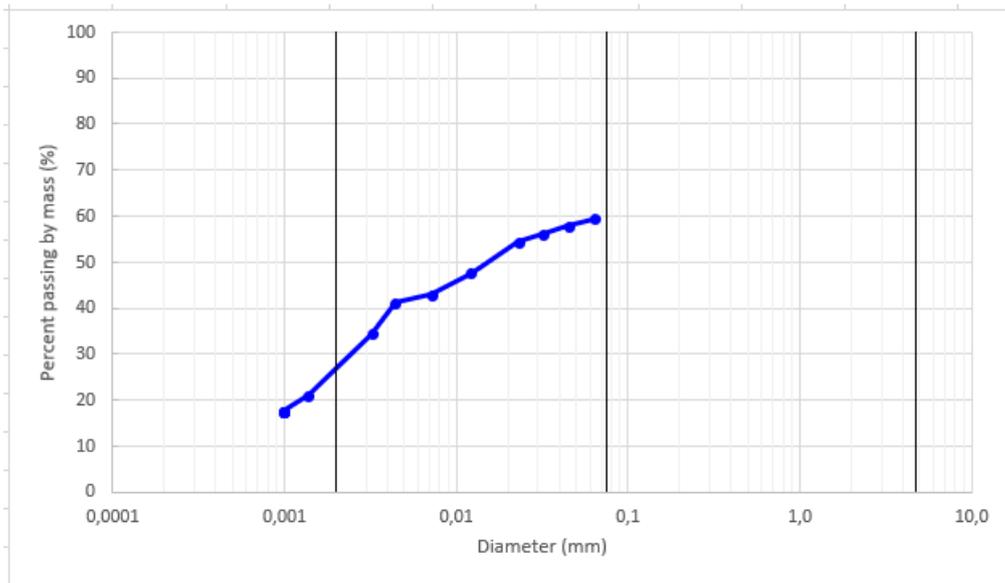


Figura 22. Distribuzione granulometrica del fine

- **Formazione a Colombacci (40 cm)**

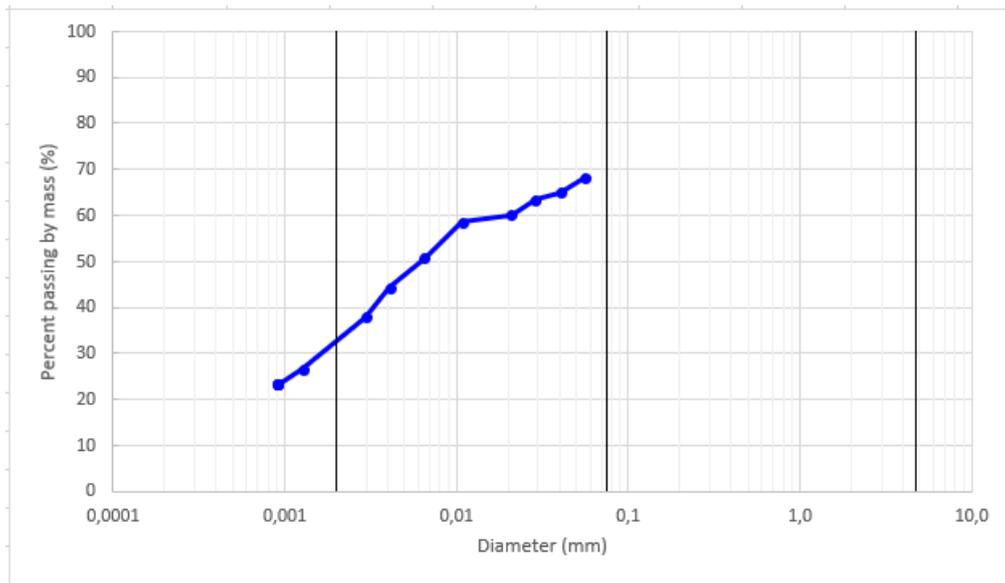


Figura 23. Distribuzione granulometrica del fine

- **Formazione a Colombacci (70 cm)**

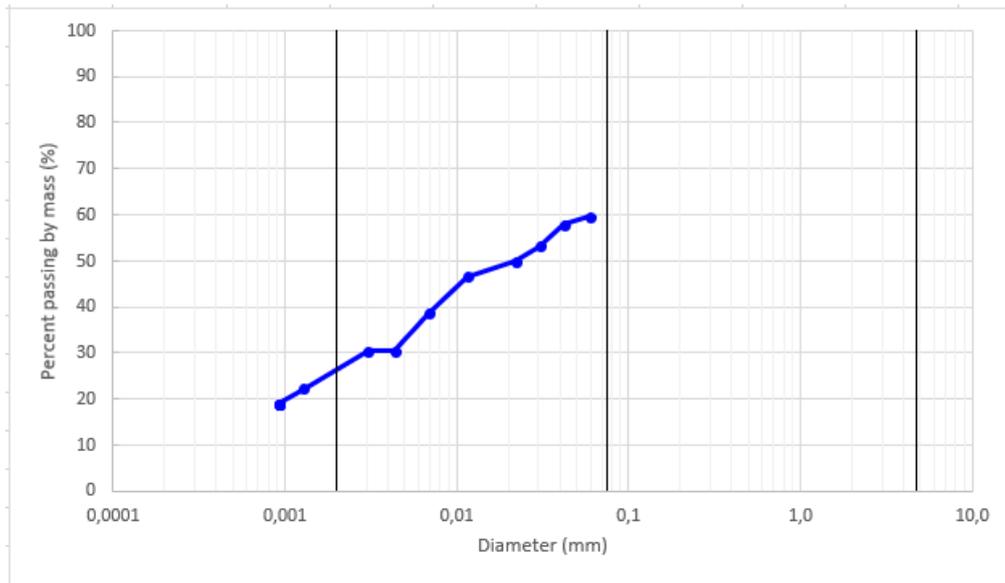


Figura 24. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi di frana (10 cm)**

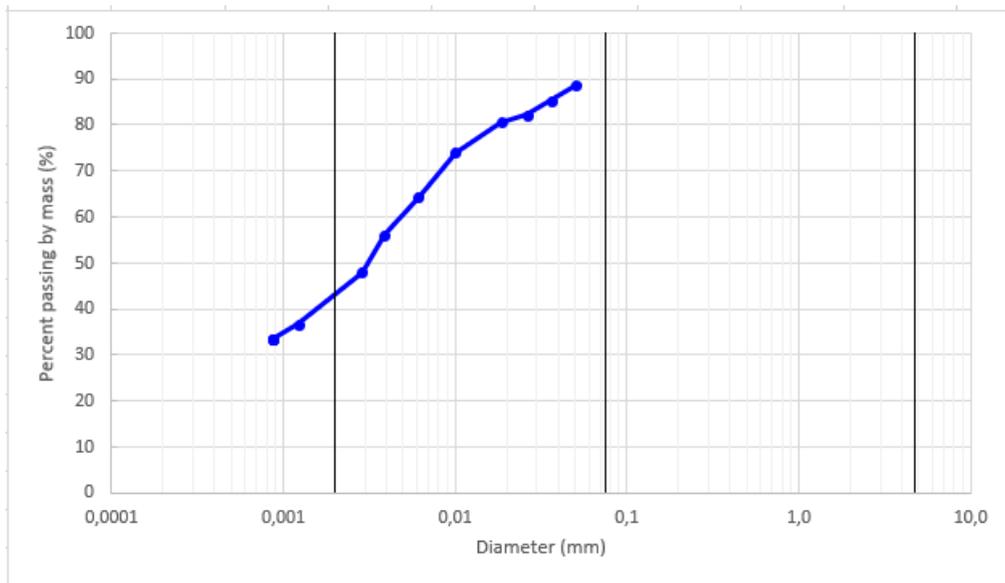


Figura 25. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi di frana (40 cm)**

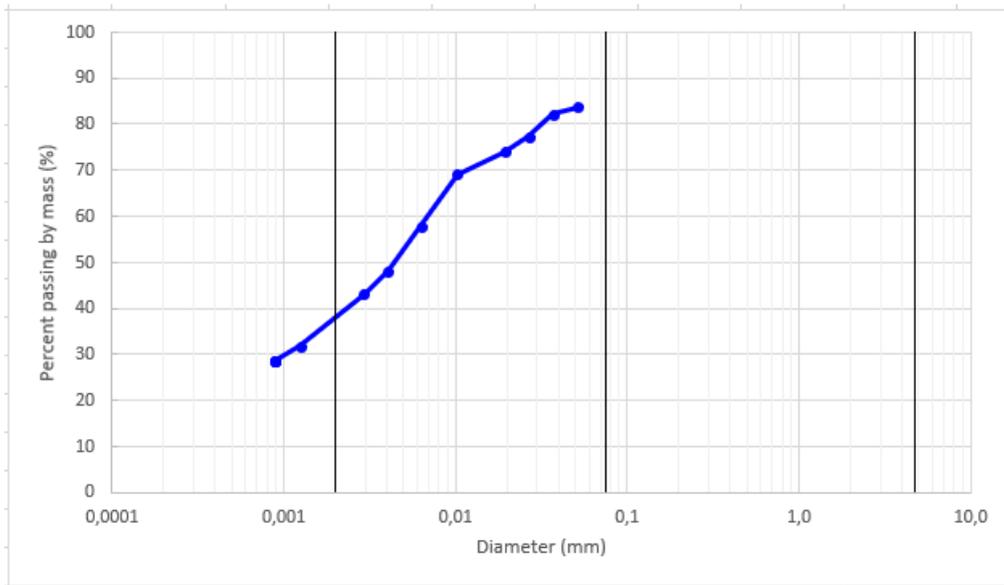


Figura 26. Distribuzione granulometrica del fine

- **Depositi di frana (70 cm)**

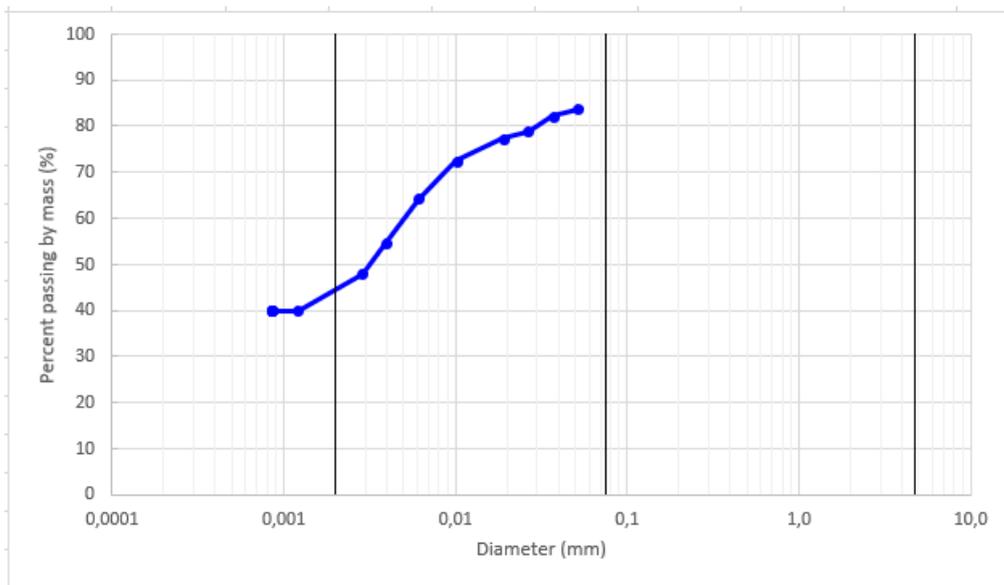


Figura 27. Distribuzione granulometrica del fine

- **Formazione gessoso - solfifera (10 cm)**

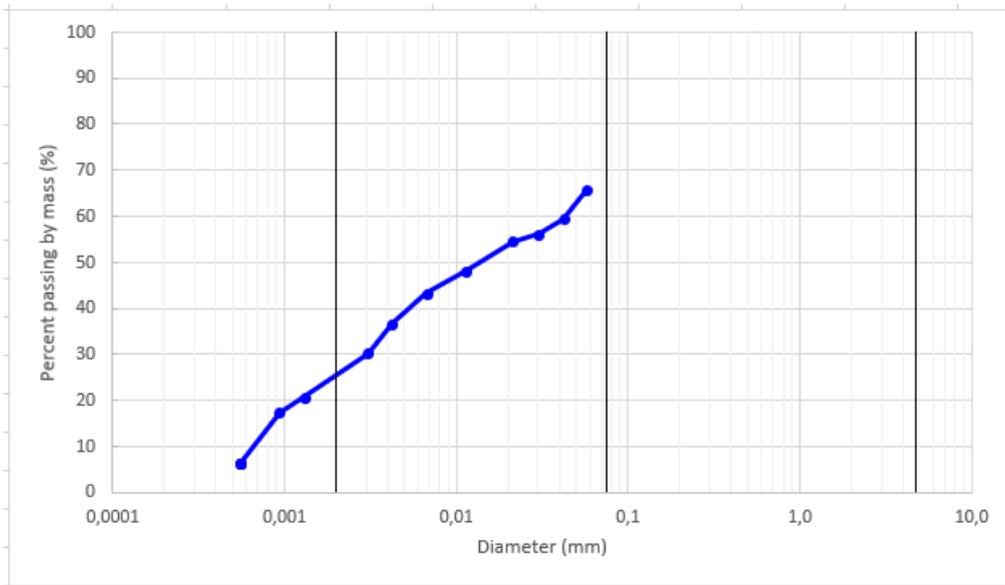


Figura 28. Distribuzione granulometrica del fine

- **Formazione gessoso - solfifera (40 cm)**

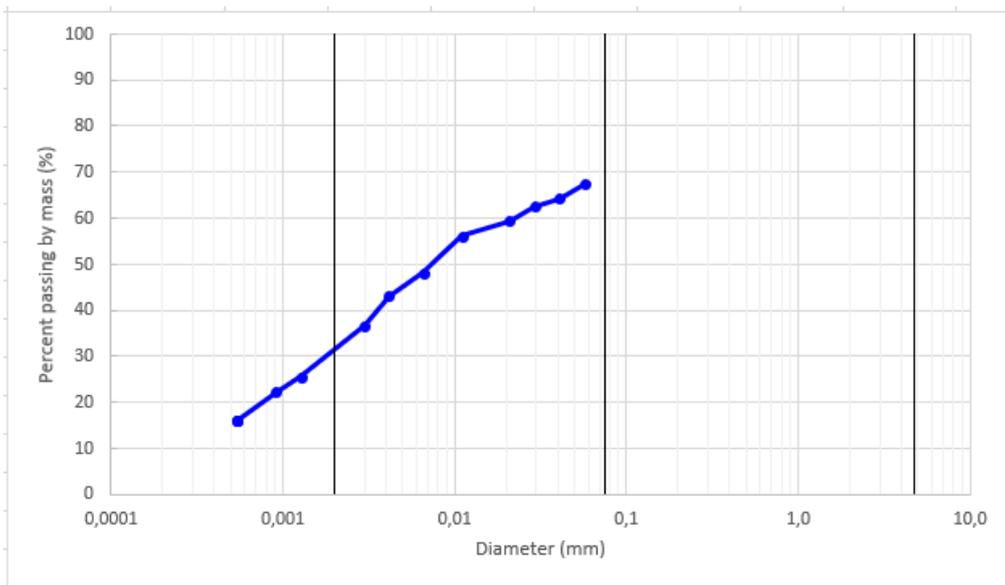


Figura 29. Distribuzione granulometrica del fine

- **Formazione gessoso - solfifera (70 cm)**

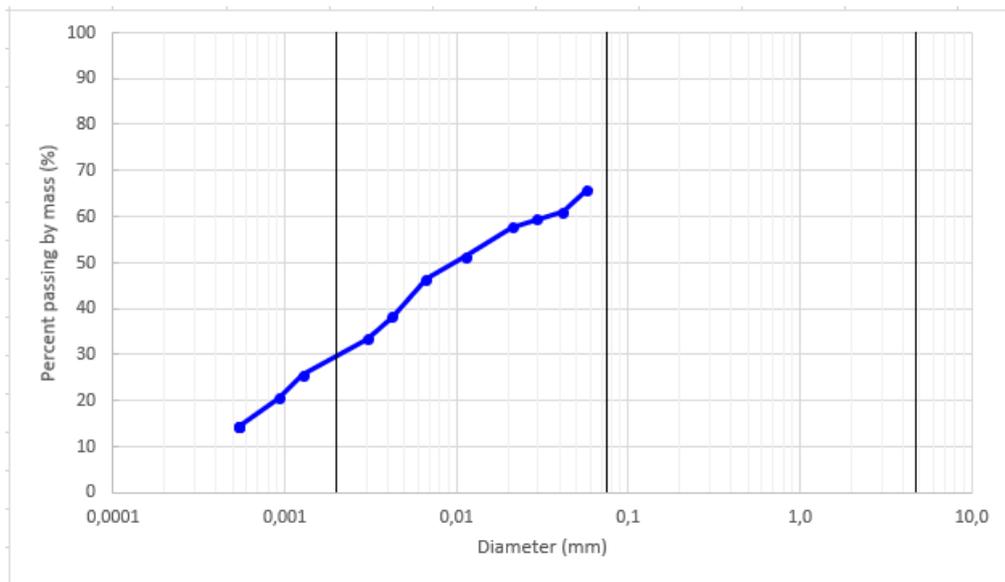


Figura 30. Distribuzione granulometrica del fine

Come conseguenza, si possono determinare il quantitativo percentuale di limo e quello di argilla rappresentante il mio provino.

I granuli il cui diametro è compreso tra gli 0.002 mm e gli 0.075 mm sono considerati come limi, mentre quelli aventi diametro minore di 0.02 mm sono considerate argille (*Tablelle 67 – 81*).

NB: il fine è confrontato al passante al setaccio n° 10 ASTM di riferimento della prova di sedimentazione e non deve essere confuso col fine ricavato a partire dalle prove granulometriche ovvero dalla massa del provino non ulteriormente setacciata oltre al n° 200 ASTM.

- *Depositi alluvionali (10 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>91,47</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>53,71</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>37,76</i>

*Tabella 67. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi alluvionali (40 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>87,88</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>44,54</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>43,34</i>

*Tabella 68. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi alluvionali (70 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>93,77</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>49,43</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>44,33</i>

*Tabella 69. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (10 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>82,32</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>42,85</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>39,46</i>

*Tabella 70. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (40 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>66,37</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>33,95</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>32,42</i>

*Tabella 71. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi eluvio – colluviali / Argille Azzurre (70 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>67,15</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>44,05</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>23,10</i>

*Tabella 72. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Formazione a Colombacci (10 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>60,82</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>33,98</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>26,84</i>

*Tabella 73. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Formazione a Colombacci (40 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>70,37</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>37,85</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>32,52</i>

*Tabella 74. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Formazione a Colombacci (70 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>59,43</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>33,13</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>26,31</i>

*Tabella 75. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi di frana (10 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>91,95</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>48,75</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>43,20</i>

*Tabella 76. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi di frana (40 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>86,27</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>48,18</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>38,09</i>

*Tabella 77. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Depositi di frana (70 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>87,02</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>42,40</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>44,62</i>

*Tabella 78. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Formazione gessoso – solfifera (10 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>72,33</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>46,89</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>25,44</i>

*Tabella 79. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Formazione gessoso – solfifera (40 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>76,67</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>45,30</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>31,37</i>

*Tabella 80. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

- *Formazione gessoso – solfifera (70 cm)*

<i>Fine</i>	<i>%</i>	<i>70,58</i>
<i>silt</i>	<i>M %</i>	<i>40,96</i>
<i>clay</i>	<i>CF %</i>	<i>29,62</i>

*Tabella 81. Passante percentuale al setaccio n° 200 ASTM e relativa frazione limosa e argillosa*

Analizzando le *Tabelle 67 - 81* si evidenziano la natura argillosa e limosa dei litotipi in questione.

I depositi alluvionali studiati hanno una frazione argillosa elevata, di circa il 40%, che aumenta con la profondità, al contrario dei depositi eluvio – colluviali e delle Argille Azzurre, il cui quantitativo di argilla diminuisce con la profondità fino a raggiungere il valore percentuale di 23,10%.

I depositi di frana sono quelli, in generale, considerando la granulometria molto fine del litotipo, caratterizzati dalla frazione argillosa più elevata, come ci si poteva aspettare anche in base alla meccanica relativa alla formazione degli stessi, con conseguente rimaneggiamento del terreno.

La Formazione a Colombacci, invece, essendo il litotipo più grossolano tra quelli studiati ha in media la frazione argillosa più bassa tra tutti i terreni investigati (circa il 29%).

La frazione di argilla è la componente che incide di più sul comportamento meccanico del terreno, per questa ragione questo deve essere scelto accuratamente quando si progetta un'opera: se possibile è quindi bene edificare ove il litotipo presenti una frazione argillosa più bassa o tuttalpiù si consiglia di effettuare ulteriori indagini per comprendere bene le reali caratteristiche meccaniche del terreno, onde evitare ripercussioni sull'opera stessa in termini di cedimenti assoluti e differenziali, che possono essere strutturali o funzionali.

*In Tabella 82* sono descritti ulteriori informazioni relative alla frazione fine e alla distribuzione granulometrica.

LITOTIPO	d10	d30	d60	Cu	Cc
-	mm	mm	mm	-	-
<b>Depositi Alluvionali (10 cm)</b>	0,00015	0,0015	0,0015	10,0	10,0
<b>Depositi Alluvionali (40 cm)</b>	0,00005	0,0003	0,003	60,0	0,6
<b>Depositi Alluvionali (70 cm)</b>	0,00004	0,0001	0,007	175,0	0,0
<b>Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (10 cm)</b>	0,0005	0,001	0,005	10,0	0,4
<b>Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (40 cm)</b>	0,0003	0,0016	0,04	133,3	0,2
<b>Depositi eluvio - colluviali / Argille Azzurre (70 cm)</b>	0,00025	0,0055	0,007	28,0	17,3
<b>Formazione a Colombacci (10 cm)</b>	0,0007	0,0026	0,012	17,1	0,8
<b>Formazione a Colombacci (40 cm)</b>	0,0004	0,0017	0,0055	13,8	1,3
<b>Formazione a Colombacci (70 cm)</b>	0,0006	0,002	0,025	41,7	0,3
<b>Depositi di frana (10 cm)</b>	0,0001	0,0006	0,0009	9,0	4,0
<b>Depositi di frana (40 cm)</b>	0,00015	0,001	0,00065	4,3	10,3
<b>Depositi di frana (70 cm)</b>	0,00005	0,0008	0,003	60,0	4,3
<b>Formazione gessoso - solfifera (10 cm)</b>	0,0007	0,003	0,055	78,6	0,2
<b>Formazione gessoso - solfifera (40 cm)</b>	0,0004	0,0018	0,059	147,5	0,1
<b>Formazione gessoso - solfifera (70 cm)</b>	0,00035	0,002	0,038	108,6	0,3

Tabella 82. I diametri corrispondenti al 10, 30 e 60% del passante: calcolo dei coefficienti di uniformità (Cu) e di curvatura (Cc) della curva granulometrica individuata.

Le distribuzioni granulometriche riguardanti la frazione fine dei depositi alluvionali presentano differenziazioni non tanto per l'inclinazione della curva stessa, ma per il passante ai diametri più piccoli e a quelli più grandi: il campione superficiale risulta essere quello meno fine con un d30 di 0,0015 mm, mentre quello più profondo presenta un d30 di 0,0010 mm (Tabella 82).

La frazione fine dei provini rappresentanti i depositi di frana è correlabile a quella dei depositi alluvionali e le curve risultano dunque simili: i valori di d10 e d30, tuttavia, sono di molto inferiori in quanto la frazione argillosa dei depositi di frana è più alta rispetto a quella dei depositi alluvionali.

Si descrive ora la distribuzione granulometrica dei depositi eluvio – colluviali e delle Argille Azzurre, le quali anche se granulometricamente simili, presentano nelle

curve delle cuspidi dovute a discontinuità geometriche dei granuli costituenti i due litotipi.

Le curve si presentano con un d10 superiore ai due depositi descritti in precedenza a rappresentare la minore frazione fine dei due litotipi. Un'altra importante caratteristica è che il passante alla frazione fine diminuisce con la profondità, a determinare il fatto che con la profondità la frazione meno grossolana tende a diminuire.

La Formazione a Colombacci, come già precedentemente più volte affermato, si conferma essere il litotipo presentante più materiale grossolano: essa, infatti, insieme alla Formazione gessoso – solfifera possiedono i d10 e d30 più alti di tutti, senza particolari variazioni con la profondità, ad indicare la natura grossolana di tali formazioni.

## 5.3 Digitalizzazione dei sondaggi e creazione della mappa dello spessore delle coperture

Nei prossimi paragrafi sono riportati i risultati in merito alla realizzazione di una tavola contenente i sondaggi relativi ad alcune maglie della tavola fotogrammetrica 1:10000 numero 2 del manuale “Censimenti dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano” (Sciarra et al., 1985) relativo alla “Cartografia geologico-tecnica ai fini urbanistici del territorio del comune di Ancona”.

Le maglie digitalizzate (vedi Paragrafo 4.2.3.1) sono:

- i. 3-a
- ii. 2-b      3-b      4-b
- iii. 3-c      4-c      5-c
- iv. 3-d      4-d      5-d
- v. 3-e      4-e

### 5.3.1 Tavola relativa alla digitalizzazione dei sondaggi geognostici

In *ALLEGATO 1* sono mostrati i sondaggi geognostici digitalizzati: sono 138, relativi a indagini eseguite principalmente con carotaggi continui a rotazione.

È riportata inoltre la legenda a cui riferirsi per l'individuazione del litotipo descritto nella colonna stratigrafica del sondaggio geognostico stesso.

Questa digitalizzazione è servita all'aggiornamento della banca dati e risulta utilissima al fine di individuare le caratteristiche geologico – tecniche dell'area di Ancona.

Una caratteristica geologico – tecnica molto importante è lo spessore delle coperture e ciò permette di creare una carta dello spessore delle coperture molto utile per i professionisti ai quali permetterà di ricevere informazioni riguardo il terreno durante la progettazione di interventi attui alla risistemazione di un'area oppure alla costruzione di una nuova opera.

In secondo luogo, risultano fondamentali le conoscenze fornite dall'individuazione di alcuni parametri geotecnici.

Inoltre, si individua quello che è lo spessore della formazione di base e le sue proprietà tecniche: questo permette di conoscere, ad esempio per la progettazione di fondazioni relative a una realizzazione di un'opera, le caratteristiche del terreno su cui sorgerà la costruzione.

La valutazione della formazione di base e del suo relativo spessore può essere effettuata in merito alle:

- Argille
- Limo
- Marne argillose
- Marne calcaree
- Sabbie
- Formazione dello Schlier

Per quanto riguarda la profondità media della formazione di base, dai sondaggi effettuati si ricava una profondità media di 1,90 m dal piano campagna.

Le argille sono il principale litotipo interessante il substrato nell'area. Lo spessore medio del primo strato di base si aggira sui 10,1 m e presenta uno spessore minimo di 0,3 m e uno spessore massimo di 77 m o addirittura superiore in quanto il sondaggio geognostico non ha rilevato profondità superiori a questa.

Le formazioni limose spesso rappresentano il substrato appena sotto le coperture e presentano uno spessore medio di 4,6 m, con uno spessore minimo di 1,2 m e uno massimo di 7 m, in base ai dati rilevati dalle colonne stratigrafiche descritte dai sondaggi.

Nella zona ove sono stati effettuati i sondaggi geognostici in questione sono stati individuati dei punti in cui il substrato è rappresentato da marne calcaree e marne argillose.

Le marne argillose presentano uno spessore medio di 11,6 m, uno spessore minimo di 0,9 m e uno massimo di 31 m. D'altro canto le marne calcaree sono caratterizzate da uno spessore medio di 4,8 m, da uno spessore minimo di 4 m e da uno massimo di 6 m.

Per quanto riguarda il substrato interessato dalla presenza di sabbia, esso presenta uno spessore medio di 4,3 m, uno minimo di 0,2 m e uno massimo di 17 m. In ultimo, ove la Formazione dello Schlier è presente subito sotto la copertura, il suo spessore medio vale 3,1 m.

Le proprietà tecniche, ove riportate, variano da sondaggio a sondaggio per ogni formazione.

Per quanto riguarda la coesione essa per le argille varia da un minimo di 0 kPa a un massimo di 100 kPa, con una media di 34 kPa. Nei limi la coesione “c” presenta un valore medio di 24 kPa e nelle marne argillose, invece, c' presenta valori con una media di 50 kPa. Le sabbie hanno valori di coesione c' in media di 24 kPa.

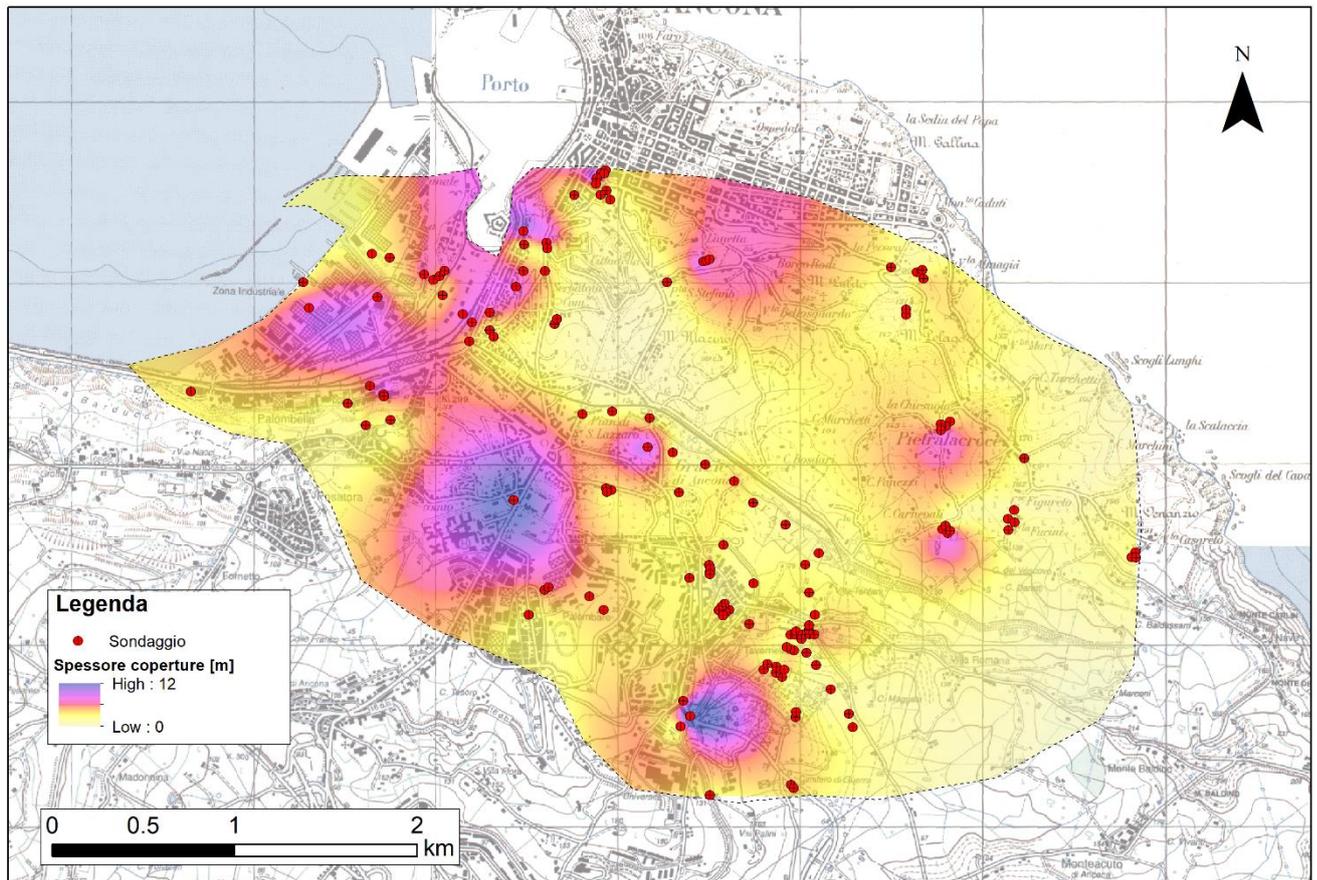
La resistenza al taglio non drenata “cu” nelle argille varia da 188,7 kPa a 255 kPa, con un valore medio di 118 kPa.

Riguardo l'angolo di attrito, esso varia nelle argille tra 19° e 30,6°, con un valore medio di 24,7°. I limi e le sabbie presentano un angolo di attrito medio di circa 20° e le marne argillose di 27°.

La prova penetrometrica standard effettuata a diverse profondità ha dato come risultati nelle sabbie un valore SPT medio di 69, con un minimo di 60 e un massimo di 78 (vedere sondaggio numero 8 in *ALLEGATO 1*). Nelle marne argillose si ha un SPT medio di 94, con un valore minimo di 88 e un massimo di 100.

### 5.3.2 Carta dello spessore delle coperture della zona di Ancona

Sulla base dei dati Excel relativi allo spessore delle coperture dedotto dalla stratigrafia dei sondaggi geognostici, mediante ArcGIS è stata effettuata la creazione della carta dello spessore delle coperture della zona comunale di Ancona (*Figura 31*).



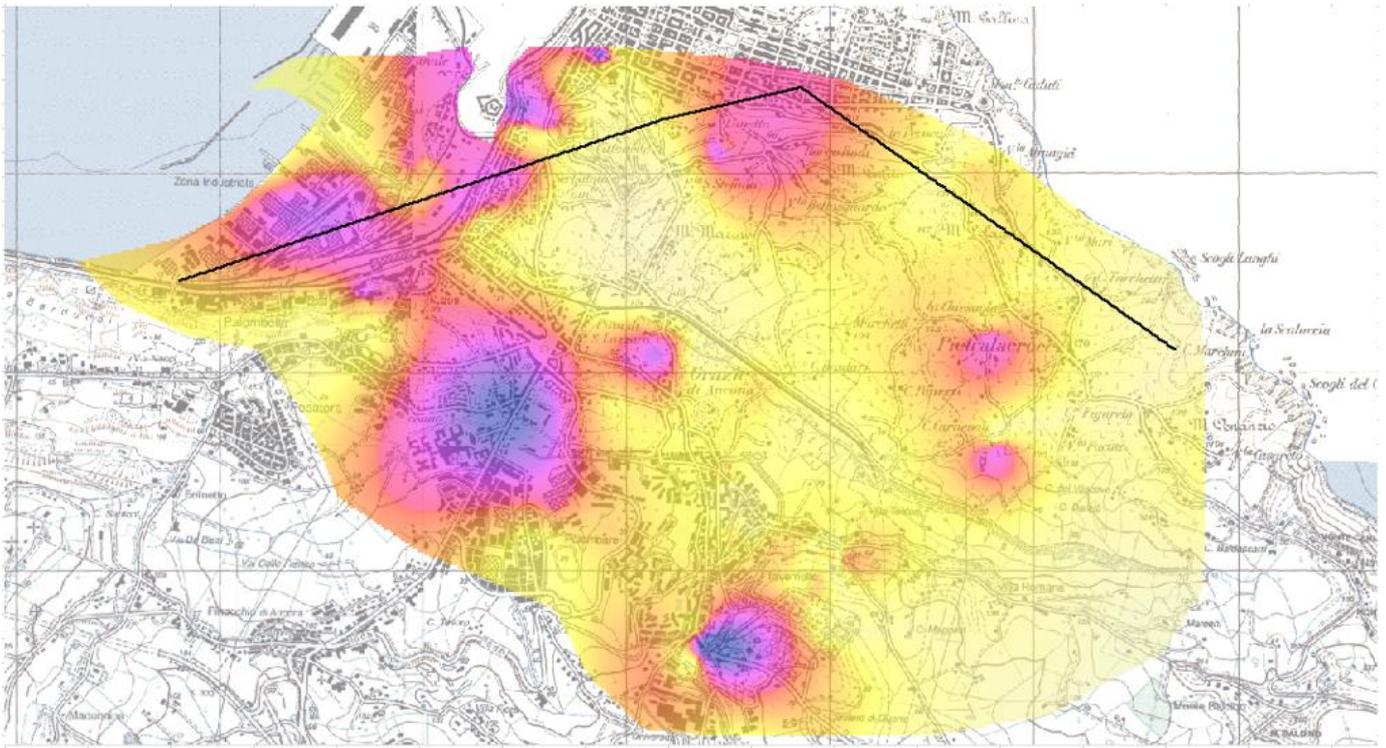
*Figura 31. Carta dello spessore delle coperture, Ancona*

È possibile visualizzare la carta dello spessore delle coperture in *ALLEGATO 2*.

Si può notare dalla carta (*Figura 31*) come lo spessore vari nel territorio anconetano da un minimo di 0 m a un massimo di 12 m. Nei prossimi paragrafi verranno effettuate delle analisi aggiuntive.

### 5.3.3 Sezione della carta dello spessore delle coperture e riferimenti alla correlazione sismica rispetto al terremoto di Ancona del 1972

Si analizza una sezione (*Figura 32*) del territorio anconetano rappresentante una zona molto colpita dal terremoto di Ancona del 1972:



*Figura 32. In nero è rappresentata la sezione interessata.*

Partendo sulle ascisse si fissa come valore iniziale l'estremità di tale sezione (Ovest) e si procede considerando valori crescenti dell'asse lo sviluppo della sezione fino in località C. Marchini, individuante l'estremità ad Est di tale sezione, si può, inserendo sull'asse delle ordinate la profondità del substrato, costruire un diagramma *Spessore delle coperture / Lunghezza della sezione*, come mostrato in *Figura 33*.

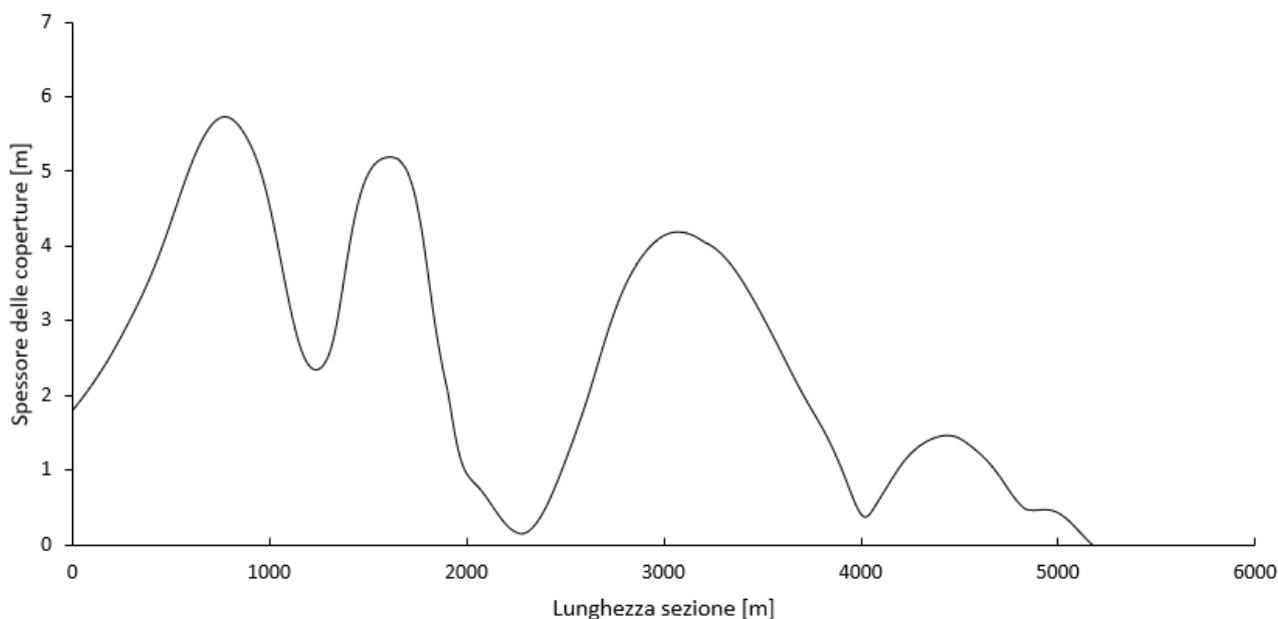


Figura 33. Diagramma riportante lo spessore della copertura in funzione dello spostamento verso Est sulla sezione riportata in Figura 32.

Si osserva come lo spessore delle coperture vari nel territorio anconetano: partendo da SE si nota come esso sia di dimensioni pressoché assenti e che quindi il substrato risulti affiorante. Questo è dato dal fatto che la zona è caratterizzata da una falesia, quella del M. Conero.

Spostandosi verso valle, seguendo lo sviluppo del Torrente Miano, andando dunque verso NO, si nota come gli spessori delle coperture risultino ancora modesti sino alle zone caratterizzate invece da spessori che possono arrivare anche fino ai 12 m, come quelli indicati nella zona di Piazza Ugo Bassi, del porto di Ancona, della zona del quartiere degli Archi e della Cittadella di Ancona.

Relativamente alla sequenza sismica che interessò la città di Ancona nel 1972, si possono citare gli eventi più importanti come la scossa sismica del 25 Gennaio 1972 delle ore 20:25 GMT, di magnitudo 4.2 della scala Richter, che danneggiò molto il capoluogo, alla quale seguirono altre scosse nei mesi a seguire che interessarono un territorio più esteso, colpendo in modo particolare le province di Ancora, Pesaro e Macerata, con un indice di danno elevato nelle località di Camerano, Camerata Picena e Montemarciano ([www.storing.ingv.it](http://www.storing.ingv.it)).

La zona di Ancona più interessata da danneggiamenti fu sicuramente la parte antica e alta della città, con numerosi palazzi storici e chiese che furono lesionati dal sisma.

I quartieri limitrofi al centro storico più danneggiati dall'evento sismico furono i quartieri di Capodimonte, San Pietro e Pinocchio, nell'area collinare, con danni relativi ai solai, infissi e muri interni ([www.storing.ingv.it](http://www.storing.ingv.it)).

Analizzando l'area decisamente più colpita dal sisma, non si può non citare il danno subito dal patrimonio storico di Ancona. In merito a ciò, gli edifici più danneggiati nel centro storico di Ancona furono le chiese di S. Giovanni, di S. Francesco delle Scale o S. Maria Maggiore, il Palazzo degli Anziani, il Palazzo Ferretti, l'Edificio ospitante il Museo Diocesano e il Duomo di S. Ciriaco, che subì innumerevoli danni.

Si può affermare che a provocare i danni del centro storico di Ancona fu il risultato di due scosse con effetti di VIII MCS: la prima scossa rilevante fu quella del 4 Febbraio 1972 (2:43 GMT ca.) di magnitudo 4.4 e la seconda fu quella del 14 Giugno di magnitudo 4.7 dello stesso anno (18:56 GMT ca.) alla quale sono indicativi gli alti livelli di vulnerabilità piuttosto che di scuotimento. Le altre scosse dello sciame sismico rilevanti al fine dei danneggiamenti del centro storico di Ancona, tuttavia, non sono state ricondotte a effetti superiori al grado VII MCS ([www.storing.ingv.it](http://www.storing.ingv.it)).

In *Figura 34 e 35* sono rappresentate le carte tematiche relative agli effetti subiti dopo questo sciame sismico.

Le zone rappresentate con gli stessi simboli sono caratteristiche di aree in cui lo scuotimento del suolo è stato più omogeneo. Da queste figure si possono dedurre i gradienti che esprimono la tendenza all'accentuazione o all'attenuazione dello scuotimento.

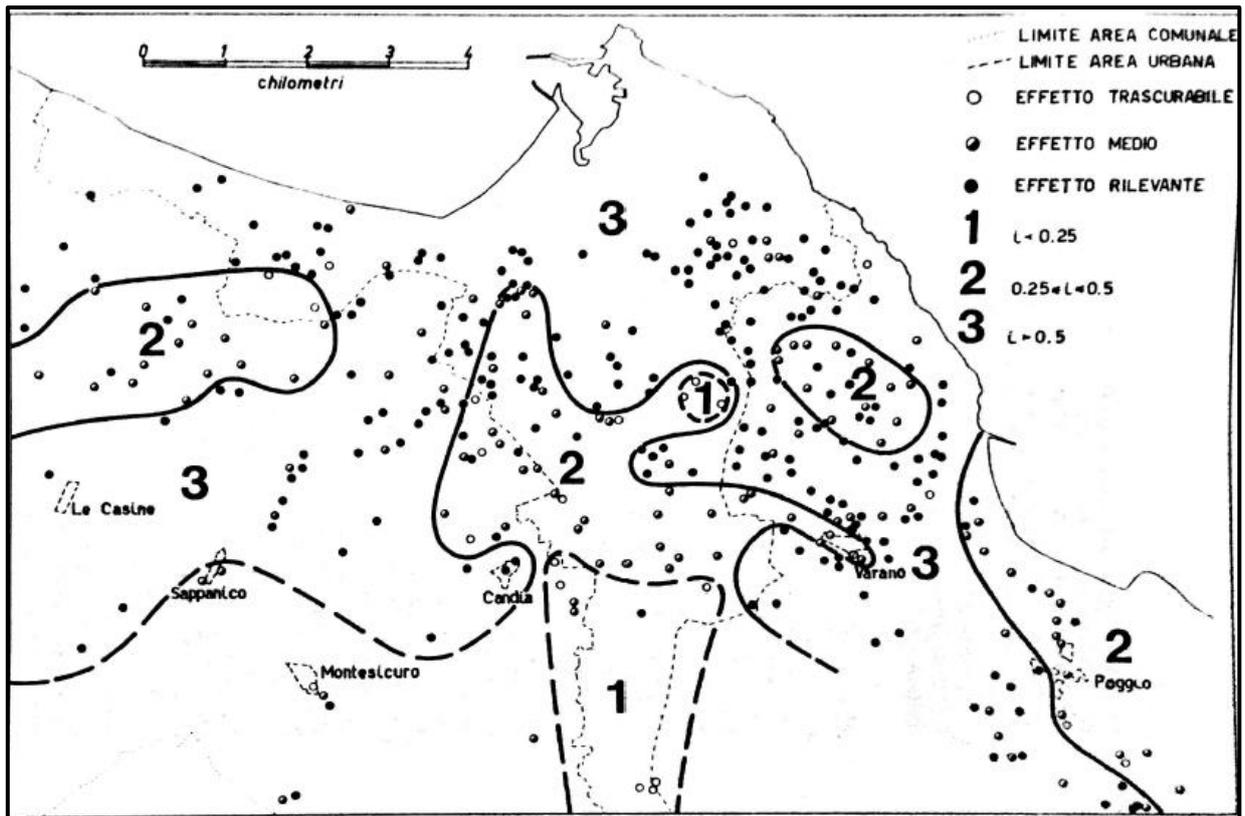


Figura 34 Distribuzione degli effetti rilevati sugli edifici rurali. (Stucchi et al., 1981)

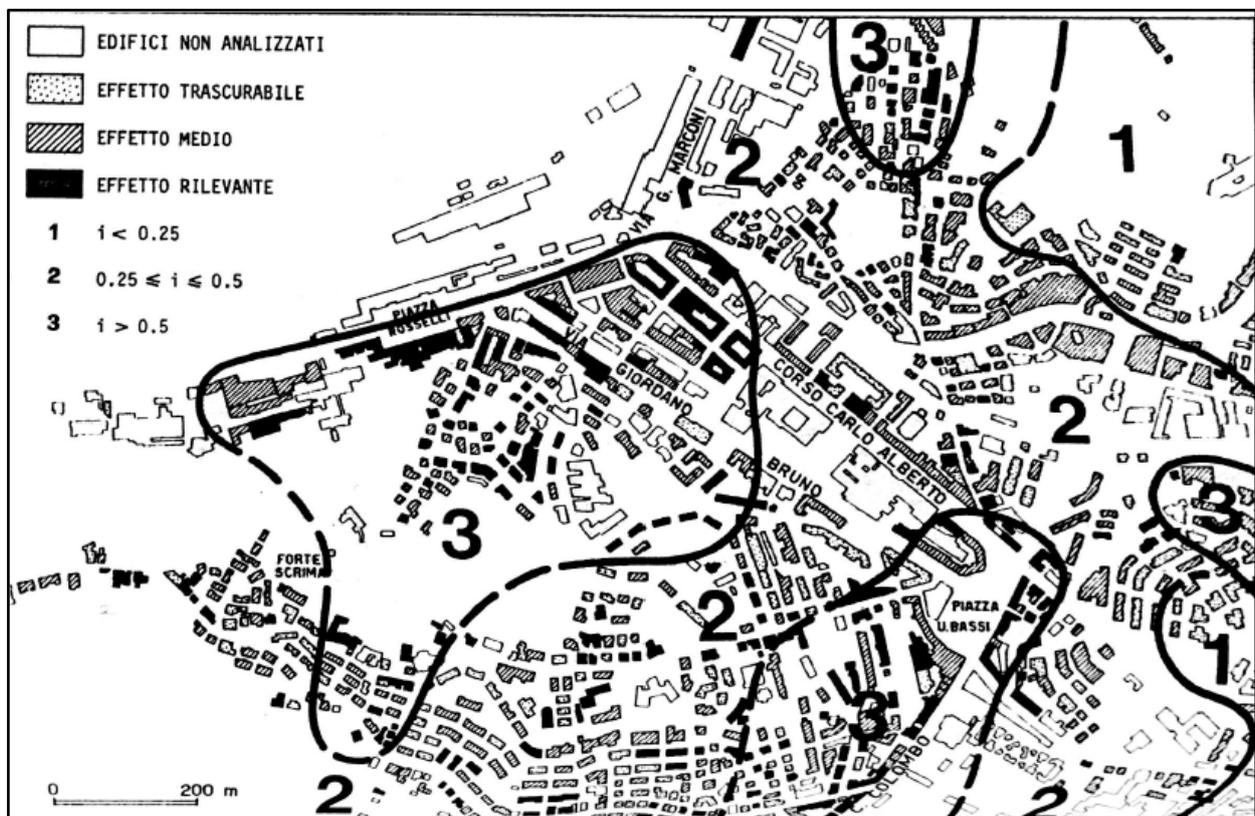


Figura 35. Distribuzione degli effetti (Stucchi et al., 1981)

Concentrandosi sulla *Figura 34*, si può notare come i danni maggiori siano caratteristici dell'area comunale di Ancona e in particolar modo delle zone più vicine al mare. Quest'ultima correlazione è possibile dedurla dal fatto che la zona costiera NO di Ancona presenta uno spessore più elevato di copertura costituita da depositi quaternari come i depositi eluvio – colluviali, alluvionali, di frana.

Facendo riferimento alla *Figura 35*, in essa si possono, confrontandola con la carta dello spessore delle coperture (*Figura 31*), trarre delle conclusioni tra il valore di indice percentuale  $i$  che definisce le aree di equiscuotimento e lo spessore stesso delle coperture.

In particolare, le aree 1 e 2 sono caratterizzate da spessori delle coperture ridotti, visualizzabili in *Figura 31* dai colori giallo e arancioni e le loro sfumature. Tra questi indichiamo la falesia del M. Conero, la quale avente substrato affiorante o quasi, ha agito come mezzo non amplificante per le onde sismiche e questo giustifica il fatto che i danni rilevati sugli edifici siano stati modesti.

Focalizzandosi sulla zona centrale del comune di Ancona, lo spessore delle coperture risulta elevato rispetto alle zone circostanti. Fenomeni di amplificazione delle onde sismiche sono stati registrati soprattutto in queste aree e ciò giustifica gli ingenti danni subiti dalle strutture nel centro storico di Ancona e nella zona più

meridionale che caratterizzano quindi un indice percentuale più elevato e un valore pari a 3 sulla carta di distribuzione degli effetti (*Figura 35*).

In particolar modo, si può notare confrontando le carte in *Figura 31 e 35* che la zona del porto di Ancona e del quartiere degli Archi, aventi uno spessore delle coperture maggiore di 10 m, hanno registrato danni maggiori sugli edifici rientrando nella macroarea 3.

Un'altra zona caratterizzata da spessori delle coperture elevate è quella relativa alla zona di Piazza Ugo Bassi e ciò spiega, come nel caso precedente, il perché delle maggiori ricadute in termini di danneggiamenti nella zona.

Si evince, dunque, come l'aspetto dello spessore delle coperture sia la causa principale influenzante l'amplificazione delle onde sismiche nel terreno, portando gli edifici in superficie a dover resistere ad accelerazioni orizzontali dell'ordine di frazioni di  $g$  più alte di quelli edificati in zone con substrato affiorante sismicamente non amplificante.

## 6. Conclusioni

Per mezzo delle indagini effettuate e grazie alle metodologie e alle conoscenze messe a disposizione dalla ricerca passata, si sono potuti svolgere ed indagare tutti gli obiettivi preposti.

Sono, infatti, di molteplice natura gli scopi di questo elaborato. In primo luogo, grazie ad una dettagliata selezione dei materiali ed ai mezzi bibliografici forniti, si è riusciti a fare un esaustivo quadro dal punto di vista geologico – tecnico sulle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti sia nel bacino del Miano, che in parte nel comune di Ancona.

Le analisi granulometriche svolte all'interno dei laboratori messi a disposizione dall'Università Politecnica delle Marche hanno descritto quelle che sono le distribuzioni delle frazioni dimensionali che costituiscono i litotipi studiati e, a partire da ciò, si sono tratte conclusioni in merito alla correlazione delle granulometria con la permeabilità e alla geodinamica dell'area, mettendo sul piatto informazioni utili al fine di ulteriori analisi in merito all'argomento, sviluppando così delle più dettagliate relazioni tra le caratteristiche granulometriche e le proprietà geotecniche dei terreni.

In particolare, mediante un'analisi granulometrica via vagliatura, condotta per determinare la distribuzione dei grani con diametro superiore agli 0,075 mm, si è determinata la frazione più grossolana di ogni litotipo. Facendo poi un'ulteriore analisi riguardo il contenuto in sabbia e in ghiaia di ogni campione, si è visto come, ad eccezione dei depositi eluvio – colluviali in cui la frazione ghiaiosa è prevalente, la frazione di sabbia sia la componente grossolana principale caratterizzante la distribuzione granulometrica dei diversi terreni.

Si sono poi effettuate analisi granulometriche via sedimentazione (aerometrie) per la determinazione del contenuto di fine allo scopo di realizzare una curva granulometrica dei grani con diametro inferiore agli 0,075 mm. Dai risultati di queste analisi è emerso come la frazione fine sia la componente principale di tutte le formazioni, fatta eccezione in parte per la Formazione a Colombacci, che seppur avente

un passante al n° 200 ASTM elevato, esso rappresenta il litotipo più grossolano affiorante nel bacino.

A questo punto si ha avuto una visione completa delle caratteristiche geologiche associate alla granulometria e si rimanda ad altri lavori per analisi più strettamente legate all'aspetto riguardante l'idrogeologia (Scarponi, 2021) e la geomorfologia (Osimani, 2021) dell'area di studio, il bacino del Torrente Miano.

Nelle loro trattazioni vengono toccati anche tematiche riguardanti il rischio idrogeologico e quello geomorfologico, mentre in questo elaborato sono state condotte analisi per individuare correlazioni tra le caratteristiche geologiche dell'area con il potenziale rischio sismico a partire dalle conoscenze maturate fino al giorno d'oggi, in particolare riguardo la zona di Ancona.

Si è proceduto quindi alla digitalizzazione di parte dei sondaggi geognostici dell'area anconetana contenuti nel manuale "Censimento dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano" contenuto nella "Cartografia Geologico-Tecnica ai fini urbanistici del territorio del Comune di Ancona".

La digitalizzazione effettuata è di grande utilità in quanto permette di aggiornare la banca dati e di fornire informazioni geologico-tecniche a chiunque abbia necessità di eseguire delle progettazioni a livello di fondazioni relative alla costruzione di una nuova opera o alla sistemazione di un'area.

A partire dalle colonne stratigrafiche e dai parametri geotecnici descritti dai sondaggi geognostici stessi, si è determinato lo spessore delle coperture al fine di realizzare una carta relativa ad esso.

Si è determinato, inoltre, a quale spessore e a quale profondità le formazioni rappresentanti lo strato di base fossero legate, e la determinazione dei parametri geotecnici medi per le stesse.

È stata quindi prodotta una carta dello spessore delle coperture a partire dai dati di profondità del substrato dal piano campagna su ogni colonna stratigrafica rappresentante un sondaggio e, grazie all'ausilio tecnico di operazioni raster del

software ArcGIS, si sono potute individuare delle zone in cui lo spessore delle coperture risultasse maggiore e le zone in cui il substrato risultasse affiorante, come sulla falesia del M. Conero a SE di Ancona.

A partire dalla carta dello spessore delle coperture è stata anche realizzata una sezione di circa cinque chilometri di lunghezza, che rappresenta lo spessore delle coperture al di sotto di alcuni quartieri di Ancona. Da tale carta si ricava che lo spessore va da un massimo di circa 12 metri, a un minimo pari a zero in corrispondenza del substrato affiorante.

Ma i risultati più interessanti che sono stati possibili ottenere attraverso questo lavoro sono stati quelli ottenuti dal confronto tra lo spessore delle coperture e i danneggiamenti riportati dagli edifici di Ancona in seguito allo sciame sismico che colpì il capoluogo nel 1972.

Dalla microzonazione sismica effettuata successivamente agli eventi sismici (Stucchi et al., 1981) si sono ricavate le aree con i diversi gradi di danneggiamento dell'area di Ancona. Tali aree sono state messe a confronto con quelle relative ai diversi spessori della carta delle coperture e si è visto che le aree più colpite corrispondono alle aree in cui lo spessore delle coperture risulta maggiore.

Questo aspetto apre a degli scenari di studio futuri riguardanti l'effettuazione di misure del periodo proprio di oscillazione delle coperture e degli edifici sovrastanti, per confrontare i rispettivi valori e quindi individuare le situazioni di maggiore pericolo. Si potrà in seguito valutare caso per caso l'attuazione di interventi di isolamento sismico sugli edifici più a rischio.

Questo risultato potrebbe essere approfondito in futuro con studi integrati geologico-ingegneristici ai fini della mitigazione del rischio sismico delle aree più vulnerabili della città di Ancona individuate con il presente studio.

In particolare, potrebbero essere eseguite indagini geologiche approfondite atte alla determinazione del periodo proprio di oscillazione dei terreni di copertura, dove

queste ultime assumono spessori maggiori e dove si sono già avuti i massimi danneggiamenti durante il sisma del 1972.

A tale studio potrebbe seguire quello ingegneristico consistente nella acquisizione dei dati relativi ai periodi propri di oscillazione degli edifici che si trovano al di sopra di tali terreni, rispettivamente caratterizzati da altezze e tipologie edilizie diverse.

Dal confronto dei periodi di oscillazione di tali terreni con quelli degli edifici sovrastanti potrebbero essere discriminate le situazioni più a rischio caratterizzate dalla coincidenza dei periodi di oscillazione rispettivamente di terreno e edificio.

Limitatamente agli edifici più a rischio, potrebbero essere messi in atto degli interventi di miglioramento sismico preventivo anche, dove possibile, mediante l'utilizzo di tecniche di isolamento sismico dell'edificio con spese limitate per i proprietari che potrebbero avvalersi dei benefici previsti dalle attuali normative per tali interventi (sisma bonus).

Non potendo intervenire né sui valori di pericolosità sismica dell'area né su quelli di esposizione, legata all'elevato numero dei cittadini residenti in zona, tali interventi porterebbero senza dubbio alla diminuzione della vulnerabilità nelle zone individuate nel presente studio e quindi alla diminuzione del rischio sismico per la città di Ancona.

## 7. Bibliografia e Sitografia

### 7.1 Bibliografia

- Amerini F., Zanette E. & Tincati C. (2020) - Mundus. Ed. Pearson, Torino.
- Bard P. & Y. Bouchon M. (1985) - The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75, 519-541.
- Calza W., Maistrello M., Marcellini A., Morganti C., Rampoldi R., Rossi B., Stucchi M. & Zonno G. (1981) - Elementi di microzonazione sismica dell'area anconetana, CNR-PFG, pubbl. n. 430, pp. 68, Riprodux, Milano.
- Cello G. & Tondi E. (in stampa) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50:000, Foglio 282 Ancona, Regione Marche, ISPRA, pp. 101.  
([https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note\\_illustrative/282\\_Ancona.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/282_Ancona.pdf))
- Centamore E. & Deiana G. (1986) - La Geologia delle Marche. Studi Geologici Camerti. Volume speciale, pp. 145 + 2 carte, Camerino.
- Centamore E., & Micarelli A. (1991) - Stratigrafia. Giunta regionale, Assessorato urbanistica ambiente, "L'ambiente Fisico delle Marche: geologia e geomorfologia e idrogeologia". S.E.L.C.A, Firenze.
- Crescenti U., Nanni T., Rampoldi R. & Stucchi M. (1977) - Ancona: considerazione sismo-tettoniche. *Boll. Geol. Teor. Appl.*, pp.73-74.
- Deiana G. & Marchegiani L. (2002) - Note di Geologia del Parco Nazionale dei Monti Sibillini. Collana dei Quaderni scientifico-divulgativi del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, pp. 46, Anniballi Grafiche, Ancona.
- Deiana G. & Tondi E. (2016) - Quando a Camerino c'era il mare. *Orizzonti della Marca*, Anno IV n. 31 del 6 agosto 2016, p. 7. Camerino.
- Dramis F. (1986) - Aspetti geomorfologici del territorio marchigiano. Studi Geologici Camerti, vol. spec. "La Geologia della Marche", pp. 99-103, Camerino.
- Gambella G., Gubinelli M., Faustini G.L. & Boldrini G. (2013) - Microzonazione Sismica Relazione, Regione Marche, Comune di Ancona. Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77 OPCM 4007/2012, Programma regionale degli studi e indagini di microzonazione sismica, annualità 2011.

Gentili B., Aringoli D., Materazzi M., Pambianchi G. & Farabollini P. (2014) - Il ruolo della gravità nell'evoluzione geomorfologica di un'area di falesia: il caso del Monte Conero (Mare Adriatico, Italia Centrale). Studi costieri, 22, p.p. 19-32.

Gerbella L. (1956) - Arte Mineraria. Vol. I, IV Ed., Ed. Ulrico Hoepli, Milano, pp. 107-153.

Manfredini M. (1976) - Tentativo di correlazione fra distribuzione degli epicentri sismici e strutture tettoniche nel settore appenninico dell'orogeno Alpino. Mem. Soc. Geol. D'Italia, vol. 13, p.2.

Nanni T. (1980) - Note illustrative sulla geologia dell'anconetano. Comune di Ancona.

Nanni T., Desiderio G., Folchi Vici C., Petitta M., Ruggieri G., Rusi S., Tallini M. & Vivalda P.M. (2011) - Schema Idrogeologico dell'Italia centro-adriatica. (Ed. T. Nanni)

Nanni T. & Vivalda P. (1986) - Inquadramento idrogeologico ed influenza della tettonica sugli acquiferi di subalveo delle pianure marchigiane. Studi Geol. Camerti, vol. spec., pp. 105-131, Camerino.

Osimani F. (2021) - Analisi e valutazione del rischio da frana nel bacino del T. Miano: redazione di carta geomorfologica di dettaglio

Pagliaroli A. (2006) - Studio numerico e sperimentale dei fenomeni di amplificazione sismica locale di rilievi isolati. Cap. 1, 2. Roma.

Passeri L. (1994) - 15 itinerari - Appennino Umbro-marchigiano. Soc. Geologica Italiana, pp. 301, BE-MA, Roma.

Pierantoni P.P., Deiana G. & Galdenzi S. (2013) - Geological map of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy) - Scale 1:40000. - Roma: Società Geologica Italiana, 2013. - 1 c. geol. su 2 fogli: color.

Raviolo P.L. (1993) - Il laboratorio geotecnico, procedure di prova, elaborazione e acquisizione dati. Ed. Controls, Torino.

Rossi A. (2007) - Google Earth. Teorie ed applicazioni nell'ambito della comunicazione. Tesi di Laurea in Comunicazione pubblicitaria. Università degli Studi "Carlo Bo" di Urbino, pp. 151, Urbino.

Saladini V. (2010) - Caratterizzazione idrodinamica del sito contaminato di interesse nazionale del Basso Bacino del F. Chienti (Marche). Tesi di Laurea in Idrogeologia applicata, Corso di Laurea specialistica in Geologia applicata all'Ingegneria e alla

pianificazione territoriale, Università La Sapienza di Roma, Cap. 1, 2 e 3, pp. 169, Roma.

Sannino A.R. (2020) - Effetto di eventi di piena sull'interazione tra acquifero e corso d'acqua: simulazione della falda superficiale nell'area metropolitana di Torino. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Dipartimento di Ingegneria dell'ambiente del territorio e delle infrastrutture, Politecnico di Torino, pp. 87, Torino.

Scarponi A. (2021) - Rapporto tra acque superficiali e sotterranee in un piccolo bacino idrografico in relazione alle precipitazioni

Sciarra N., con la collaborazione di Alessandrini G. & Boccarossa S. (1985) - Censimento dei sondaggi geognostici eseguiti nel territorio anconetano. In Cartografia Geologico-Tecnica ai fini urbanistici del territorio del Comune di Ancona, Alleg. 3. Convenzione Regione Marche - Università di Ancona. Regione Marche, Giunta Regionale - Comune di Ancona.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (1981) - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>

Tucker B.E. & King J.L. (1984) - Dependence of sediment-filled valley response on input amplitude and valley properties. Bulletin of the Seismological Society of America, 74, 153-166.

## 7.2 Sitografia

<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

<http://it.kaikes-kks.com/phosphate/sodium-hexametaphosphate/sodium-hexametaphosphate-napo3-6.html>

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti4/quakes/37690.html#>

<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?37690IT>

<http://strumentidalaboratorio.com/strumenti-da-laboratorio-pagine/stufe/stufa-m250.html>

<http://www.ambiente.marche.it/Ambiente/Natura/Ambientenaturale/Clima.aspx>

[http://www.ambiente.regione.marche.it/Portals/0/Ambiente/Sitiinquinati/2009pianobonifiche\\_allegato05.pdf](http://www.ambiente.regione.marche.it/Portals/0/Ambiente/Sitiinquinati/2009pianobonifiche_allegato05.pdf)

[http://www.brunorossi.eu/Acquario\\_Marino\\_Mediterraneo/Manuale%20Mediterraneo/densimetro.htm](http://www.brunorossi.eu/Acquario_Marino_Mediterraneo/Manuale%20Mediterraneo/densimetro.htm)

[http://www.cugri.it/httdoc/FRANE/A/A2/A2\\_F3\\_D3.pdf](http://www.cugri.it/httdoc/FRANE/A/A2/A2_F3_D3.pdf)

[http://www.ecosearch.info/sites/default/files/prodotti\\_documentazione/infiltro\\_doppio\\_anello.pdf](http://www.ecosearch.info/sites/default/files/prodotti_documentazione/infiltro_doppio_anello.pdf)

<http://www.farnell.com/datasheets/2245154.pdf>

<http://www.geofisico.it/studi.htm>

<https://apps.apple.com/it/app/commander-compass-go/id340268949>

<https://it.rs-online.com/web/p/cilindri-graduati/4610904/>

[https://online.scuola.zanichelli.it/lupiascienzeaturali-files/Scienzeaturali/APPROFONDIMENTI/Zanichelli\\_ScienzeNaturali\\_T2\\_Climi\\_temperati.pdf](https://online.scuola.zanichelli.it/lupiascienzeaturali-files/Scienzeaturali/APPROFONDIMENTI/Zanichelli_ScienzeNaturali_T2_Climi_temperati.pdf)

<https://scubla.it/it/gestione-ambientale/campionamento-e-analisi-del-terreno/trivelle-manuali-semplici-2349-detail.html>

<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR>

<https://www.boavistavetro.it/prodotto/dama-pet-bianco-5>

<https://www.caimi.net/italian/product/aerometers/>

<https://www.electronicmegastore.net/it/home/spray-e-liquidi-multiuso/liquidi/alcool-isopropilico-isopropanolo-11-pulizia-ossido-ultrasuoni-puro-99-9-.1.1.239.gp.16939.uw>

[https://www.facohotel.com/monouso\\_per\\_asporto/contenitore\\_alluminio\\_16\\_porzioni\\_mm\\_53\\_x3\\_2\\_h\\_67\\_pz\\_1\\_r3-\\_2g.htm](https://www.facohotel.com/monouso_per_asporto/contenitore_alluminio_16_porzioni_mm_53_x3_2_h_67_pz_1_r3-_2g.htm)

<https://www.faichim.com/alcool-isopropilico-dove-si-compra-cosa-serve-2/>

<https://www.fruugo.it/cronometro-meccanico-ultrak-1000>

<https://www.henryschein.it/it-it/p/monouso/siringhe-monouso/siringhe-sterili-monouso-senza-ago-siringa-da-3-ml/410136377>

<https://www.idroponica.it/tanica-in-plastica-20l~23462.html>

[https://www.igmaspa.it/our\\_project/sodio-esametafosfato/](https://www.igmaspa.it/our_project/sodio-esametafosfato/)

<https://www.leroymerlin.it/prodotti/giardino-e-terrazzo/attrezzi-da-giardino>

<https://www.maja.it/2021/02/23/acqua-distillata/>

<https://www.packari.com/it/Prodotti/Packaging-per-prodotti-chimici-industriali/Tanica-in-plastica-blu-25-litri-UN-sovrapponibile-con-tappo-a-vite-DIN-51-in-rosso>

[https://www.pearson.it/libroliquido/demo/2016/Geografia\\_SSSG\\_9788861602281/01\\_h\\_unit.html](https://www.pearson.it/libroliquido/demo/2016/Geografia_SSSG_9788861602281/01_h_unit.html)

<https://www.perlabo.it/becher/3795-becher-in-vetro-pyrex-forma-bassa-ml-5.html>

<https://www.pndshop.it/ct/ct20183/0/freatimetro-misura-livello-piezometrico>

[https://www.powderprocess.net/Checking\\_Powder\\_sieve.html](https://www.powderprocess.net/Checking_Powder_sieve.html)

<https://www.tecnopenta.com/prodotto/conduktivimetro-da-pozzo/#iLightbox>

[https://www.t-rafting.com/project\\_category/livelli-idrometrici/page/3/](https://www.t-rafting.com/project_category/livelli-idrometrici/page/3/)

[www.azlon.com](http://www.azlon.com)

[www.biosigma.it](http://www.biosigma.it)

[www.ltf.it](http://www.ltf.it)

[www.stanley.com](http://www.stanley.com)

## ***Ringraziamenti***

*In primo luogo, intendo ringraziare il gentilissimo relatore professore Alberto Tazioli, il quale grazie ai suoi consigli e alle sue conoscenze mi ha permesso di effettuare molte ricerche al fine della realizzazione di questo documento. Un'altra nota da elogiare è sicuramente la puntualità e la rapidità con le quali il professore mi ha permesso di svolgere in modo più che ottimale il mio lavoro.*

*Voglio ringraziare, inoltre, il correlatore dottore Davide Fronzi e la dottoressa Elisa Mammoliti. In particolare, il mio correlatore si è sempre reso in prima persona disponibile nell'aiutarmi a risolvere ogni mio problema, fornendomi consigli utili e dandomi molte dritte pratiche soprattutto nella redazione delle carte e nelle operazioni di campagna.*

*Ringrazio anche il tecnico del laboratorio di geotecnica ambientale dell'Università Politecnica delle Marche, il dottore Jonathan Domizi, il quale mi ha aiutato molto nella realizzazione delle analisi granulometriche, guidandomi nelle procedure più complicate ed effettuando qualche lettura quando nel mentre ero impegnato con le lezioni.*

*Intendo ringraziare, inoltre, i miei colleghi Andrea Scarponi e Francesco Osimani, i quali sono stati compagni di viaggio per me in questo lungo percorso durato quasi tre anni. Ogni esame passato grazie ad una preparazione impeccabile organizzata nei minimi dettagli grazie all'ausilio di questo gruppo studio che si è rilevato efficientissimo. Il lavoro di tesi e di tirocinio svolto insieme mi ha permesso di approfondire ogni argomento riguardante le indagini svolte nel bacino del Torrente Miano, senza che nessuno di noi si sia mai tirato indietro sebbene quell'indagine non fosse scopo del proprio elaborato.*

*Ringrazio anche tutti coloro che durante le indagini in campagna ci hanno calorosamente invitati ad effettuare un ristoro nelle proprie abitazioni, rendendoci il lavoro sicuramente più agevole e divertente.*

*In ultimo, ma non per importanza, voglio ringraziare i miei genitori, i quali mi sono sempre stati vicini e mi hanno aiutato a raggiungere questo mio obiettivo, un piccolo traguardo che rappresenta per me l'ennesimo punto di partenza.*