



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

*Corso di Laurea Magistrale in Geologia Applicata all'Ingegneria, al
Territorio e ai Rischi*

Tesi Sperimentale in Idrogeologia Applicata

*RAPPORTI TRA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA E DEPOSITI DI
ROCK AVALANCHE NEI BACINI DEI FIUMI AVENTINO E VELLA
(MAIELLA, ABRUZZO)*

Relatore: Prof. Marco Petitta

Laureanda: Paola Pizzarelli

Correlatore: Prof. Carlo Esposito

Matricola: 1226191

Anno Accademico 2013/2014

...A Papà e Mamma...

*Che io possa, con questo magnifico giorno,
compensare tutti i vostri sacrifici.*

ABSTRACT

This thesis is the result of a multidisciplinary study carried out in southern Majella, specifically in the areas of Lettopalena (CH) and Campo di Giove (AQ), which made it possible to analysis, compare and validate the results obtained with the different techniques of investigation. The study area is interested by extensive debris attributable to *Rock Avalanches* of Lettopalena and Campo di Giove.

Investigative activities focused on the hydrological, chemical and isotopic data of the springs, and included the physical and hydraulic characterization of the samples of the landslide. These activities were carried out with the purpose of verifying the relationship between groundwater circulation/surface water and debris deposits.

This thesis focuses on some fundamental points:

- measurement of flow rates with the purpose of quantify the contributions of the springs at rivers, which flow in the examined area, Aventino and Vella;
- hydrochemistry and isotopic characterization of water springs in order to define the chemical facies and the recharge area;
- characterization of the matrix of landslide deposits and their classification;
- verification of the role of hydrogeological bypass and shallow aquifer of debris deposits;
- verification of the hydrogeological role by permeability tests with permeameter at constant head;
- quantification of the contributions from the Maiella carbonate aquifer and the surface of the landslide of Campo di Giove.

The measurements of river flow showed infiltration of water in the landslide body of Lettopalena and the role of the shallow aquifer of the landslide of Campo di Giove, which provides an average flow rate of 270 L/s. Both cases are justified by the mean values of permeability coefficients.

The chemical analysis of the springs exhibit a calcium-bicarbonate facies, with enrichment of sulfate to the source of San Giustino and sodium, potassium and chloride for those emerging in the Vella river basin. Instead, the isotopic analyses have defined the areas of M. Porrara, Maiella and landslide of Campo di Giove as areas of recharge.

On the basis of particle size analysis, continental clastic deposits can be distinguished from moraine deposits on the basis of their sedimentary facies: differently of moraine deposits, deposits of Rock Avalanche have a predominantly sandy matrix (clay fraction rarely exceeds 40%).

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	
2.1 Inquadramento geografico	3
2.2 Inquadramento dell'Appennino Centrale.....	4
2.2.1 Inquadramento geologico-strutturale della Maiella.....	6
2.2.2 Successione stratigrafica	7
2.3 Assetto strutturale della Maiella meridionale	11
2.3.1 Struttura della Maiella.....	12
2.3.2 Struttura dei M. Pizzalto -Rotella – Porrara – Arazzecca.....	13
2.3.3 Struttura del M. Morrone	14
2.4 Inquadramento geomorfologico	14
2.4.1 Frana di Lettopalena.....	18
2.4.2 Frana di Campo di Giove	23
2.5 Inquadramento idrogeologico	32
2.5.1 Complessi idrogeologici	37
2.5.1.1 Idrostruttura della Maiella.....	40
2.5.1.2. Idrostruttura dei M. Porrara – Pizzalto	42
2.5.1.3 Idrostruttura del M. Morrone	43
2.5.2 Idrologia del Fiume Aventino	44
2.5.3 Idrologia del Fiume Vella	45
3. STRUMENTI E METODOLOGIE D'INDAGINE	46
3.1 Misura delle portate.....	46
3.1.1 Strumenti di misura	46
3.2 Analisi chimiche.....	50
3.2.1 Diagrammi di rappresentazione	50
3.1.2 Misura dei parametri chimico–fisici	52

3.3	Analisi isotopiche.....	54
3.3.1	Isotopi dell'ossigeno e dell'idrogeno	55
3.3.2	Correlazioni δD e $\delta^{18}O$	57
3.3.3	Correlazioni di δD e $\delta^{18}O$ con l'altitudine	61
3.4	Analisi granulometrica	63
3.5	Classificazione USCS	65
3.6	Determinazione del peso unità di volume del solido (γ_s).....	66
3.7	Prova di compattazione proctor	67
3.8	Prova di permeabilità	69
4.	RISULTATI E DISCUSSIONE	72
4.1	Bacino del fiume Aventino	72
4.1.1	Analisi idrogeologica	74
4.1.2	Analisi geochimica ed isotopica	80
4.1.3	Caratterizzazione della frana di Lettopalena.....	90
4.1.3.1	Caratterizzazione fisica ed idraulica	91
4.2	Bacino dell'alto fiume Vella	96
4.2.1	Analisi idrogeologica	98
4.2.2	Analisi geochimica ed isotopica	105
4.2.3	Caratterizzazione della frana di Campo di Giove	116
4.2.3.1	Caratterizzazione fisica ed idraulica	118
5.	CONCLUSIONI	126

BIBLIOGRAFIA

ALLEGATI

1. INTRODUZIONE

La Maiella sud-occidentale e sud-orientale è interessata da estesi corpi detritici presenti all'interno delle valli e delle conche intramontane dell'Appennino Centrale, i quali svolgono un ruolo di primaria importanza nella morfogenesi dell'attuale paesaggio. In particolare, tali depositi detritici, prodotti da fenomeni gravitativi puntuali noti in letteratura come *Rock Avalanches*, possono causare rispetto agli assetti idrologici la creazione di dighe di sbarramento naturali, variazioni dei reticoli idrografici, ma soprattutto possono costituire percorsi preferenziali di veicolazione e stoccaggio della risorsa idrica sotterranea (*Bianchi Fasani et alii, 2006*).

Lo scambio reciproco tra acque superficiali e sotterranee si verifica laddove c'è contatto idraulico tra serbatoi superficiali e acquiferi profondi sottostanti. Tale contesto idrogeologico è diffuso soprattutto in zone interessate da attività tettonica recente o in corso (*Cavinato & De Celles, 1999*), come avviene nell'Italia Centrale, dove le coperture detritiche di spessore significativo possono ospitare acquiferi con ottime capacità (*Petitta & Tallini, 2003; Scarascia Mugnozza et alii, 2006*).

In tale ottica si inserisce questa tesi, che propone di illustrare uno studio multidisciplinare tenutosi nella Maiella meridionale, precisamente nella zona di Lettopalena (CH) e di Campo di Giove (AQ), avente come finalità quello di analizzare i rapporti tra alimentazione, circolazione idrica superficiale/sotterranea e i depositi di *Rock Avalanches*.

Le sorgenti ubicate nell'area limitrofa al centro abitato di Lettopalena sono alimentate dall'idrostruttura della Maiella e da quella del M. Porrara, la quale riceve le acque infiltrate nel sistema carsico di Quarto Santa Chiara. Le emergenze che contribuiscono alla portata del fiume Aventino sono quelle di Capo di Fiume e quelle appartenenti al Gruppo di San Giustino.

Le sorgenti situate nell'area di Campo di Giove sono alimentate sia dall'idrostruttura della Maiella che da quella del Morrone, ma nelle porzioni dell'alto fiume Vella prevalentemente dalla prima. Nonostante le sorgenti che contribuiscono all'alimentazione del fiume Vella siano numerose, il loro contributo in termini di portata è modesto (*Nanni & Rusi, 2003*).

I detriti di frana delle *Rock Avalanches* di Lettopalena e Campo di Giove svolgono principalmente il ruolo di transfer idrico, ma il secondo, nella fattispecie, può essere considerato un vero e proprio acquifero superficiale, tanto da essere stato capace di erogare, nell'Agosto del 2003, un flusso di base variabile tra i 150 ed i 250 L/s (*Bianchi Fasani et alii, 2006*).

A tal proposito, gli stessi *Nanni & Rusi (2003)* hanno definito i detriti di conoide e di paleofrana acquiferi superficiali, ricaricati essenzialmente dalle acque di scioglimento delle nevi e da quelle di pioggia.

Sulla base di quanto detto sull'area di studio, la presente tesi è stata sviluppata seguendo delle attività sperimentali, precedute dalla consultazione bibliografica, svolte sia in ambito idrogeologico che di geologia applicata.

Le attività di campo, tenutesi nei mesi di Giugno, Luglio e Agosto 2013, includono:

- ✓ misura della portata e dei parametri chimico-fisici;
- ✓ campionamento delle acque di sorgenti per analisi chimica ed isotopica;
- ✓ campionamento della matrice dei depositi di frana.

Le misure di portata hanno consentito di quantificare i contributi di alimentazione ai due corsi d'acqua che scorrono nell'area in esame, F. Aventino e F. Vella, mentre le acque campionate sono state successivamente sottoposte ad analisi chimiche ed isotopiche. Quest'ultime a loro volta hanno permesso di caratterizzare le acque dal punto di vista idrogeochimico, di definire la facies chimica ed infine di determinare la quota media di ricarica isotopica.

Le acque delle sorgenti e dei fiumi interagiscono con gli accumuli detritici presenti nell'area di studio, e per interpretare il ruolo svolto da questi, sono stati campionati in diversi punti i depositi di tali corpi e successivamente analizzati mediante prove di laboratorio.

Le analisi di laboratorio dei campioni di frana, tenutesi nei mesi di Ottobre, Novembre 2013 ed Gennaio 2014, sono state svolte al fine di caratterizzarli dal punto di vista fisico ed idraulico, e vengono elencate di seguito:

- ✓ analisi granulometrica;
- ✓ determinazione del peso per unità di volume della fase solida (γ_s) e classificazione USCS;
- ✓ prova di compattazione proctor;
- ✓ prova di permeabilità con permeametro a carico costante.

Queste attività hanno permesso di definire quali siano le frazioni granulometriche costituenti il deposito di frana per poter escludere una eventuale origine glaciale, ma hanno avuto, prevalentemente, l'obiettivo di valutare la permeabilità dei detriti in modo da poter confermare il ruolo idrico svolto dagli stessi.

INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

2.1 Inquadramento geografico

L'area di studio di questa tesi è la Maiella meridionale, ubicata nella regione Abruzzo, che si eleva tra le province di Chieti, Pescara e l'Aquila, a soli 40 km dal Mar Adriatico. Essa costituisce l'unità carbonatica più esterna affiorante nell'Appennino centrale ed è posta al centro dell'omonimo Parco Nazionale della Maiella.

È costituita da più di 60 rilievi montuosi, con numerose cime che superano i 2500 metri sul livello del mare, come il Monte Amaro che con i suoi 2793 m s.l.m. rappresenta la seconda montagna dell'Appennino.

Le zone di studio di maggiore interesse sono quelle di campo di Giove (AQ) e Lettopalena (CH) (Figura 2.1), attraversate dal punto di vista idrografico rispettivamente dal F. Vella e dal F. Aventino.



Figura 2.1 - Ubicazione dell'area di studio (da Google Earth).

2.2 Inquadramento dell'Appennino centrale

La catena Appenninica è il risultato di un processo tettonico, iniziato alla fine del Mesozoico e tuttora in atto, che ha portato allo sviluppo di un sistema dinamico di catena-avanfossa-avampaese caratterizzato, in Appennino Centrale, dalla complessa giustapposizione di differenti domini paleogeografici meso-cenozoici, sviluppatisi lungo il margine meridionale della Tetide, ed alla formazione di cunei di depositi sinorogenici neogenici che scandiscono la progressione della deformazione a vergenza adriatica (*Malinverno & Ryan, 1986; Patacca & Scandone, 1989; Doglioni, 1991; De Celles & Giles, 1996*).

Nell'Appennino abruzzese, in particolare, convergono i domini paleogeografici della piattaforma carbonatica Laziale-Abruzzese (verso ovest) (*Accordi et alii, 1988*), della scarpata-bacino del Monte Genzana-Monte Greco (a sud e a ovest), del Gran Sasso (a nord), della piattaforma carbonatica Morrone-Pizzalto-Rotella (verso est) (*D'Andrea et alii, 1992*) e della piattaforma Apula nel settore più esterno.

Successivamente, a partire dal Miocene inferiore le piattaforme carbonatiche vengono coinvolte nell'orogenesi con una migrazione da sud verso nord, in concomitanza ad una fase di thrusting, la quale disarticola le varie piattaforme in unità tettoniche fino al Pliocene. Risultato di questa fase è la formazione di una serie di sovrascorrimenti, tra i principali ricordiamo: thrust dei Monti Lepini (Tortoniano sup.), thrust dei Monti Simbruini e di Olevano-Antrodoco (Messiniano inf.), thrust del Morrone, del Gran Sasso e della Marsica (Messiniano sup.-Pliocene inf.), thrust della Maiella (Pliocene inf.) (*Cavinato & De Celles, 1999*).

L'evoluzione dell'Appennino cambia ulteriormente nel Pliocene superiore, quando viene interessato da eventi tettonici distensivi e da un generale sollevamento, che hanno ulteriormente disarticolato il precedente assetto geometrico, (*Patacca et alii; 1991; Cavinato & De Celles, 1999; Ghisetti & Vezzani, 1999*). Si sono realizzati, quindi, importanti sistemi di faglie a carattere distensivo che hanno condotto alla formazione dei tipici bacini intramontani che caratterizzano il settore appenninico centrale (*Cavinato & De Celles, 1999*). I bacini intramontani si sono formati dall'incontro di faglie distensive con rampe di thrust più profondi, provocando l'innalzamento di fronti di sovrascorrimenti già esistenti. Ha così avuto luogo la strutturazione, prima in ambiente marino e poi in ambiente subaereo, dell'area abruzzese così come la conosciamo oggi, articolata in dorsali quali Velino-Sirente, Marsica, Gran Sasso, Maiella e depressioni, definite poco prima come bacini intramontani, quali la Piana del Fucino, la Piana di Sulmona, la Conca Aquilana, Campo Imperatore, Campo di Giove, la Conca Subequana, Campo Felice, Rieti e Leonessa (Figura. 2.2)

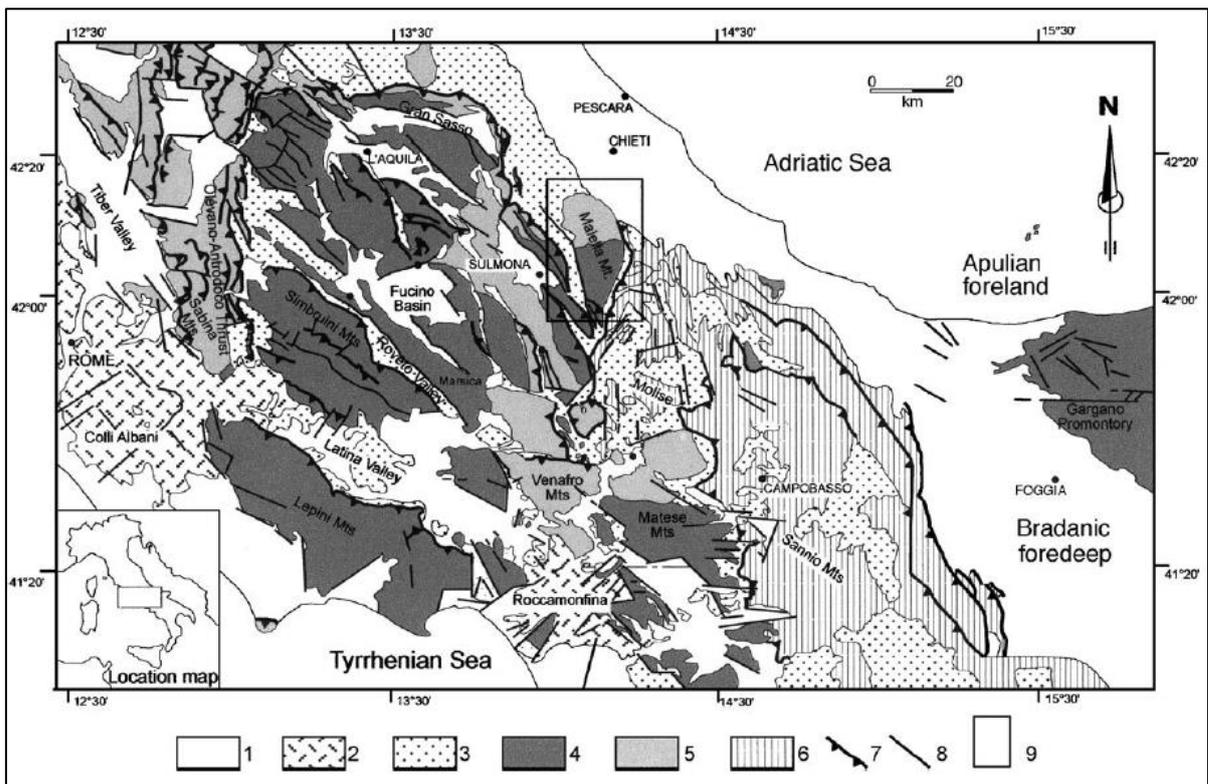


Figura 2.2 – Mappa geologica e strutturale semplificata dell’Appennino centrale. 1- Depositi marini e clastici continentali (Pliocene-Quaternario); 2) Depositi vulcanici (Pleistocene); 3) Sequenze torbiditiche ed emipelagiche sinorogeniche (Tortoniano-Pliocene); 4) Depositi di piattaforma carbonatica (Trias – Miocene medio); 5) depositi di slope e di margine (Lias-Miocene); 6) Depositi pelagici Molise-Sannio (Cretaceo-Miocene); 7 – Sovrascorrimenti; 8) Faglie normali e trascorrenti; 9) – Ubicazione dell’area studiata (da Di Luzio et alii, 2004, modificata).

La forma di questi bacini viene ulteriormente modificata dall’azione di una faglia collocata sul margine orientale del bacino stesso, conferendo in questo modo una forma asimmetrica e determinando la formazione di tutta una serie di halfgraben con notevole rigetto (Cavinato & De Celles, 1999).

In conclusione, tale assetto morfostrutturale è il risultato dell’intensa evoluzione geodinamica della catena, che ha determinato l’accavallamento di diverse unità tettoniche verso est e della successiva fase distensiva che ha prevalentemente agito lungo i fianchi occidentali delle dorsali stesse. Di conseguenza, si hanno strutture montuose caratterizzate da fronti di sovrascorrimento sui fianchi orientali e da faglie dirette su quelli occidentali, separate da depressioni colmate da sedimenti silico-clastici a direzione appenninica (NW-SE) (Bianchi Fasani, 2004).

2.2.1 Inquadramento geologico-strutturale della Maiella

La dorsale della Maiella si struttura dal corrugamento pliocenico della piattaforma Apula interna, che ha portato alla emersione di una grande e regolare piega anticlinale asimmetrica a vergenza orientale (*Nanni & Rusi, 2003*). Essa comprende termini appartenenti al prisma accrezionale, formatosi a partire dal Neogene lungo il margine settentrionale della placca Africana in subduzione al di sotto di quella Europea (*Malinverno & Ryan, 1986; Patacca & Scandone, 1989; Doglioni, 1991; Cosentino et alii, 2010*).

L'area della Maiella è stata sede della deposizione in ambiente di piattaforma carbonatica, iniziata come risultato della tettonica Giurassica legata alla fase di *rifting* che ha interessato la piattaforma continentale nord-africana. A partire dal Cretacico, nell'area della Maiella, in corrispondenza di una notevole scarpata di origine tettonica, si sono differenziate un'area meridionale dove ha persistito una deposizione in ambiente di piattaforma interna ed un'area settentrionale dove si sono invece instaurate condizioni deposizionali di tipo pelagico (*Morsili et alii, 2002*).

In particolare, il massiccio della Maiella comprende termini depositi sul bordo nord-occidentale della più ampia piattaforma carbonatica Apula. Le facies carbonatiche affioranti e quelle riscontrate nelle perforazioni petrolifere permettono di suddividere la struttura, a partire dal Lias medio-superiore fino all'Oligocene, procedendo da sud verso nord, in un dominio di piattaforma interna, un dominio di scogliera e soglia e un dominio pelagico. A partire dall'Oligocene inferiore, la sedimentazione assume caratteri di rampa carbonatica che sutura le precedenti facies. Con il Miocene superiore si instaura una sedimentazione evaporitica che prelude poi a quella terrigena che prosegue fino al Pliocene superiore e Pleistocene (*Nanni & Rusi, 2003*).

All'inizio del Pliocene inferiore il dominio della Maiella è incorporato nell'avanfossa appenninica (*Patacca et alii, 1991; Centamore et alii, 1992; Cipollari et alii, 2001*), e successivamente, al termine del Pliocene inferiore, viene coinvolto nella strutturazione dell'Appennino. La presenza di un ciclo sedimentario del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, in affioramento lungo il margine nord-orientale del Massiccio, ricopre la sequenza con una considerevole discordanza angolare, implicando di conseguenza che il processo di *thrusting* è da considerarsi ultimato prima del Pliocene superiore (*Patacca et alii, 1991; Ghisetti et alii, 1994*).

Le ipotesi riguardanti le caratteristiche strutturali del massiccio della Maiella sono numerose, *Scisciani et alii (2000)* evidenziano il significativo ruolo pre-*thrusting* svolto dalle faglie normali, in grado di influenzare in maniera basilare l'attuale assetto del massiccio; nella loro interpretazione, durante il Pliocene inferiore la Maiella costituisce un alto strutturale, bordato

da faglie normali a loro volta controllate dallo sviluppo dell'avanfossa. Tutte queste evidenze di una tettonica distensiva sono state in seguito tagliate, ruotate e passivamente trasportate durante i successivi processi di piegamento e thrusting della catena.

E' possibile affermare che l'area presa in esame deriva da un'evoluzione neogenica di un sistema orogenico di tipo catena-avanfossa-avampaese in cui si possono delineare fasi di migrazione degli sforzi prevalentemente compressivi dai settori occidentali (peritirrenici) verso quelli più orientali (adriatici). A queste fasi compressive, a partire dal Miocene superiore, segue una tettonica prettamente distensiva, anch'essa caratterizzata dalla stessa migrazione da W verso E (*Società Geologica Italiana, 2003*).

2.2.2 Successione stratigrafica

L'area della Maiella è una zona di transizione di facies in tutta la serie dal Lias medio-superiore all'Oligocene; questo passaggio avviene con forti variazioni di spessore delle formazioni mesozoiche con una conseguente disarmonia fra l'assetto strutturale di superficie e quello profondo (*Donzelli, 1998*).

A causa di questa complessità della struttura, è possibile riconoscere tre province geologiche ben distinguibili litologicamente e paleontologicamente, rappresentate rispettivamente dalla facies pelagica, di scogliera e soglia, e di piattaforma carbonatica, non è possibile descrivere univocamente la successione stratigrafica. Di seguito si descrive la successione dal basso verso l'alto per ciascuno dei domini carbonatici fino all'Oligocene, quindi, dall'Oligocene al Pliocene superiore, la serie univoca terrigena (*Nanni & Rusi, 2003*).

Successione pre-liassica

Formazione di Castelmanfrino (Trias sup. – Lias inf.): costituisce l'unità più antica della successione e il substrato dell'intera struttura (*Donzelli, 1998*), è formata da dolomie saccaroidi grigie e fratturate. Mai visibili in affioramento, sono state riscontrate esclusivamente nei pozzi Maiella 2 e Cigno 2. L'equivalente della Castelmanfrino nella serie umbro-marchigiana è il Calcare massiccio. Lo spessore totale della formazione, difficilmente ricostruibile, può essere ricondotto a circa 1000 m-1500 m.

Successione di piattaforma carbonatica (retroscogliera)

Formazione Morrone di Pacentro (Lias sup. – Cretaceo Inf.): è costituita da calcari compatti a grana fine o microgranulare stratificati in strati e banchi spessi da alcuni decimetri ad alcuni metri. Lo spessore massimo della formazione è di circa 1400 m.

L'ambiente di deposizione di piattaforma è di mare poco profondo (poche decine di metri), in acque che avevano uno scarso ricambio con il mare aperto. Il forte spessore dell'unità è giustificato da un'accentuata continua subsidenza del substrato.

Formazione Acquaviva equivalente (Albiano – Senoniano): di recente nominata Formazione Fondo Maiella (*Vecsei, 1991*), è costituita da calcari compatti a grana fine ed omogenea, stratificati, intervallati da calcareniti, calciruditi e calcari organogeni biostromali in grossi banconi ricchi in rudiste (prevalenti nella parte centrale del massiccio). Lo spessore della formazione varia dai 350 m ai 650 m.

Membro Orfento (Maastrichtiano – Paleocene p.p.): complesso di banconi calcarenitici cristallini a grana omogenea, porosi, in matrice pulverulenta, talora poco coerenti, stratificati in grossi banchi di spessore decametrico. L'unità è stata elevata al rango di Formazione (*Vecsei, 1991*) ed ha uno spessore variabile dai 100 ai 250 m.

Formazione S. Spirito di piattaforma (Paleocene-Oligocene): costituita da calcari compatti a grana fine stratificati in strati e banchi, presenta spessori variabili dai 250 m ai 50 m.

Successione di scogliera e soglia

Formazione Terratta (Lias superiore – Cretaceo inferiore): costituita da calcari bioermali e da calcareniti organogene, è eteropica della formazione Morrone di Pacentro e delle formazioni Cigno e Maiolica.

Formazione Monte Acquaviva (Albiano-Senoniano): nella facies di avanscogliera, nominata successivamente Cima Murelle (*Vecsei, 1991*), si distinguono calcilutiti, calcareniti e calciruditi organogene a Rudiste. Nella facies di scogliera, rinominata *Formazione delle Tre Grotte* (*Vecsei, 1991*), si hanno calcari a Rudiste, a Coralli e a Nerinee e calciruditi organogene. Lo spessore delle facies di avanscogliera sfiora i 1200 m, quello della facies di scogliera varia dai 400 m ai 600 m.

Formazione S. Spirito di avanscogliera (Paleocene-Oligocene): costituita da calciruditi, calcareniti e calcilutiti. Nella facies neritica, affiorante all'apice dei maggiori rilievi della Maiella prevalgono le calcareniti cristalline medio-grossolane, nummulitiche, ben stratificate. Lo spessore varia dai 200 ai 300 m.

Successione pelagica

La *successione pelagica* della Maiella dal Giurassico all'Eocene si rinviene esclusivamente in perforazioni petrolifere a nord della struttura (campo Cigno e pozzo Maiella 2) con spessori di ciascuna formazione di alcune centinaia di metri. In essa è possibile riconoscere i caratteri della Formazione Cigno, Corniola, degli Scisti ad Aptici, Maiolica, Scisti a Fucoidi, Scaglia e Scaglia Cinerea-S. Spirito in facies pelagica, costituite da alternanze di calcari e calcareniti, calcari marnosi e marne, talora con contenuto variabile in silice. Il carattere terrigeno della sedimentazione aumenta verso l'alto.

Successione evaporitica-terrigena

Formazione Bolognana (Oligocene Superiore-Miocene medio). È suddivisibile in tre membri (Donzelli, 1998): Civita, Roiano ed Orta.

Il primo membro è costituito da calcareniti organogene porose a Briozoi stratificate, il cui spessore supera di poco i 100 m.

Il secondo membro, Roiano, è costituito da calcari marnosi, marne calcaree e calcareniti fini regolarmente e sottilmente stratificati, il suo spessore massimo è di 100 m.

Il terzo membro è costituito prevalentemente da calcari organogeni e calcilutiti a Litotamni, dello spessore variabile tra 20 e 100 m.

La serie completa dei tre membri affiora estesamente nella Maiella Settentrionale, sul fianco orientale affiora in modo discontinuo e manca del Membro Roiano, mentre ancora più a sud si apre una lacuna nell'Oligocene sup. – Miocene per cui si osserva solo il Membro Orta trasgressivo sulle unità cretatiche e paleogeniche.

Formazione Gessoso-Solfifera (Messiniano): è costituita prevalentemente da argille, argille marnose, marne e marne tripolacee, gessi micro e macro cristallini, anche ricristallizzati, distribuiti in masse lenticolari di spessore variabile da 10 a 100 m, marne gessose, calcari di deposizione chimica distribuiti all'interno delle facies prettamente argilloso marnose.

Formazione Fara (Pliocene inferiore): trasgressiva sulle unità sottostanti, è costituita da argille marnose grigio azzurre con straterelli siltoso arenaci o sabbiosi. Affiora estesamente nelle zone tettonicamente depresse attorno alla struttura con spessore variabile da 800 m ad oltre 1000 m. La variabilità dello spessore è funzione del grado di subsidenza dell'area di sedimentazione.

Formazione Mutignano (Pliocene Superiore): è costituita da argille marnose grigio azzurre con rare intercalazioni sabbiose, risulta trasgressiva sulle unità sottostanti. Affiora nell'estremità nord-orientale della struttura. Il suo assetto è suborizzontale, con deboli

immersioni verso N-E, e la totale discordanza con le formazioni più antiche indicherebbe che nel Pliocene medio si sarebbe verificato il principale e definitivo sollevamento della Maiella. In alto, il ciclo sedimentario si chiude con sabbie e conglomerati regressivi, terrazzati e conservati a quote che, sulle pendici nord-orientali della Maiella, raggiungono i 550 m - 600 m.

Depositi quaternari

Detriti di falda e conoidi, detriti di frana, alluvioni di fondovalle (Quaternario): estese e potenti coperture detritiche sono distribuite lungo le fasce pedemontane, talora mascherando il limite tra i rilievi carbonatici e le unità terrigene. La maggiore diffusione si ha nel graben di Caramanico lungo tutto il versante occidentale della Maiella; altri affioramenti sono presenti tra Palena e Guado di Coccia; tra Palena e Taranta Peligna ritroviamo un grosso corpo di frana e una stretta fascia fra Lama dei Peligni e Fara S. Martino. Notevoli estensioni di detrito da disfacimento crio-nivale si ubicano a quote superiori ai 2200 m - 2400 m s.l.m. e all'interno delle doline presenti lungo l'allineamento Tavola Rotonda – Monte Amaro.

I principali corpi di conoide sono presenti nel versante occidentale nella parte delle valli dell'Orta e del Vella. Depositi alluvionali di fondo valle, quasi sempre di spessore esiguo e di pezzatura grossolana, si riscontrano nel talweg dei principali corsi d'acqua come l'Aventino, il Lavinio, l'Orfento e l'Orta.

2.3 Assetto strutturale della Maiella meridionale

L'area in esame, Maiella meridionale, è interessata principalmente dalle seguenti strutture (Figura 2.3):

- Struttura della Maiella;
- Struttura dei Monti Pizzalto – Rotella – Porrara - Arazzecca;
- Struttura del Morrone.

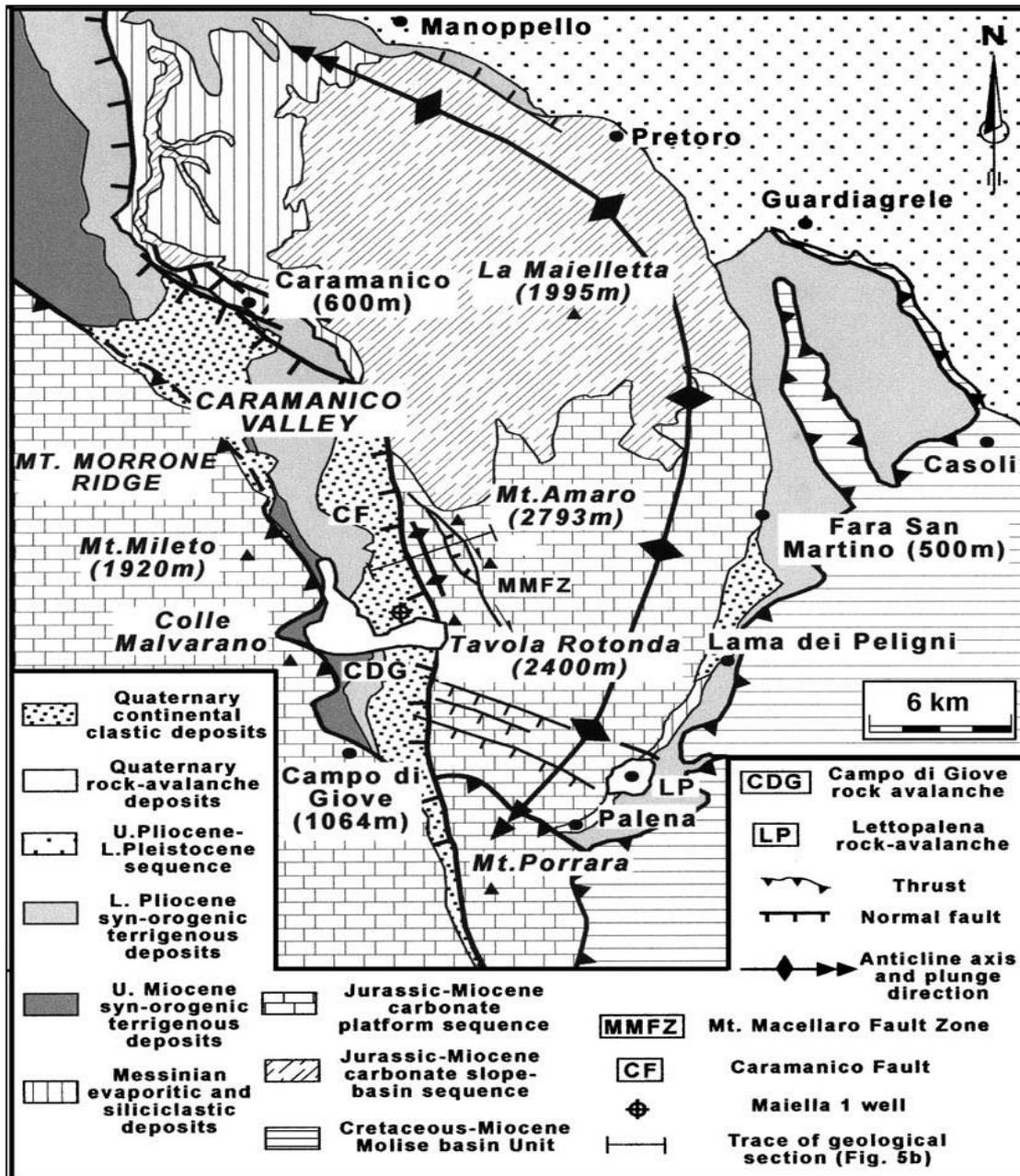


Figura 2.3 – Mappa geologica e strutturale semplificata del Massiccio della Maiella

(da Scisciani et alii, 2000, modificata).

2.3.1 Struttura della Maiella

La Maiella è una gigantesca piega anticlinale asimmetrica a vergenza orientale, originatasi dal corrugamento pliocenico della piattaforma apula interna, con fianco orientale da subverticale a rovesciato. Essa è costituita da un'ampia zona di cerniera e da un asse che mostra una progressiva deflessione da orientazioni NW-SE nella zona di Alanno, Caramanico e Pennapedimonte, a N-S nella Maiella centrale ad a NNE-SSW a sud di Fara San Martino. Tale deviazione le conferisce un'accentuata convessità verso ENE.

L'asse dell'anticlinale immerge verso NNW, con inclinazioni di 10°-15°, dalla culminazione assiale di M. Amaro – M. Acquaviva, la zona morfologicamente più elevata della Maiella, l'asse anticlinalico si inflette verso sud, con inclinazioni di 15°-20°, fino alla direttrice Palena-Guado di Coccia, dove la struttura è troncata dal sovrascorrimento dell'unità del M. Porrara.

La parte meridionale del fianco orientale della Maiella presenta una inclinazione variabile da 10°-15° nella zona assiale Tavola Rotonda- M.Amaro – M. Acquaviva a pendenze sempre maggiori fino a 30°-45° nella fascia fra Palena e Lama dei Peligni. Procedendo verso nord le pendenze aumentano progressivamente dove gli strati calcarei si immergono sotto la fascia detritica con pendenze di 50°-70°.

Strettamente collegato alla disputa sull'autoctonia o alloctonia della Maiella, il contatto tettonico orientale della struttura è oggetto di notevoli disparità di opinioni. A tal proposito *Donzelli (1998)* ritiene che non solo non appartenga ad una falda alloctona, ma che neanche sia una struttura sovrascorsa di pochi km, perciò esclude che il fianco orientale sia limitato da faglie inverse o da accavallamenti di importanza regionale in quanto inesistenti in affioramento. Secondo l'autore quindi, la Maiella, rappresenterebbe il risultato dell'ultima spinta dell'orogenesi appenninica che si andava gradualmente smorzando contro l'avampaese formando così la struttura di una grande piega ginocchio con fianco orientale da subverticale a localmente rovesciato. In contrapposizione a tal pensiero, ci sono quelli di diversi autori, tra cui quello di *Mostardini & Merlini (1986)*, che riconoscono, invece, sulla scorta di evidenze di superficie e di dati gravimetrici, la presenza di un esteso sovrascorrimento che avrebbe permesso l'accavallamento della Piattaforma Apula interna su quella esterna.

Interpretazioni meno controverse sono, invece, quelle sui restanti limiti della struttura della Maiella che sono il risultato di dati oggettivi derivanti da perforazioni petrolifere.

Verso ovest l'anticlinale è sovrascorsa dalle scaglie frontali del M. Morrone sviluppate da Colle Cantalupo a Campo di Giove (zone a scaglie di *Ghisetti et alii, 1994*), mentre da Caramanico verso sud la struttura è troncata da un'importante faglia normale a direzione N-S (Faglia della Maiella), leggermente obliqua rispetto alla superficie assiale dell'anticlinale della Maiella, con un rigetto che dai pochi metri della zona di Caramanico arriva a superare i

4 km nella zona tra Passo S. Leonardo e Campo di Giove, per poi diminuire di nuovo verso sud. Ad ovest della Maiella si colloca la depressione di Caramanico, uno stretto corridoio di sedimenti terrigeni delimitato ad E dalla faglia normale della Maiella, a SW dal fronte del sovrascorrimento del M. Morrone, sviluppatosi con direzione NW-SE per circa 20 km dalla valle del Pescara fino a Campo di Giove dove è troncato dal sovrascorrimento del M. Porrara. Subparallelo al fronte dei carbonati del Morrone decorre il contatto di sovrapposizione tettonica del Flysch del M. Porrara sulla Formazione Fara (Flysch della Maiella). Verso N-NW la piega si immerge sotto i depositi d'avanfossa pliocenici.

A Guado di Coccia la struttura mostra terminazioni periclinali, ma è interrotta dal contatto con la monoclinale del M. Porrara; movimento tettonico che viene attribuito a faglia inversa (*Crostella et alii, 1962*) e al sovrascorrimento del M. Porrara sulla Maiella (*Crostella, 1967*).

L'anticlinale della Maiella è intersecata al suo interno da numerose faglie che si inquadrano in diversi sistemi longitudinali, trasversali od obliqui all'andamento strutturale. Prevale la direttrice NW-SE nel settore settentrionale, mentre in quello centrale sono più frequenti le direttrici E-W, N-S, NE-SW. Frequentemente le faglie sono di tipo diretto anche se non mancano quelle inverse, soprattutto sul fronte orientale della struttura. Il loro rigetto è generalmente modesto, sull'ordine dei metri o decine di metri.

2.3.2 Struttura dei Monti Pizzalto – Rotella – Porrara - Arazzecca

Queste unità presentano delle complessità strutturali piuttosto articolate. Il limite settentrionale di tali strutture, comune a tutte, si identifica con la deformazione riscontrabile nella valle del F. Vella e con il contatto dei carbonati neritici con i depositi della Piana di Sulmona. Tra le diverse unità, quella di rilievo nell'area in esame è quella del Monte Porrara.

L'unità del Monte Porrara è ubicata ad oriente della sottounità del Monte Pizzalto. È chiusa nei settori orientali e meridionali dal contatto stratigrafico tra i depositi carbonatici di piattaforma e quelli del bacino molisano. Questa unità è la struttura più orientale ed è una monoclinale che immerge ad est con inclinazioni degli strati tra 45° e 25°, e con giaciture rovesciate in prossimità della troncatura operata dalla Linea Volturno-Sangro. Sul suo lato occidentale, tra Campo di Giove ed il Valico della Forchetta, la monoclinale del Monte Porrara è troncata, con forte rigetto, dalla faglia normale della Maiella

2.3.3 Struttura del Monte Morrone

L'unità di Monte Morrone costituisce strutturalmente un'anticlinale asimmetrica rovesciata, a direzione NW-SE, a vergenza Adriatica, che si raccorda verso SE con la scaglia del M. Porrara, ed è troncata verso Nord dal sistema di faglie Avezzano-Bussi.

All'altezza di Pacentro la struttura del M. Morrone è interrotta da una faglia ad alto angolo, a direzione E-W, subparallela al F. Vella, che disloca il piano di sovrascorrimento frontale con componenti prevalentemente normali. A sud del F. Vella l'Unità del Monte Morrone si suddivide nelle scaglie di M. Porrara, M. Pizzalto., M. Rotella e M. Arazzecca, troncate ad est da fronti di accavallamento est-vergenti e ad ovest da faglie normali che tagliano obliquamente i fronti di accavallamento orientali, delimitando strette dorsali calcaree, rastremate verso sud (*Ghisetti et alii, 1997*). Il margine settentrionale di questa struttura è situato presso le gole di Popoli.

2.4 Inquadramento geomorfologico

La Montagna della Maiella si eleva maestosa e compatta a meno di 40 km dal litorale adriatico. La proiezione in piano del massiccio è quella di un ellissoide con asse N-S quasi coincidente con le massime elevazioni del gruppo. Caratteristica tipica è quella di possedere vasti pianori al di sopra dei 2500 m che superano completamente quelli di tutti gli altri rilievi appenninici (*Catenacci, 1974*).

La dorsale della Maiella, dopo il Gran Sasso, costituisce il più alto massiccio dell'Appennino, raggiungendo con Monte Amaro la quota di 2793 m. L'altitudine media del massiccio (1360 m) è di circa 300 m superiore a quella del gruppo Gran Sasso (1054 m.), mentre circa il 20% dell'area della Maiella si trova al di sopra dei 1500 m contro appena il 5% del Gran Sasso (*Jaurand, 1998*). *Giraudi (1998)*, su base cartografica, determina che le zone poste al di sopra delle quote 2000 m e 2500 m hanno rispettivamente area pari a 59 e 11 km², e come le aree poste a quote superiori a 2000 m costituiscono una fascia lunga in media 25 km e larga 6 km; mentre nel Gran Sasso le zone al di sopra di tale limite delimitano una striscia lunga in media 25 km e larga poco più di 2 km (*Bianchi Fasani, 2004*).

L'attuale assetto morfostrutturale del massiccio della Maiella è legato a due importanti fasi geodinamiche: la strutturazione della piega, riferibile al Pliocene, ed il sollevamento regionale pleistocenico. Come conseguenza del susseguirsi di tali fasi, la Maiella ha assunto nel suo insieme una morfologia fortemente condizionata dall'assetto strutturale della piega.

La principale evidenza morfologica è costituita dalla marcata asimmetria esistente tra il versante occidentale e quello orientale della struttura.

Il versante occidentale, è caratterizzato da un'acclive scarpata morfologica che separa le vette più alte M. Macellaro (2636 m) e M. Amaro (2793 m) dalla valle di Caramanico (1100 m-1300 m) e dal massiccio del Morrone. Tale versante è il risultato dell'azione della faglia diretta di Caramanico, contraddistinta da una dislocazione verticale massima di circa 3500 m e dalla successiva erosione della sua scarpata tettonica (Di Luzio et alii, 2004). La valle di Caramanico ha una morfologia con una forte impronta strutturale essendo compresa tra il fronte di sovrascorrimento del Morrone ad ovest, di cui costituisce il footwall, e appunto, la faglia di Caramanico della quale rappresenta l'angingwall. Al contrario, il versante orientale ricalca fortemente la struttura della parte frontale dell'anticlinale, avendo inclinazione e direzione circa parallele a quelle della stratificazione che è suborizzontale nella zona di cresta ed aumenta progressivamente spostandosi verso est. Ne risulta, quindi, un versante marcatamente convesso, che addirittura ha un ginocchio morfologico nella parte bassa, laddove l'inclinazione degli strati subisce un forte aumento fino ad arrivare ai 40°-50° in prossimità del fondovalle (Figura 2.4 - 2.5).

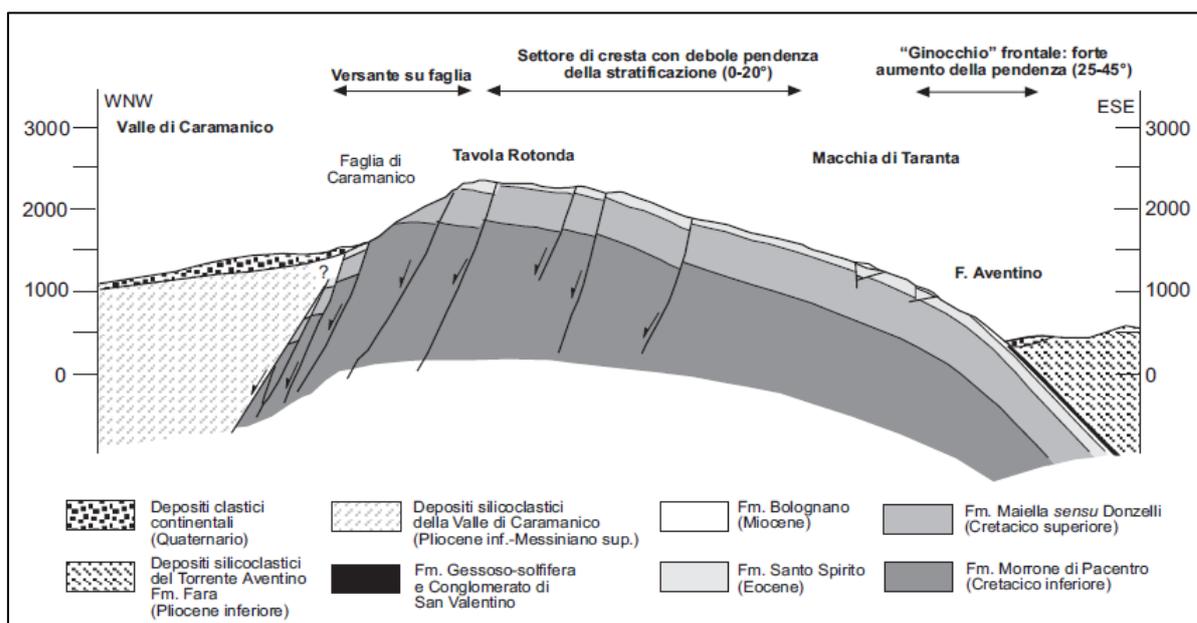


Figura 2.4 – Profilo geologico del settore meridionale del Massiccio della Maiella
(da Donzelli 1969, modificata).

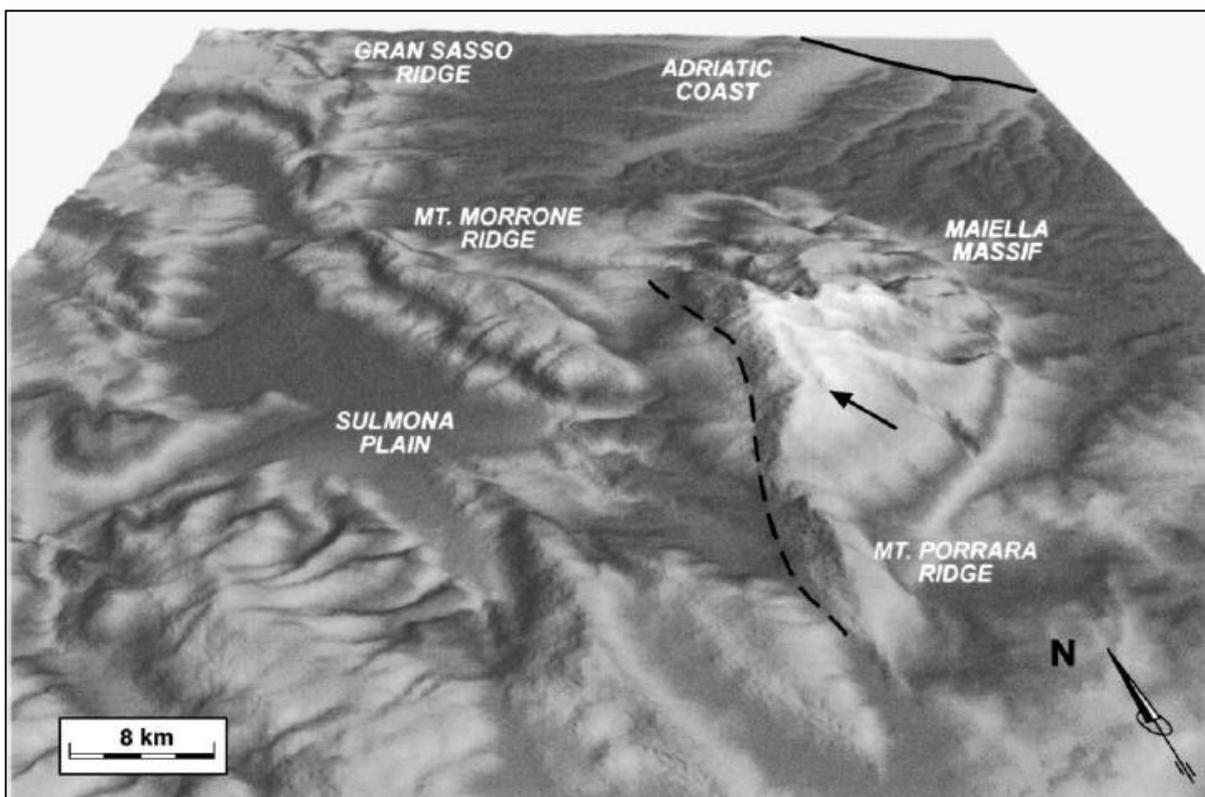


Figura 2.5 - Modello digitale di elevazione del massiccio della Maiella e dell'area circostante
(da Di Luzio et alii, 2004, modificata).

Come conseguenza di tale assetto morfostrutturale, il versante occidentale è interessato da fenomeni gravitativi riconducibili alla notevole energia connessa con le differenze di quote tra la sommità della struttura ed il fondovalle generate dalla faglia di Caramanico, che ha determinato lungo il bordo occidentale del massiccio della Maiella una fascia di risentimento caratterizzata da un'elevata densità di fratturazione.

Ulteriori evidenze geomorfologiche testimoniano inoltre l'esistenza di fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV), che contribuiscono all'evoluzione del paesaggio dell'intero settore cresta-versante. A tal proposito, l'intero bordo occidentale, è regolato da una prima doppia cresta, che dividendo le cime di M. Amaro e M. Macellaro, individua la formazione del Vallone di Femmina Morta; una secondaria e locale è situata sul bordo settentrionale dell'anfiteatro di Fondo Maiella (spalla destra della frana di Campo di Giove), area che riflette una deformazione attiva che ha ribassato la sequenza di rampa e piattaforma carbonatica di circa 50 m.

Il versante orientale, definibile come un versante strutturale, è prevalentemente affetto da processi di scivolamento planare che si impostano lungo i piani di strato, proprio a causa della particolare conformazione convessa del versante (frana di Lettopalena) (Demangeot, 1965; Paolucci et alii, 2001).

L'Appennino centrale è stato interessato da flussi granulari, massivi che si muovono dalle dorsali verso valle, noti in letteratura come *Rock Avalanches*. Tali fenomeni coinvolgono volumi di roccia dell'ordine di milioni di m³ ed aree piuttosto estese, inducendo effetti drammatici (*Bianchi Fasani et alii, 2014*). Infatti, diversi sono gli affioramenti di depositi clastici continentali Quaternari che sono stati appunto identificati come resti di *Rock Avalanches* (*Nicoletti et alii, 1993; Cinti et alii, 2001; Paolucci et alii, 2001; Di Luzio et alii, 2004; Scarascia Mugnozza et alii, 2006; Bianchi Fasani et alii, 2011*).

Le *Rock Avalanches* che interessano l'area in esame, sono quelle di Lettopalena e Campo di Giove ubicate, rispettivamente, sui versanti orientale e occidentale della Maiella meridionale.

I depositi detritici di tali fenomeni franosi possono svolgere un ruolo di circolazione preferenziale di veicolazione, o comunque di by-pass idrico nei confronti delle strutture carbonatiche adiacenti, e di sbarramento. Evidenze di sbarramento del paleodrenaggio sono i depositi lacustri argillosi, utilizzati per la datazione dei corpi di frana, formati a seguito dell'evento franoso; questi non sono solo depositati nell'area in esame, ma anche nel caso della *Rock Avalanches* di Scanno che ha portato alla formazione dell'attuale Lago di Scanno a causa dello sbarramento della valle del Sagittario.

2.4.1 Frana di Lettopalena

La frana di Lettopalena è situata lungo il fianco sud-orientale della Maiella e sul suo accumulo detritico, affiorante sul versante opposto in destra idrografica del F. Aventino, è ubicato il centro abitato di Lettopalena (CH).

La successione stratigrafica è stata ampiamente definita nei capitoli precedenti, ma di seguito viene ripresa, esclusivamente, quella affiorante lungo il versante orientale della montagna della Maiella, che è rappresentata alla base da depositi di rampa carbonatica dell'Eocene–Oligocene (Formazione di Santo Spirito). Seguono i termini miocenici della Formazione Bolognano (*Donzelli, 1969; Crescenti, 1969; Danese, 1999*) distinguibili, in questo settore della Maiella, in quattro membri informali (Calcari a Briozoi, Calcari ad Orbulina, Calcari a Lithotamnium, Marne lastriformi). Al di sopra della sequenza carbonatica poggiano pochi metri della successione evaporitica (Formazione Gessoso Solfifera) ed il livello massivo dei Conglomerati di San Valentino, al quale segue il flysch argilloso–arenaceo della Formazione Fara (*Donzelli, 1969*) (Figura 2.6).

Il contesto geomorfologico in cui la frana si è verificata mostra condizioni favorevoli alla formazione di una diga naturale per sbarramento del F. Aventino, la cui valle è caratterizzata da un profilo asimmetrico e particolarmente acclive sul fianco in sinistra idrografica, dove affiorano le unità carbonatiche della Maiella (*Paolucci et alii, 2001*). Dal punto di vista fisiografico nell'area in esame è evidente il contrasto morfologico esistente tra gli aspri rilievi carbonatici ad ovest, con quote che superano i 2000 m s.l.m., ed il paesaggio collinare prevalentemente argilloso dell'area pedemontana orientale, con altezze medie inferiori ai 900 m. Il passaggio tra i due settori è marcato dalla profonda incisione della valle del fiume Aventino, che costituisce il livello di base dell'area.

Il deposito di frana non affiora lungo la sponda occidentale del fiume Aventino, fatta eccezione una piccola area terrazzata dove sono conservati alcuni blocchi dovuti, molto probabilmente, all'impatto della massa detritica in movimento con il versante opposto (*Bianchi Fasani et alii, 2014*). Infatti, nell'immediato post-evento franoso è stato rinvenuto, in sinistra idrografica del fiume Aventino e nella parte distale dell'accumulo, un lembo residuo di frana ad una quota di circa 570 m s.l.m., caratterizzato morfologicamente da una superficie relitta, debolmente, inclinata verso valle; il deposito è risalito in contropendenza (run-up) sui termini terrigeni, valutabile in circa 150-160 m, calcolati tra la quota attuale dell'alveo del fiume Aventino e la sommità del deposito (*Paolucci et alii, 2001; Bianchi Fasani, 2004*). Inoltre, il deposito di frana ha occupato, almeno in corrispondenza della sua parte distale, il fondovalle, formando una diga in grado di svolgere un ruolo di sbarramento ai danni del corso fluviale, prima della successiva erosione operata dallo stesso. Questo è confermato dalla

presenza di depositi di tipo lacustre e/o palustre nel sito di Ponte Romano, posto a monte dell'accumulo di frana (*Bianchi Fasani, 2004*).

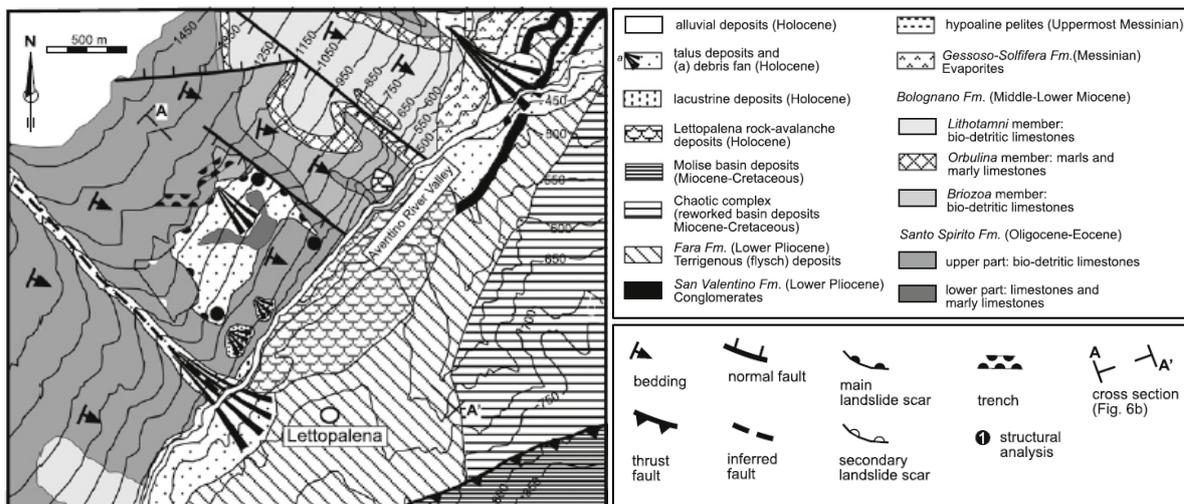


Figura 2.6 – Schema geologico dell'area di Lettopalena (*da Bianchi Fasani et alii, 2014, modificata*).

Paolucci et alii (2001) definiscono come principale fattore di innesco della frana di Lettopalena un evento sismico, verificatosi all'incirca a metà dell'Olocene durante un periodo caratterizzato da condizioni climatiche particolarmente umide, in un contesto morfoevolutivo, tuttora attivo, che ha condotto il F. Aventino all'incisione delle unità pelitiche plioceniche ed allo scalzamento al piede di un settore del versante orientale della Maiella.

Nel contributo di *Bianchi Fasani (2004)* sono stati ipotizzati due distinti scenari pre-evento:

- il primo in cui il corso fluviale occupava anche nella situazione pre-evento un fondo vallivo posto al contatto tra la struttura carbonatica ed il terrigeno;
- il secondo scenario, invece, farebbe supporre un precedente deflusso all'interno dei depositi terrigeni e che in seguito alla frana sia stato sbarrato, per incidere solo successivamente il corpo di frana assumendo l'attuale andamento, rettilineo ed incassato nel tratto interessato dal corpo di frana ed il versante.

Caratteri strutturali

Dal punto di vista strutturale lungo i bordi dell'area di distacco, si evidenziano tre principali famiglie di discontinuità: la stratificazione e due famiglie di discontinuità tra loro perpendicolari caratterizzate da un alto angolo di inclinazione (*Bianchi Fasani, 2004*). Il quadro strutturale è completato dalla presenza di faglie normali a basso angolo, circa parallele all'asse della piega, facenti parte di un sistema di horst e graben pre- thrusting, in seguito ruotate passivamente durante la strutturazione della piega (*Scisciani et alii, 2000*).

L'area di distacco della frana di Lettopalena è impostata in corrispondenza del ginocchio morfologico dovuto all'incremento dell'inclinazione delle superfici di strato, dove convergono due fattori favorevoli all'attivazione di processi di deformazione gravitativa, ovvero la marcata convessità nel punto di ginocchio ed il quasi parallelismo tra giacitura del versante e degli strati.

L'assetto degli strati a franapoggio è il prodotto del processo di strutturazione della Maiella in branchianticinale (*Paolucci et alii, 2001*) (Figura 2.8 d). È proprio la giacitura degli strati ad aver favorito l'iniziale mobilitazione del materiale secondo un meccanismo di scivolamento planare in corrispondenza di una fascia di debolezza determinata da un passaggio litologico della Formazione Santo Spirito. A tal proposito, un importante ruolo è svolto proprio dalle caratteristiche litologiche di quest'ultima formazione, in cui si riconoscono al confine tra la parte inferiore e superiore della stessa, strati di calcare marnosi sovrapposti a sottili strati calcarenitici (*Scarascia Mugnozza et alii, 2006; Bianchi Fasani et alii, 2014*).

L'andamento planimetrico della scarpata principale e delle spalle della frana seguono la direzione di famiglie di discontinuità ad alto angolo. In particolare, la spalla sinistra corrisponde con un piano di faglia orientato NW–SE, che ha vincolato e guidato il movimento dell'ammasso roccioso nella fase di collasso. Evidenze geomorfologiche della deformazione del versante sud orientale della Maiella sono rappresentate da trincee, scarpate in contropendenza, fratture aperte. Quest'ultime ubicate nell'area circostante l'area di distacco, a monte della scarpata principale, hanno una geometria concorde con quella di un regime di stress tensile (*Scarascia Mugnozza et alii, 2006*) (Figura 2.7).

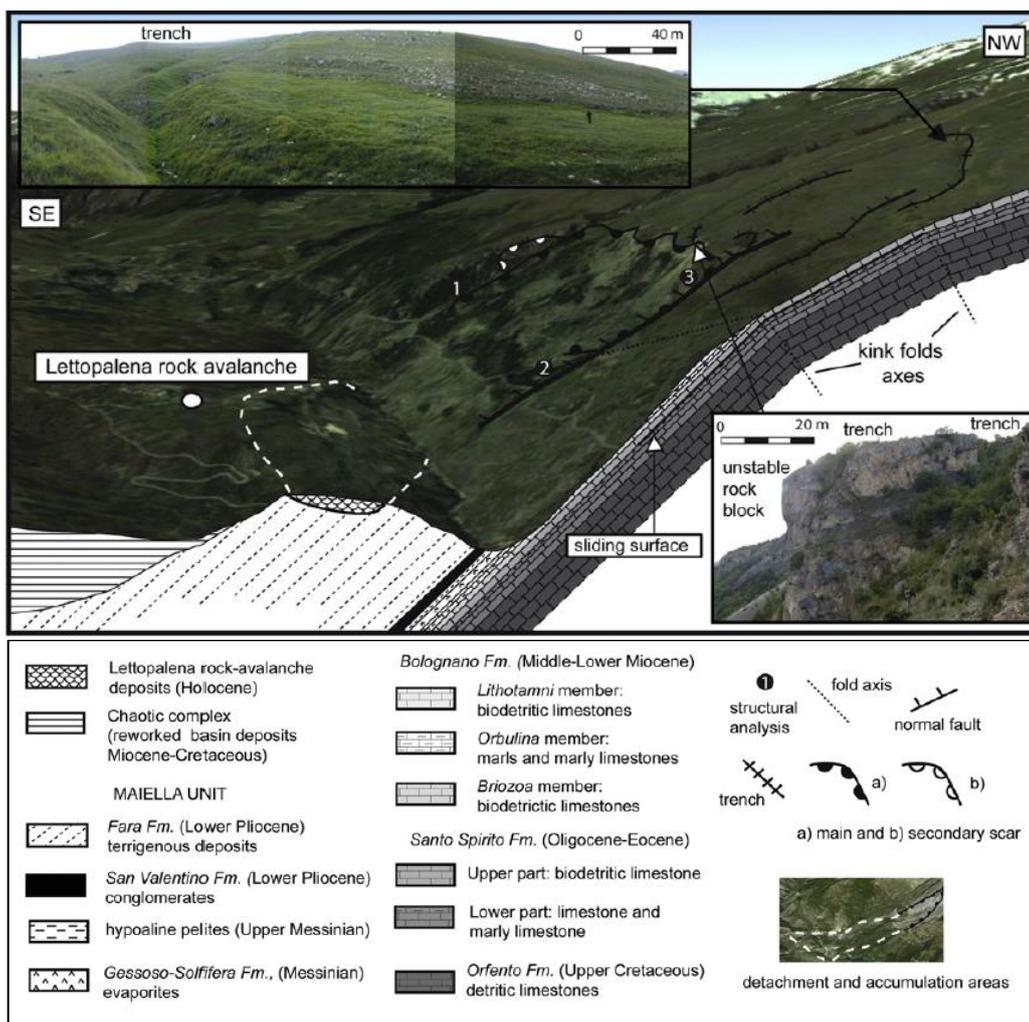


Figura 2.7– Ricostruzione 3D dell’assetto morfotettonico dell’area di Lettopalena

(da Bianchi Fasani et alii, 2014, modificata).

Caratteristiche del deposito di frana

L’area di distacco è caratterizzata da una scarpata principale avente altezza di circa 50-75 m ed una lunghezza di circa 800 m, osservabile sul versante orientale della Maiella, dove si verifica un incremento dell’inclinazione degli strati da 15°-20° a 35°45°. La forma sub-rettangolare dell’area di distacco è stata determinata dalla presenza di faglie ad alto angolo con orientazione NW-SE insieme alla stratificazione degli strati aventi una immersione SE (Bianchi Fasani et alii, 2014). Sull’area dell’accumulo detritico del corpo di frana, situato in destra idrografica del fiume Aventino, è ubicato il paese di Lettopalena (CH) (Figura 2.8).

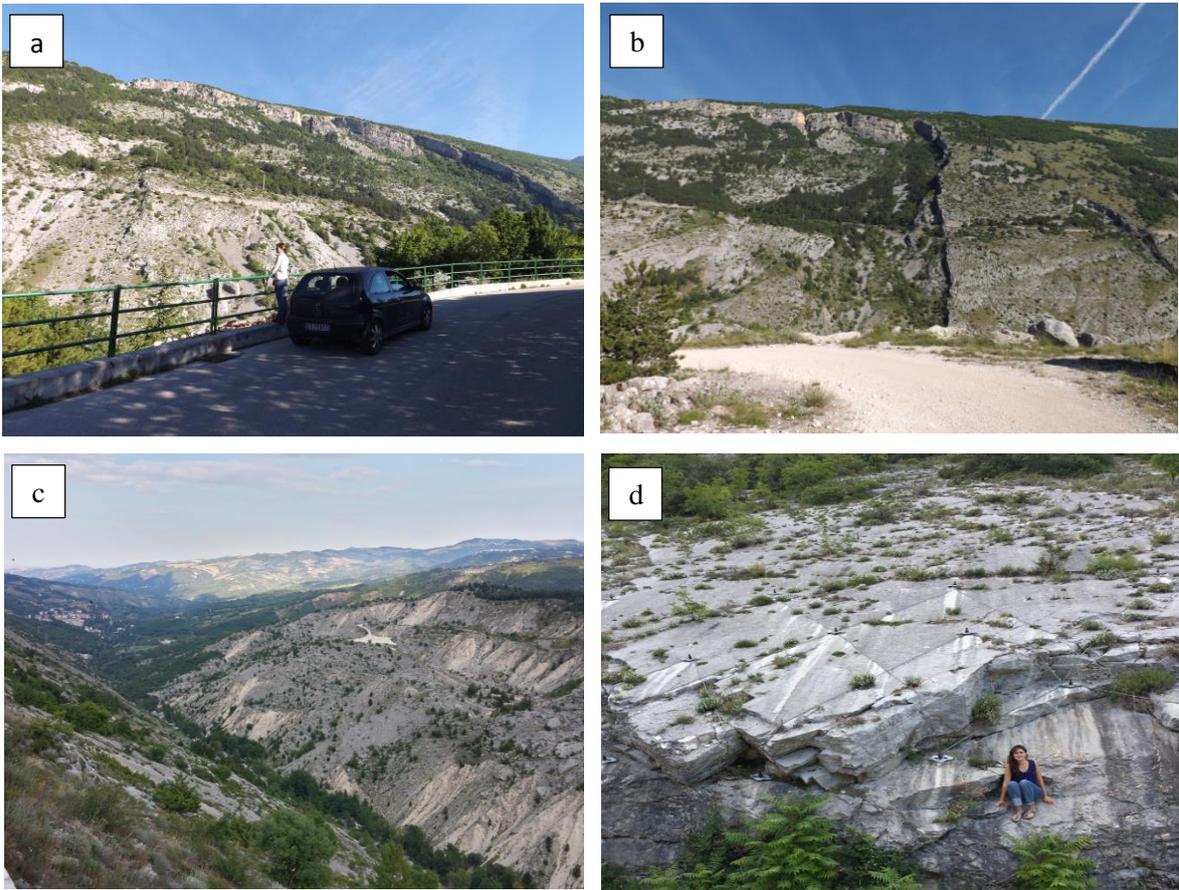


Figura 2.8 - Frana di Lettopalena: a) area subrettangolare dell'area di distacco; b) spalla sinistra; c) accumulo detritico; d) stratificazione a franapoggio del versante orientale della Maiella.

Nicoletti & Sorriso-Valvo (1991), Paolucci et alii (2001), e più recentemente, Bianchi Fasani et alii (2014), hanno riscontrato dalla forma e dalle dimensioni del deposito detritico che la frana di Lettopalena è stato un evento a bassa mobilità con un'elevata dissipazione energetica, determinata dal controllo dell'energia di rilievo preesistente. Il rilievo morfologico, presente nella parte medio-bassa della superficie di scivolamento, ha probabilmente svolto un ruolo di trampolino morfologico, fornendo un surplus energetico alla massa in movimento, dissipato, all'interno della stessa, mediante processi di frammentazione (Figura 2.9).

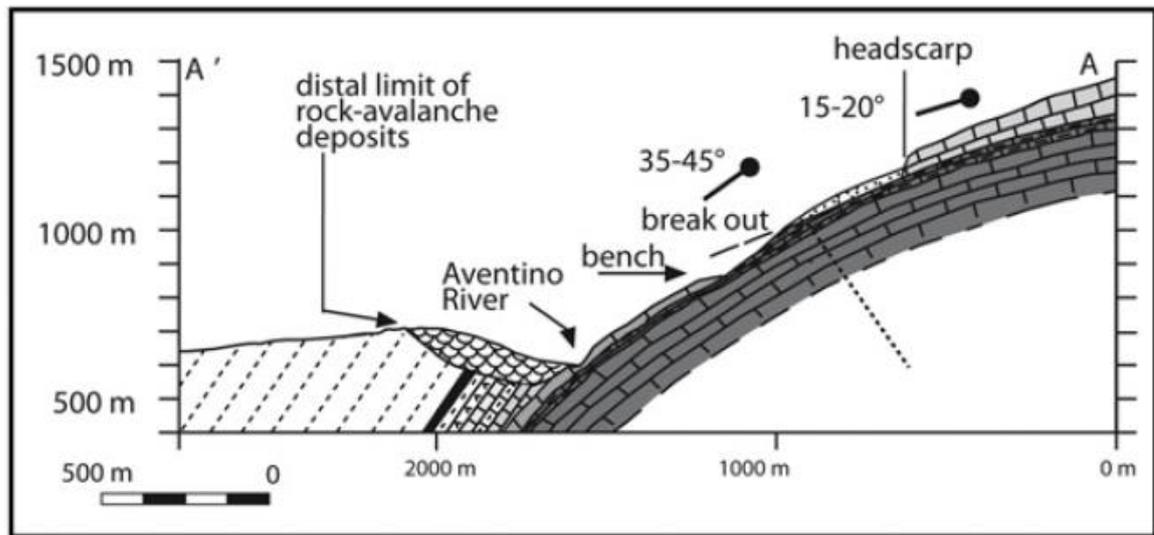


Figura 2.9 - Sezione trasversale al fiume Aventino (da Bianchi Fasani et alii, 2014, modificata)

Il detrito costituito da calcari e calcari marnosi mostra dimensioni che sono riconducibili ai processi di frammentazione, avvenuti sia lungo la superficie di scivolamento che durante l'impatto finale; questo presenta locali gradazioni di tipo inverso, parzialmente obliterate da numerosi fenomeni gravitativi (*slide back*) che hanno interessato il corpo di frana a seguito dello scalzamento, al piede del versante, operato dal corso fluviale. Il flusso detritico, deviato lateralmente (soprattutto verso NE) all'interno dell'incisione del fiume, ha interessato una superficie planimetrica di $8,5 \cdot 10^5 \text{ m}^2$, raggiungendo un'elongazione (run-out) di circa 2,27 km. Il volume di materiale coinvolto, imputabile a fattori di ordine stratigrafico-strutturale, è pari a 28 milioni di m^3 (Bianchi Fasani et alii, 2014), con uno spessore medio del cumulo detritico di 35 m (Bianchi Fasani, 2004).

2.4.2. Frana di Campo di Giove

La frana di Campo di Giove è situata lungo il fianco sud occidentale della Maiella, il quale è caratterizzato da un versante di faglia originato dall'azione del sistema di faglia di Caramanico che include faglie normali immergenti verso ovest e con orientazione principale NNW-SSE (Bianchi Fasani et alii, 2014).

Il deposito detritico presente all'interno della depressione di Caramanico, tra la dorsale terrigena di Guado S. Leonardo a nord e l'abitato Campo di Giove (AQ) a sud, è stato, inizialmente definito di incerta attribuzione genetica, e attualmente ricoperto da una sottile coltre colluviale. All'interno del foglio geologico Lanciano 147 (Catenacci, 1974), l'accumulo è descritto come un deposito morenico, mentre nella carta dell'Appennino Centrale di Vezzani & Ghisetti (1998), parte dell'accumulo detritico è definito come una frana antica, ma a causa della scala del lavoro non ne viene indicata l'area sorgente.

Jaurand (1998), nel contributo relativo al glacialismo appenninico, desume dalle forme esistenti sulla sommità del massiccio, la presenza di un'estesa calotta glaciale, con un limite delle nevi attestato durante l'ultimo glaciale, tra i 2000 m e 2100 m s.l.m., ed identifica inoltre nel settore di Fondo Maiella evidenze morfologiche relitte, attribuibili all'opera di un circo glaciale. L'Autore comunque non riconosce nei depositi presenti sul fondovalle di Caramanico le caratteristiche di un materiale morenico; si attiene quindi a descrivere il materiale come una breccia di origine tettonica quale prodotto della scarpata della faglia occidentale della Maiella.

Giraudi (1998), confermando le ipotesi di *Jaurand (1998)* relative alla presenza, nel settore meridionale della struttura, di un'estesa calotta glaciale, ne descrive i limiti, compresi tra M. Amaro e Tavola Rotonda, per un'areale di circa 30 km², spingendone inoltre l'estensione lungo l'anfiteatro di Fondo Maiella. La calotta quindi si spingeva, mediante delle lingue, sino a quote comprese tra i 1300 ed i 1350 m s.l.m.

Per quanto riguarda la successione affiorante sul versante sud-occidentale della Maiella, viene di seguito descritta sinteticamente.

Essa è costituita da una sequenza di calcari di piattaforma del Lias superiore-Cretacico inferiore (Formazione Morrone di Pacentro) (*Donzelli, 1969; Crescenti, 1969*), e di piattaforma/rampa carbonatica del Cretacico superiore (Formazione Maiella) per uno spessore totale di circa 700 m; a cui seguono calcari di rampa eocenica di circa 200 m di spessore (Formazione di Santo Spirito).

Nel dettaglio, la Formazione Morrone di Pacentro è osservabile solo per brevi tratti alla base del versante, dove è coperta da un'elevata coltre detritica. Il limite superiore della formazione è caratterizzato dalla presenza di un livello bauxitico, corrispondente ad un paleosuolo su cui sono trasgrediti i soprastanti calcari a rudiste della Formazione Maiella (affiorante tra M. Amaro e Guado di Coccia). Al tetto di quest'ultima formazione sono presenti poche decine di metri della Formazione della Scaglia (*Donzelli, 1969; Crescenti, 1969*), caratterizzata alla base dalla presenza di una breccia discontinua e al tetto dal Membro Orfento (unità che è stata elevata al rango di Formazione, *Vecsei (1991)* che chiude la serie di retroscogliera ed infine a seguire troviamo la Formazione di Santo Spirito (Figura 2.10).

Analogamente alla *Rock Avalanche* di Lettopalena e ad altre storiche come quella di Scanno, il deposito di frana di Campo di Giove ha causato, all'interno della valle di Caramanico, lo sbarramento del paleodrenaggio e la conseguente formazione di un piccolo invaso lacustre, i cui sedimenti affiorano tra Fonte Romana e Guado S. Leonardo, per un'areale di circa 1 km².

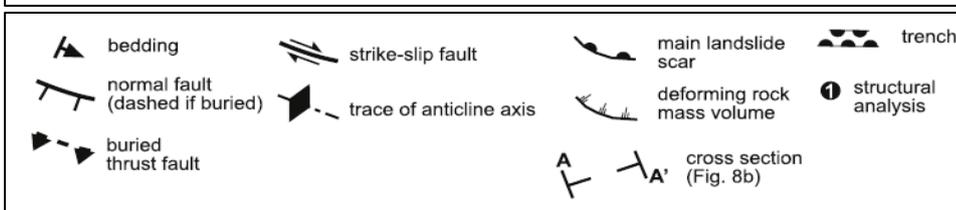
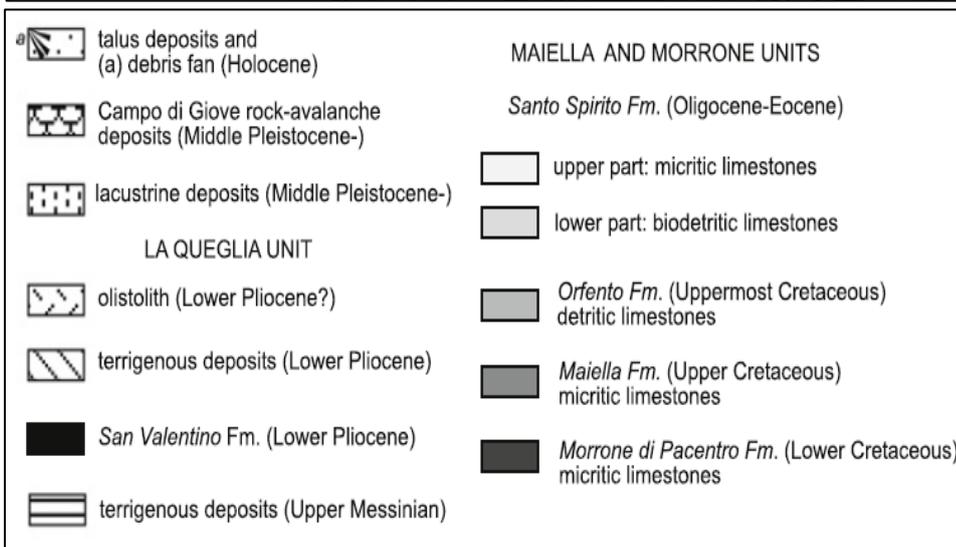


Figura 2.10 – Schema geologico dell'area di Campo di Giove
(da Bianchi Fasani et alii, 2014, modificata).

Nei depositi lacustri *Bianchi Fasani (2004)*, ha trovato livelli cineritici, prevalentemente argilloso-siltosi e ricchi in K-feldspato, pirosseno e plagioclasio con concentrazioni in ossidi delle diverse specie mineralogiche, che confermano l'ipotesi di una deposizione di tipo primaria e non rifluida del materiale, ottimale per datazioni Ar-AR o K-AR. A conferma della presenza di tale livello, nella fase di rilevamento di questa tesi, si è effettuato un sopralluogo ad Ottobre 2013, che ha avuto come fine quello di campionare il livello cineritico sopra citato, mediante uno scavo, profondo circa 50-60 cm, la cui datazione è attualmente in corso e permetterà di determinare il limite temporale superiore della frana di Campo di Giove (Figura 2.11).

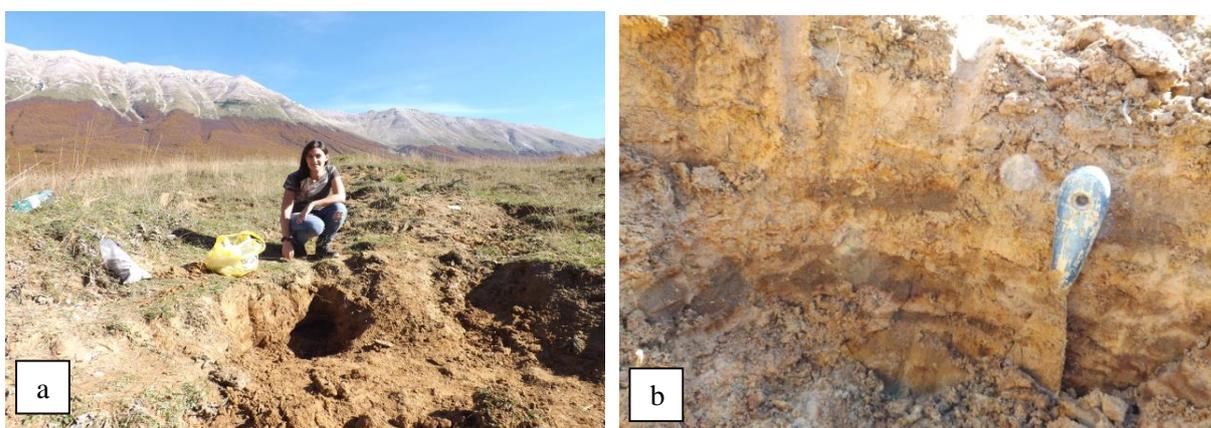


Figura 2.11 - Depositi lacustri nell'area di Campo di Giove: a) scavo nei depositi lacustri, con alle spalle l'area di distacco della frana; b) livello cineritico.

Bianchi Fasani (2004) ha comunque dedotto, indirettamente, una stima dell'età dell'evento franoso valutando due considerazioni:

- il reticolo di drenaggio del F. Vella, prima dell'evento franoso, era in una fase embrionale, ma a seguito dello svuotamento del lago presente nella piana di Sulmona, avvenuto tra 400.000 e 350.000 anni fa (*Miccadei et alii, 1998*), ha subito una intensa fase erosiva lineare dovuta all'abbassamento del livello di base locale;
- il basso grado di rimodellamento del corpo di frana, realizzatosi tramite processi di pedogenizzazione, può considerarsi un'ulteriore prova dell'età relativamente recente della frana.

In conclusione, sulla base di datazioni di tipo indiretto, si è indicato come periodo d'accadimento un generico Pleistocene Superiore, mentre più recentemente, *Bianchi Fasani et alii (2014)*, hanno definito un'età della frana post-750.000 anni.

Caratteri strutturali

L'assetto tettonico del versante occidentale è caratterizzato principalmente dalla presenza della faglia distensiva di Caramanico e dalla sua interazione con la grande piega antiforme. Tale versante costituisce la culminazione assiale della piega nella parte alta e medio-alta e, nella parte bassa del versante compreso tra Fondo di Femmina Morta e M. Amaro, il backlimb della piega stessa, bruscamente troncati dalla faglia di Caramanico.

La faglia di Caramanico posta parallelamente all'asse della piega, delimita ad W la struttura anticlinale, mettendo a contatto i termini carbonatici del massiccio con i depositi terrigeni mio-pliocenici di riempimento del graben di Caramanico. Il rigetto complessivo della faglia di Caramanico, in corrispondenza della culminazione assiale della piega, è pari a circa 3,5 km ed è attribuito dagli autori ad un'attività prevalentemente pre-thrusting, messiniana e pliocenica (*Scisciani et alii, 2000*), o post-thrusting, del Pliocene superiore–Quaternario (*Ghisetti e Vezzani, 2002*). Molto probabilmente, una rilevante entità del rigetto esibito è direttamente correlabile alla fase pliocenica sin-thrusting, tramite un accomodamento della struttura durante la surrezione del massiccio e della formazione dell'anticlinale (*Bianchi Fasani, 2004*). La porzione occidentale del Massiccio della Maiella è interessata da una continua deformazione gravitativa profonda a scala del versante (*Di Luzio et alii, 2004*). L'area colpita da tali deformazioni è quella delimitata da CFS e MMFZ, ed è caratterizzata da doppie linee di cresta, trincee, volumi di roccia isolati e processi di rigonfiamento alla base del versante (*Bianchi Fasani et alii, 2014*).

Il versante in esame, caratterizzato da una giacitura degli strati lievemente immergente verso est (*Di Luzio et alii, 2003*), è dotato di una notevole energia di rilievo, con dislivelli compresi tra 1000 m e 1200 m, ed è principalmente interessato da una fascia tettonica (circa parallela alla faglia di Caramanico) costituita da faglie normali e trascorrenti orientate circa NNW–SSE.

Dal rilievo geomeccanico condotto da *Bianchi Fasani (2004)* risulta che il versante occidentale della Maiella mostra tre set principali, tra i quali la stratificazione a basso angolo di inclinazione e due set di discontinuità ad alto angolo, di cui uno parallelo al versante e quindi alla faglia di Caramanico. Tali famiglie di discontinuità unite ad altre random conferiscono all'ammasso roccioso un'elevata densità di fratturazione (Figura 2.12).

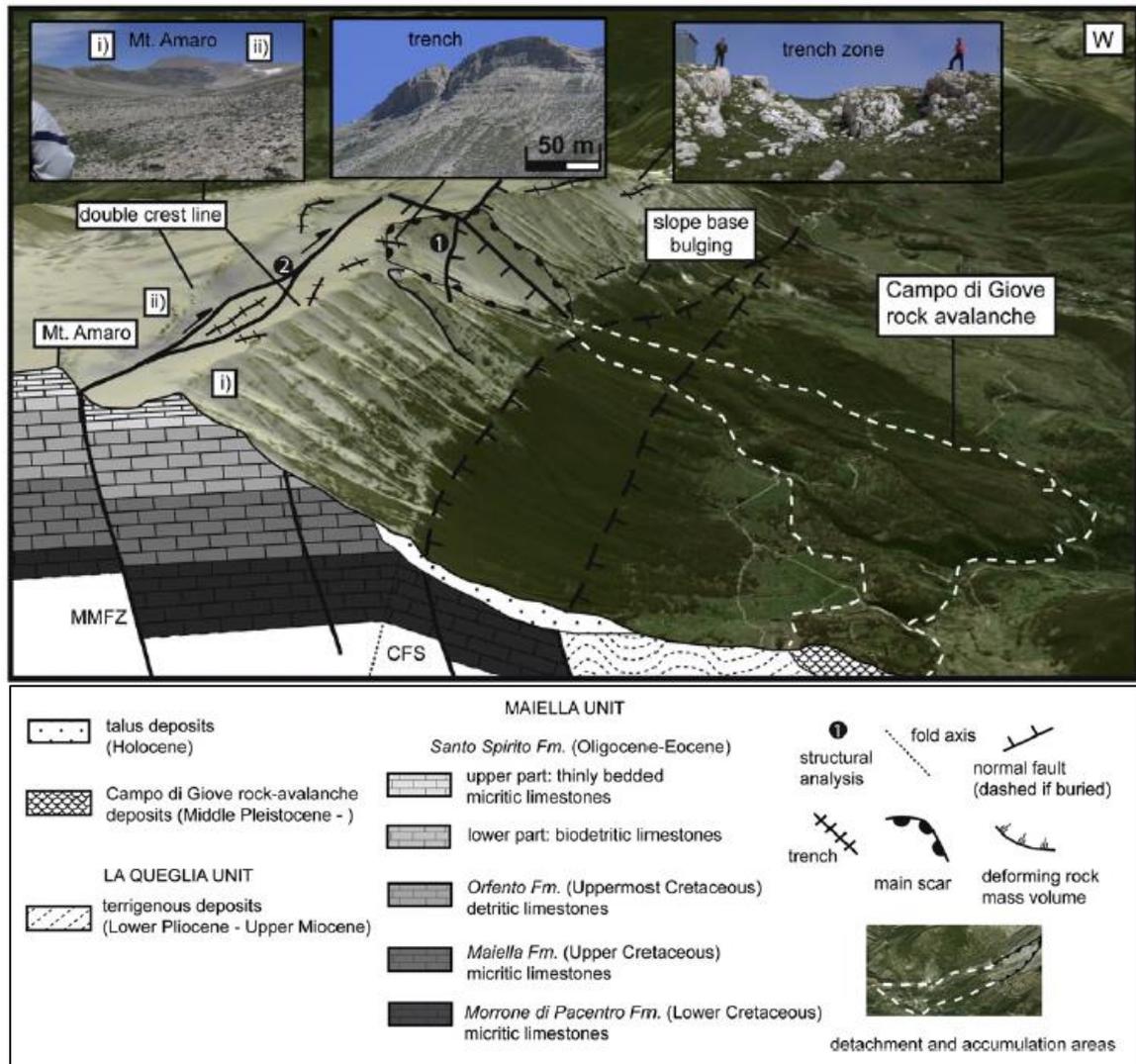


Figura 2.12 - Ricostruzione 3D dell'assetto morfotettonico dell'area di Campo di Giove
(da Bianchi Fasani et alii, 2014, modificata)

Caratteristiche del deposito di frana

L'unica forma individuabile come area sorgente della frana, capace di giustificare un volume di detrito di 210 milioni di m³ (Bianchi Fasani et alii, 2014), è quella dell'anfiteatro di Fondo Maiella. Questa è caratterizzata da una morfologia a cuneo dalle dimensioni areali di circa 2 km², dove l'attuale geometria è probabilmente legata all'erosione, protratta nel tempo e favorita dall'inclinazione del versante, delle acque di ruscellamento, che hanno determinato l'escavazione di un solco nella parte centrale. È comunque necessario tener conto dell'azione di tipo glaciale e crio-nivale che può aver ulteriormente modificato l'originale morfologia dell'areale di distacco.

L'area di accumulo mostra un profilo lobato, determinato da una topografia ad hummocky, dovuto alla presenza di dorsali trasversali, mentre nella parte distale è ben evidente un

rigonfiamento costituito da una dorsale frontale a parete verticale all'ingresso delle gole del Vella, avente un'altezza di circa 200 m (*Bianchi Fasani et alii, 2014*).

L'accumulo detritico, in parte soggetto ad erosione, presenta, planimetricamente, una forma ad "L", che indica come il flusso granulare dopo aver seguito un'iniziale direzione E-W nel settore prossimale all'area di distacco, ha subito nel tratto terminale un espandimento asimmetrico la cui disposizione è stata fortemente influenzata dalla morfologia preesistente. Inoltre, l'espandimento del corpo di frana si è avuto all'interno di un piccolo sottobacino presente nel graben di Caramanico, probabilmente delimitato dagli argini naturali costituiti dalle due dorsali terrigene di Passo S. Leonardo a nord e Colle Malatesta a sud. In seguito, il flusso ha subito una deviazione verso nord determinata dal parziale sbarramento operato dalla dorsale del Malvarano e dalla struttura del Morrone, in corrispondenza della quale è risalito in contropendenza.

Una parte del flusso si è incanalato all'interno delle paleo-gole del Vella, in quanto sono stati trovati alcuni affioramenti relitti, all'uscita delle stesse gole, i cui detriti costituiscono, quasi per intero, un rilievo morfologico sul quale sorge l'abitato di Pacentro. Tale deposito detritico potrebbe rappresentare la parte del corpo di frana erosa e trasportata ad opera delle acque del Vella all'interno della conca di Sulmona. Il deficit di massa dell'accumulo rispetto all'area sorgente potrebbe essere giustificato da continui fenomeni di crollo che determinano il continuo arretramento del rilievo detritico verso l'interno della valle di Caramanico (*Bianchi Fasani, 2004*) (Figura 2.13).



Figura 2.13 – Fenomeni di crollo, a valle dell'area di distacco.

La distribuzione del deposito preserva, in termini di composizione litologica, la polarità della successione creta–eocenica, presente sul versante sud–occidentale della Maiella. I depositi presenti nel settore prossimale del versante sono, infatti, costituiti dai litotipi eocenici affioranti in origine alle quote più elevate del massiccio, mentre nel settore distale sono presenti i depositi di calcare cretaceo della porzione stratigrafica inferiore del massiccio. Questa particolare disposizione longitudinale segue modelli di sequenzialità spaziale che ben si correlano con fenomeni franosi di grandi dimensioni (*Bianchi Fasani, 2004; Di Luzio et alii, 2004; Bianchi Fasani et alii, 2014*) (Figura 2.14).

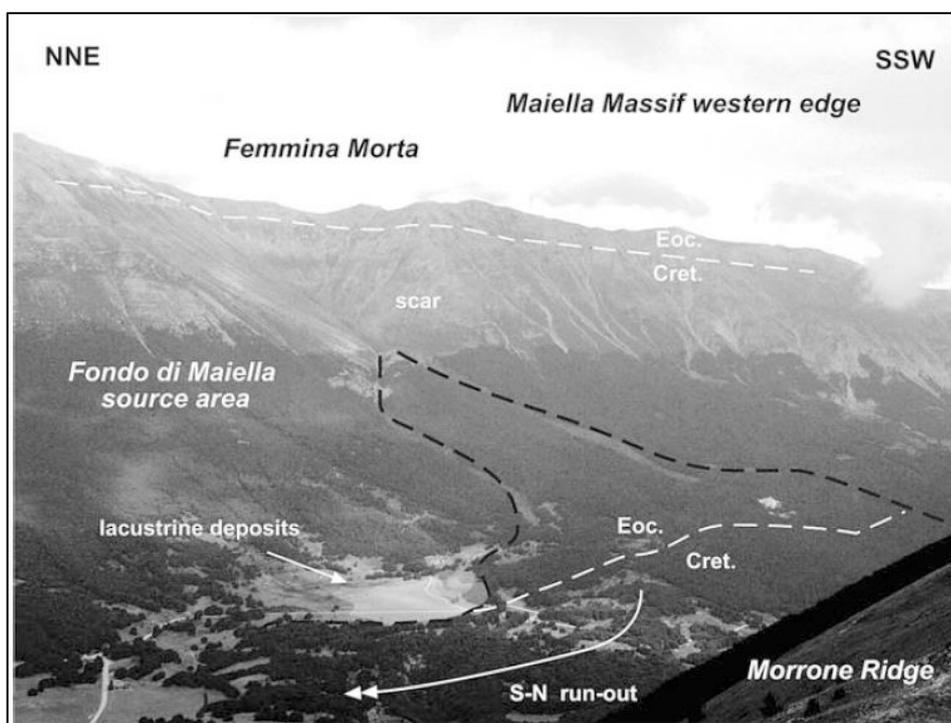


Figura 2.14 - Foto panoramica dell'area di distacco del versante occidentale della Maiella e valle di Caramanico (da *Luzio et alii, 2004*).

Il deposito del corpo di frana è un materiale clastico, avente spessore variabile dai pochi metri sino alle diverse decine metri, mal classato, caotico, ma con locali gradazioni inverse, in cui gli elementi di maggiori dimensioni sono posti nella parte sommitale del deposito (*Bianchi Fasani, 2004; Bianchi Fasani et alii, 2014*).

Analisi sedimentologiche condotte da *Di Luzio et alii (2004)* indicano una matrice sabbiosa con meno del 10% di argilla e limo. La irrisoria quantità di materiale fine è molto importante se confrontata ai depositi morenici presenti nell'Appennino Centrale, dove questa è almeno il 40% (*Jaurand, 1998*), escludendo una possibile origine glaciale.

I depositi di *Rock Avalanche* nella valle di Caramanico ricoprono una superficie planimetrica di $5,7 \times 10^6 \text{ m}^2$ ed hanno un volume pari a 210 milioni di m^3 , con una run-out di 7,25 km ed

uno spessore medio del cumulo detritico pari a 32 m (*Bianchi Fasani, 2004; Di Luzio et alii, 2004; Bianchi Fasani et alii, 2014*).

2.5 Inquadramento idrogeologico

I massicci carbonatici dell'Abruzzo costituiscono i principali acquiferi che vengono drenati alle quote più basse, al contatto con aquiclude e aquitardi rappresentati da formazioni meno permeabili, quali flysch neogenici e quelle continentali quaternari di riempimento delle conche intramontane (Barbieri et alii, 2003) (Figura 2.15).

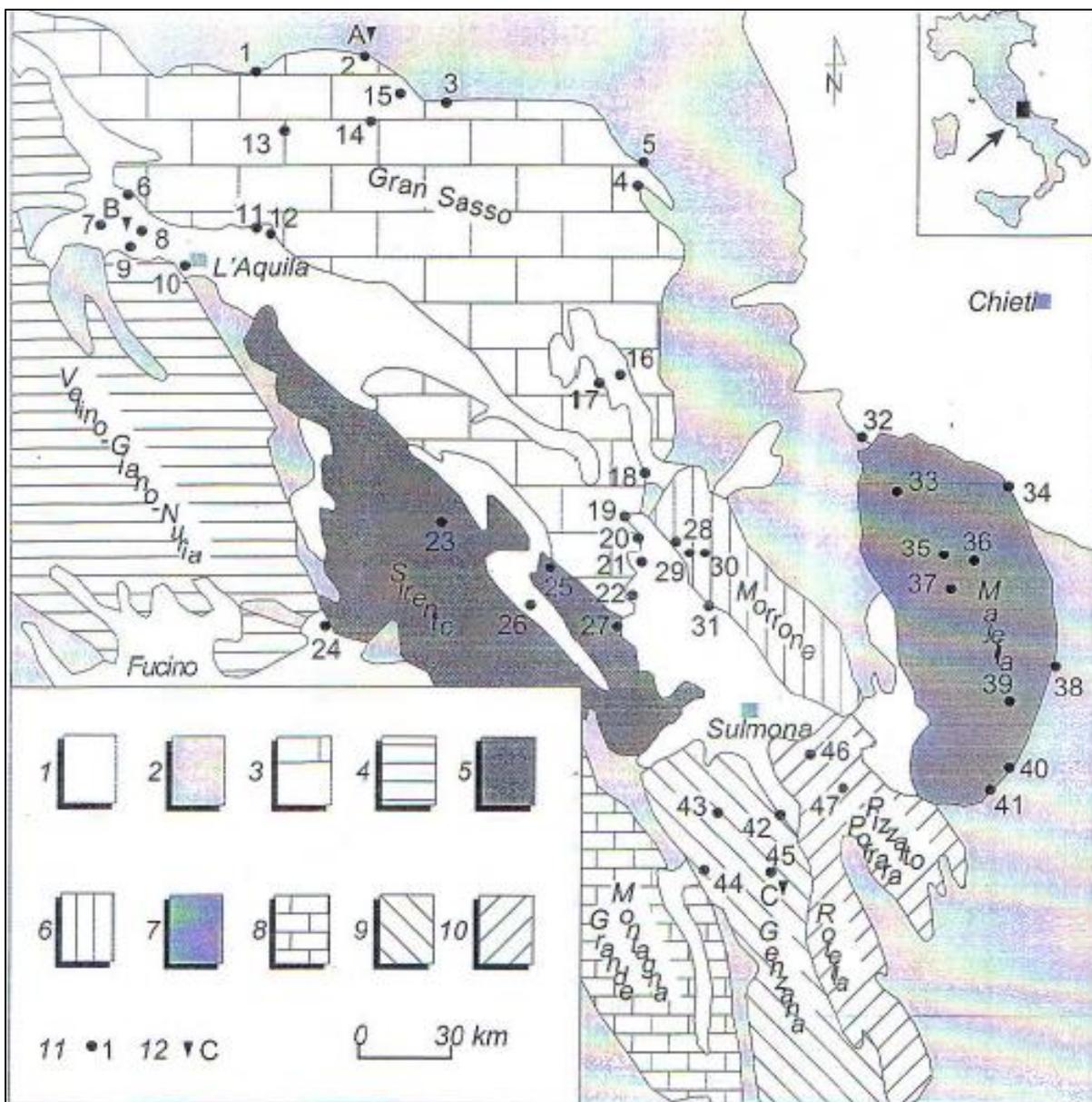


Figura 2.15. – Schema idrogeologico dell'Abruzzo. 1) Depositi continentali e marini quaternari (aquitardo); 2) Depositi torbiditici terrigeni di avanfossa e argille varicolori (Cenozoico) (aquiclude). Idrostrutture carbonatiche; 3) Gran Sasso; 4) Velino-Giano-Nuria; 5) Sirente; 6) Morrone; 7) Maiella; 8) Montagna Grande; 9) – Genzana; 10) Pizzalto-Porrara-Rotella. Campionamento: 11) sorgenti; 12) acque meteoriche (da Barbieri et alii, 2003).

Le principali sorgenti, sia lineari che puntuali, sono localizzate alla periferia dei massicci carbonatici, hanno una portata molto elevata (da qualche centinaio fino a diverse migliaia di litri al secondo) e costante nel tempo, con scarse oscillazioni stagionali, che testimoniano l'ampiezza dell'area di alimentazione. L'elevata potenzialità di queste idrostrutture consente il loro sfruttamento direttamente alle sorgenti o, più raramente, tramite prelievo diretto dall'acquifero (*Barbieri et alii, 2003*). Il quadro litologico di questi massicci è definito da sequenze stratigrafiche meso-cenozoiche legate ad ambienti di piattaforma carbonatica (margine incluso), a cui si associano, in parte, litologie silico-calcareo-marnose riferibili ai relativi ambienti di scarpata e transizione al bacino (*Centamore et alii, 1992; Vezzani & Ghisetti, 1998*). Nell'insieme le rocce descritte mostrano una permeabilità primaria bassa e comunque variabile in relazione ai relativi ambienti di sedimentazione, e soprattutto, secondaria per fratturazione. Quest'ultima risulta elevata a causa degli intensi e diffusi processi deformativi connessi con le fasi compressive orogenetiche durante il Neogene e distensive di collasso della catena montuosa nel Plio-Quaternario. I calcari, in relazione all'azione di dissoluzione carsica più sviluppata in particolari contesti morfoevolutivi, presentano valori di permeabilità ancora più elevata (*Bakalowicz, 1995*).

I massicci sono quindi dei sistemi idrogeologici calcareo-carsici compartimentati, con limiti di permeabilità ben definiti (*Boni et alii, 1986*), in genere rappresentati da sovrascorrimenti regionali, affioranti o in parte sepolti da depositi più recenti, che provocano la sovrapposizione tettonica delle unità carbonatiche (acquiferi) su quelle terrigene di avanfossa (flysch neogenici – acquiclude) (Figura 2.16).

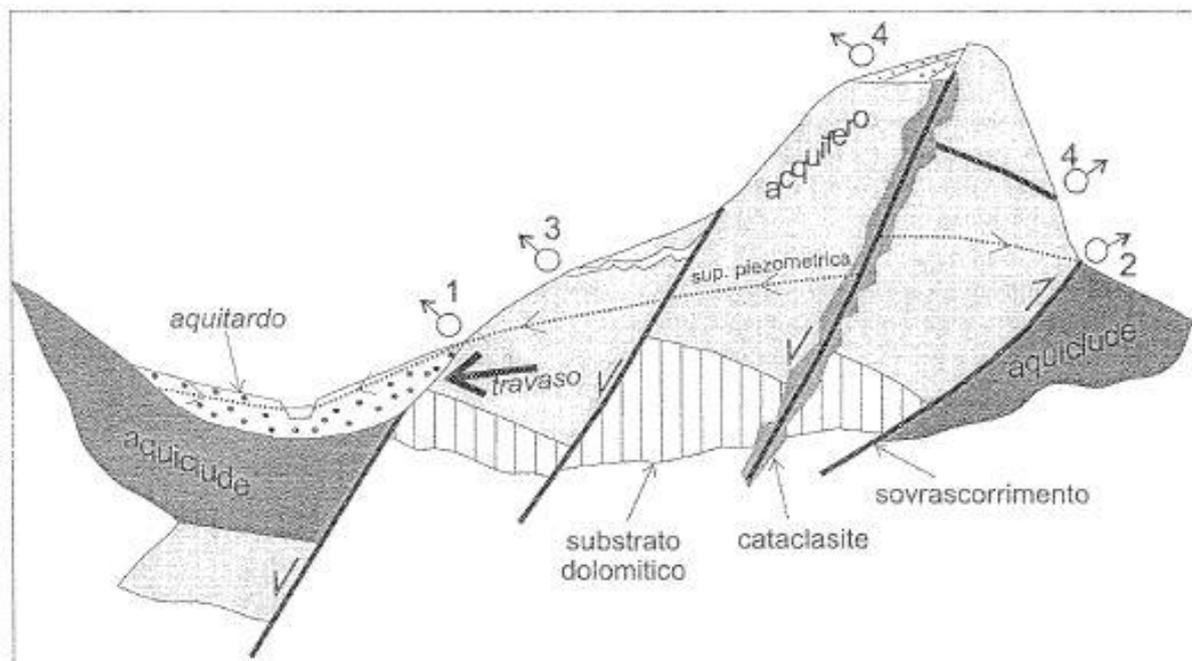


Figura 2.16 – Sezione idrogeologica schematica (non in scala) esemplificativa dei massicci carbonatici carsici dell' Abruzzo. 1) sfioro della falda regionale; 2) trabocco; 3) sorgente da condotto carsico; 4) sorgente da falda locale sospesa (da Barbieri et alii, 2003, modificata).

In altri settori i limiti di permeabilità sono costituiti dal contatto stratigrafico discordante, ed in parte tettonico, delle unità quaternarie detritiche (brecce, conglomerati, sabbie e peliti) con quelle carbonatiche degli acquiferi; oppure i calcarei sono in contatto tettonico per faglia distensiva, trastensiva o trascorrente direttamente con i depositi terrigeni di avanfossa (Barbieri et alii, 2003). In alcuni casi le faglie hanno inoltre la funzione di compartimentare l'acquifero carsico; in altre situazioni possono fungere da dreni nei confronti del deflusso delle acque sotterranee.

Il vasto territorio Abruzzese viene suddiviso, da Celico (1979), in unità idrogeologiche omogenee delle quali sono indicate le linee preferenziali della circolazione idrica sotterranea (Figura 2.17). Lo stesso riconosce come limiti dell'unità idrogeologica della Maiella la direttrice tettonica Palena-Campo di Giove a sud, la depressione di Caramanico ad ovest e, lungo gli altri bordi, i sedimenti plio-pleistocenici della fascia costiera adriatica. La variazione di facies, inoltre, tra la parte meridionale più permeabile del massiccio (facies di piattaforma) e quella settentrionale (facies di transizione), pur marcando una netta differenziazione di comportamento idrogeologico nei riguardi dell'infiltrazione efficace e della circolazione idrica sotterranea, non comporterebbe la presenza di uno spartiacque; è solo nel settore meridionale dell'unità che l'Autore individua uno spartiacque, in corrispondenza della direttrice tettonica M. Amaro – Taranta Peligna, operante un parziale tamponamento della falda per la presenza di una zona a cataclasi spinta.

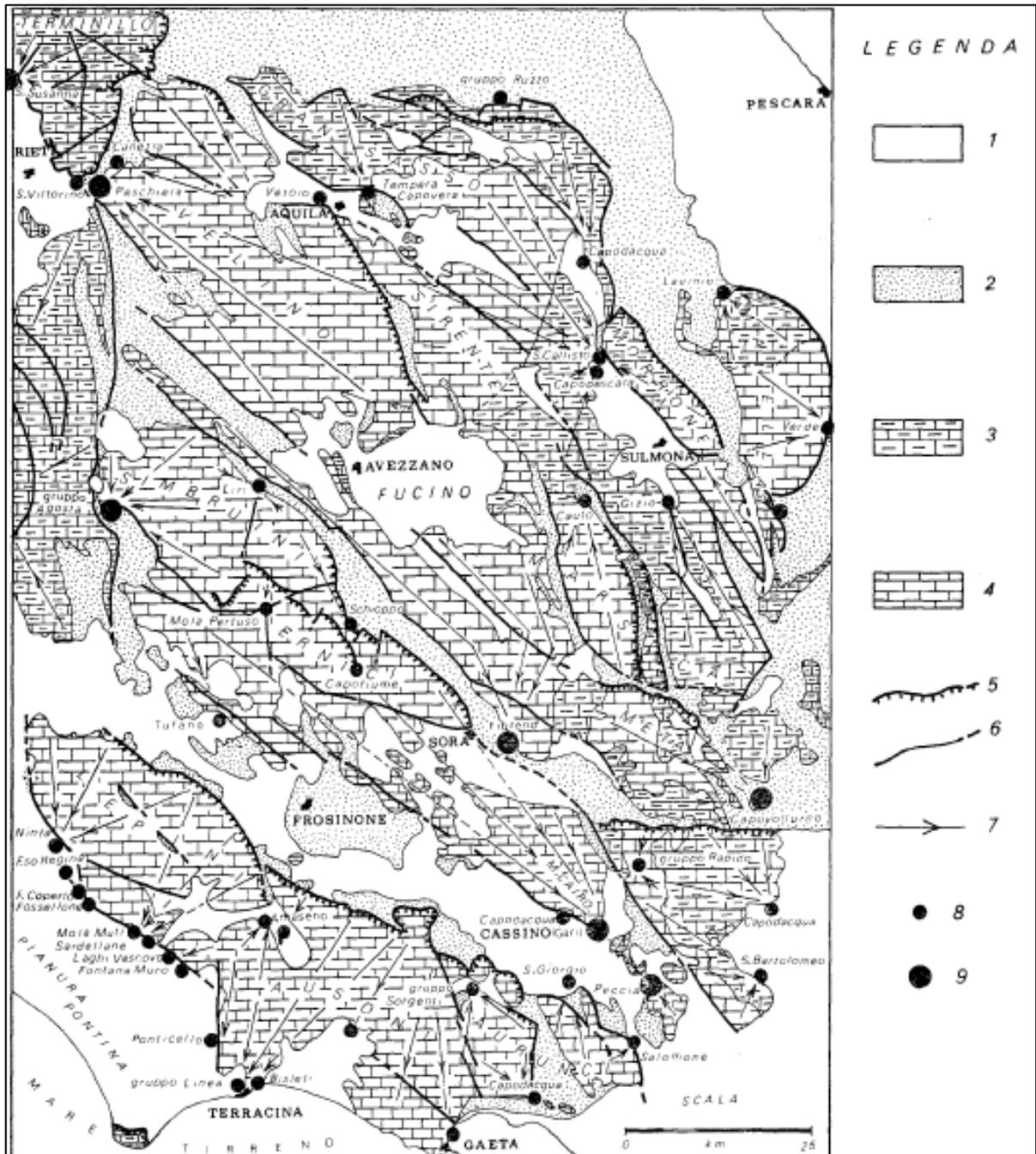


Figura 2.17 – Schema delle unità idrogeologiche dell' Appennino carbonatico laziale abruzzese. 1) Sedimenti orogenici indifferenziati; 2) sedimenti sin-orogenici e tardo-orogenici di differente età e natura; 3) serie carbonatica di transizione; 4) serie carbonatica di piattaforma; 5) sovrascorrimenti principali; 6) faglie principali; 7) probabile direzione di scorrimento delle falde profonde contenute nelle strutture carbonatiche; 8) sorgenti con portate di magra comprese tra 0,5 e 5 m³/s; 9) sorgenti con portate di magra comprese tra 5 e 15 m³/s (da Boni, 1973, modificata).

Gli stessi temi vengono riproposti da *Celico (1983)* con maggiore dettaglio, e successivamente da *Boni et alii (1986)*.

A *Rusi (1999)* e, più recentemente, al lavoro di *Nanni & Rusi (2003)* si deve lo studio specifico idrogeologico della struttura della Maiella, della quale sono definiti i limiti di permeabilità, che a loro volta erano stati già individuati da *Celico (1978 e 1983)* e confermati, salvo l'area del basso Orta, da *Boni et alii (1986)*.

Il limite orientale della struttura idrogeologica è rappresentato dal contatto di origine stratigrafico, tettonico nonché trasgressivo con i depositi di avanfossa del Pliocene inferiore e del Pleistocene, dove la loro natura pelitica ne determina il ruolo di acquiclude. Procedendo da S verso N il contatto tra le unità carbonatiche e quelle di avanfossa appare stratigrafico da Palena fino a Lettopalena (*Crescenti, 1971*), quindi diventa tettonico per sovrascorrimento e faglia inversa (*Vezzani & Ghisetti, 1998*) nella parte centrale e trasgressivo, sebbene fagliato in profondità, a nord.

Il limite occidentale dell'idrostruttura è rappresentato da un complesso sistema di faglie dirette a forbice, aventi direzione N-S e NW-SE. Con componenti di rigetto verticale fino a 2000 m, che si annullano progressivamente verso N. Queste faglie mettono in contatto i depositi terrigeni mio-pliocenici della Gessoso-Solfifera e della Formazione Fara con la formazione carbonatica cretacea della Maiella a N, e a S con quella carbonatica giurassica della Morrone di Pacentro.

Il limite meridionale dell'idrostruttura è costituito dal sovrascorrimento delle unità carbonatiche giurassiche del M. Porrara sulla successione meridionale della Maiella, con al tetto la Formazione Bolognana e la Formazione Gessoso-Solfifera in facies argillosa che viene poi a costituire l'aquiclude meridionale. I litotipi miocenici a bassa permeabilità, affioranti nella zona di contatto tra il Porrara e la Maiella e nelle aree limitrofe (*Donzelli, 1998; Vezzani & Ghisetti, 1998; Catenacci, 1974*), separano idraulicamente le due idrostrutture, ma secondo alcuni autori potrebbero, addirittura, costituirne un collegamento. Alcune considerazioni di tipo morfologico e idrodinamico però dimostrano che tale evidenza, pur essendo possibile, in realtà non si verifica. È comunque possibile, su base geologica, che per tratti limitati ad ovest della sella del Guado di Coccia, in corrispondenza del letto del sovrascorrimento si possano avere contatti tra le due idrostrutture attraverso le calcareniti della Formazione Bolognana. Ma a fugare ogni dubbio sulla mancanza di collegamento è l'ubicazione dei recapiti delle falda di base dei due sistemi: il recapito della falda di base del M. Porrara, costituito dalla sorgente Capo di Fiume Aventino, è ubicato a 880 m s.l.m. (*Celico, 1978*); i recapiti della falda di base della Maiella più prossimi al sovrascorrimento

sono le sorgenti San Giustino e Acque Vive ubicate tra i 480 e 450 m di quota s.l.m. (*Nanni & Rusi, 2003*).

Considerando che il gradiente piezometrico di acquiferi carbonatici varia dal 2 ‰ al 5 ‰, e che le due emergenze sono distanti circa 5750 m, si otterrebbe un gradiente piezometrico del 60 ‰, molto difficile da spiegare se non con l'introduzione di un limite tra le due idrostrutture che, per quanto esposto prima, non può che essere costituito dalle formazioni terrigene mioceniche in contatto tettonico con l'unità carbonatica del M. Porrara.

2.5.1 Complessi idrogeologici

La conoscenza dei complessi idrogeologici può fornire notizie importanti sul condizionamento che avviene preferibilmente nelle zone di contatto tra tipi litologici a permeabilità differente. Le rocce carbonatiche mesozoiche hanno diversa capacità di assorbire le acque meteoriche in relazione ai loro diversi caratteri sedimentologici. I depositi torbiditici argilloso-arenacei sono dotati di bassa permeabilità e svolgono una funzione di isolamento e una chiusura idraulica quando bordano o dividono le dorsali carbonatiche. Diversi sono gli Autori che hanno raggruppato le rocce dell'Appennino centro-meridionale in complessi idrogeologici (*Celico, 1978; Boni et alii, 1986*) (Figura 2.18).

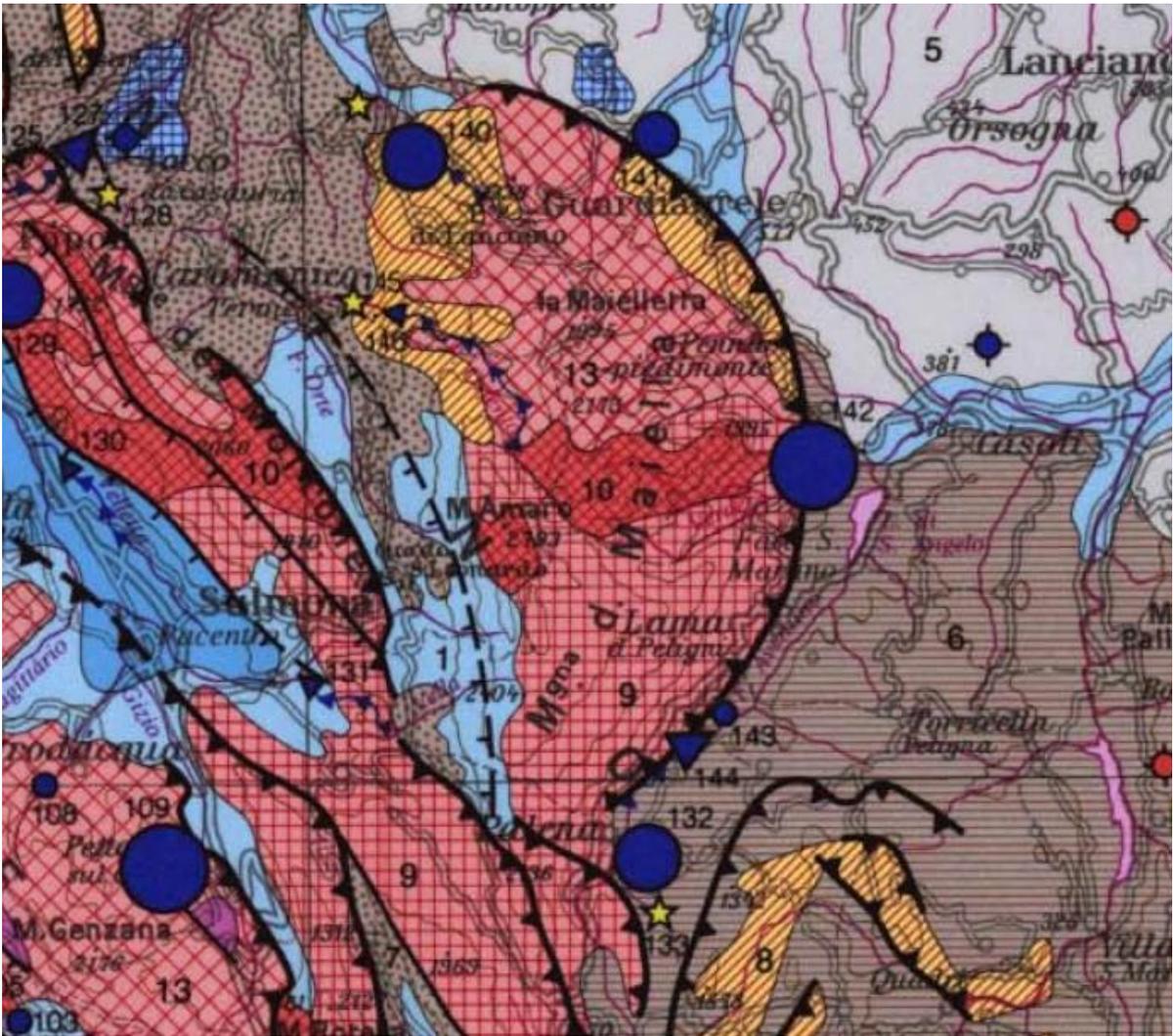


Figura 2.18 – Stralcio dello schema idrogeologico dell'Italia Centrale (da Boni et alii, 1986, modificata).

Rusi (1999), distingue per la sola struttura della Maiella cinque complessi fondamentali:

- *Complesso dei calcari giurassico-paleogenici*, costituito dalle Formazioni Morrone di Pacentro, S. Spirito e Acquaviva, caratterizzato da permeabilità elevata per carsismo e fratturazione;
- *Aquicluda della Formazione Bolognano* costituito dal Membro Roiano che svolge il ruolo di parziale tampone;
- *Complesso delle calcareniti della Formazione Bolognano*, costituito dai Membri Civita e Orta, caratterizzato da permeabilità variabile, comunque decrescente verso nord;
- *Aquicluda delle formazioni terrigene ed evaporitiche* costituito dalle Formazioni Gessoso Solfifera, Fara e Mutignano, a permeabilità estremamente bassa;
- *Complesso dei detriti di falda e frana*, ad elevata permeabilità per porosità.

Verranno di seguito elencati i vari complessi prendendo come riferimento cartografico la “Carta Geologica dell’Abruzzo, scala 1:100000” di *Ghisetti & Vezzani del 1998*, e il contributo di *Celardi (2006)*, il quale analizza le idrostrutture della Maiella, del M. Pizzalto – M. Porrara e del Morrone (Figura 2.19).

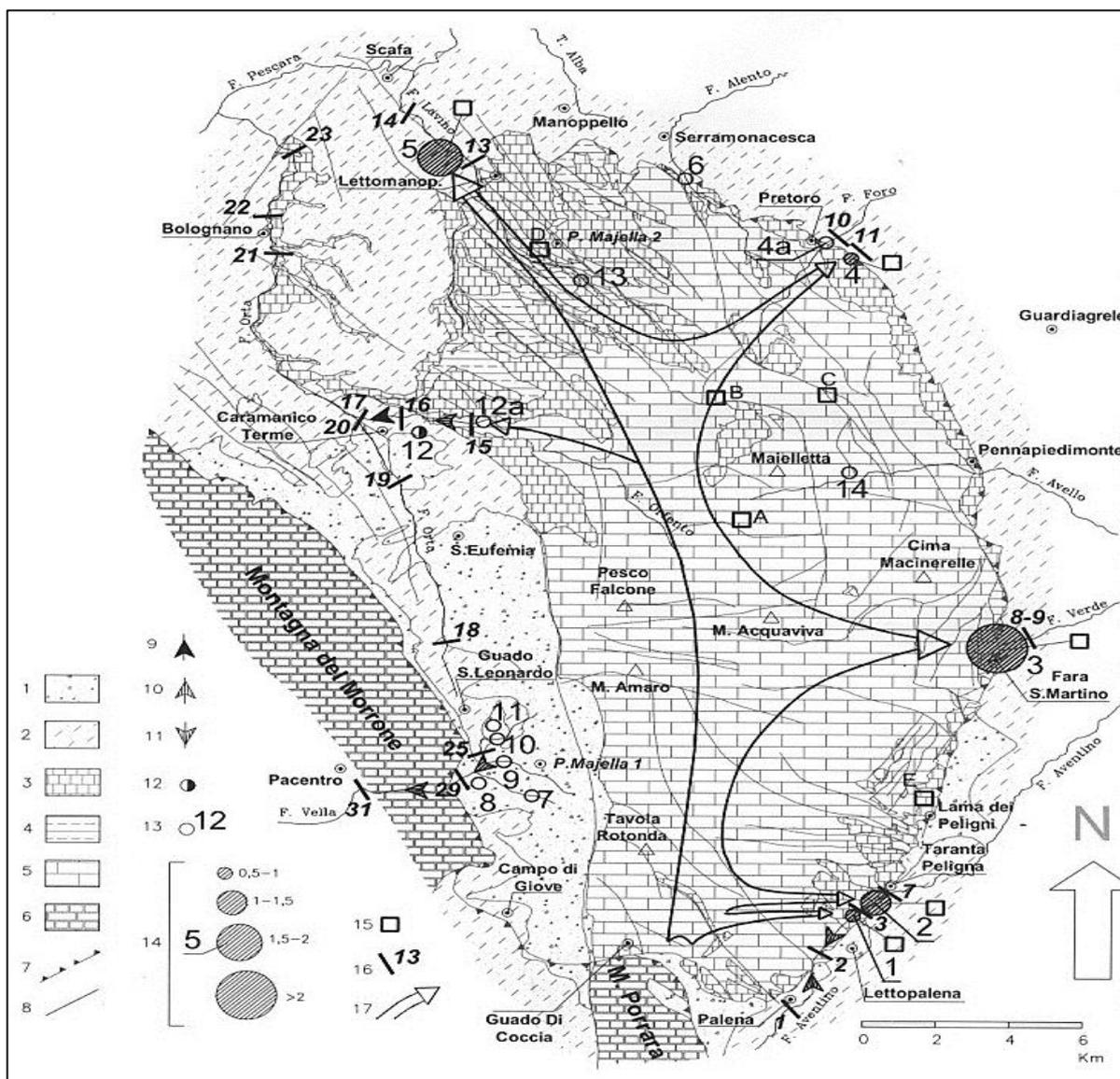


Figura 2.19 – Schema idrogeologico dell’idrostruttura della Maiella. 1) Complesso idrogeologico del detrito di falda e di frana. 2) Aquiclude delle formazioni terrigene ed evaporitiche. 3) Complesso idrogeologico delle calcareniti della Formazione Bolognano. 4) Aquiclude della Formazione Bolognano. 5) Complesso idrogeologico dei calcari giurassico – paleogenici. 6) Strutture idrogeologiche del M. Morrone e del M. Porrara. 7) Sovrascorrimenti e faglie inverse. 8) Faglie. 9) Incrementi in alveo della falda di base. 10) Incrementi in alveo da circuiti superficiali. 11) Decrementi in alveo. 12) Sorgenti mineralizzate. 13) Sorgenti da circuiti superficiali e loro numerazione. 14) Emergenze della falda di base, loro numerazione e relativi intervalli di portata in m^3/s . 15) Sorgenti sottoposte ad analisi isotopiche. 16) Sezioni e zone, con relativa numerazione, sottoposte a controllo della portata fluviale. 17) Direttrici principali del flusso di base (da *Nanni & Rusi, 2003*).

2.5.1.1 Idrostruttura della Maiella

L'idrostruttura della Maiella è caratterizzata da un unico acquifero profondo, dove si ha il flusso di base, che alimenta sorgenti con portate massime prossime ai 4 m³/s. Sull'acquifero di base, a differenti altezze, si hanno acquiferi sospesi che alimentano le oltre 240 sorgenti emergenti dall'idrostruttura (*D'Amico, 1991*). Gli acquiferi superficiali alimentano sorgenti emergenti da detriti di falda, da conoidi di detrito, da detriti di paleofrana, dai calcari cretacico-paleogenici e dalle calcareniti mioceniche. L'alimentazione dell'acquifero di base dell'idrostruttura avviene esclusivamente ad opera degli afflussi meteorici senza alcun apporto dalle strutture adiacenti (*Nanni & Rusi, 2003*). L'infiltrazione delle acque di pioggia e, soprattutto, di quelle derivanti dallo scioglimento delle nevi, è favorito dalla presenza di vasti pianori sommitali, dalla notevole frequenza ed estensione dei fenomeni carsici (*Paratore, 1972; Agostini & Rossi, 1992*), dall'intensa fratturazione e dalla presenza di estese coperture detritiche.

Dall'analisi preliminare dei dati isotopici, condotta da *Nanni & Rusi (2003)*, risulta che l'area di ricarica dell'idrostruttura è a quote medie di 1500 m s.l.m., nella parte centro meridionale, e a quote medie di 900 m s.l.m., nella parte settentrionale, in accordo con le condizioni morfologiche e fisiografiche dell'idrostruttura.

Nel contributo di *Celardi (2006)* l'idrostruttura della Maiella è composta da cinque complessi:

- *complesso di piattaforma;*
- *complesso di scarpata-bacino proximale;*
- *complesso calcareo detritico marnoso;*
- *complesso dei Conglomerati di Roccamanico;*
- *complesso torbiditico-evaporitico.*

Il *Complesso di piattaforma (Maastrichtiano - Malm sup.)* è costituito da calcari biostromali a Rudiste, alternati a calcari detritico-organogeni a frammenti di Rudiste, con intercalazioni di calcilutiti in sottili strati. Lo spessore complessivo varia da 600 m a 1100 m. Il complesso è caratterizzato da una bassa permeabilità primaria e da una buona permeabilità secondaria dovuta ad un elevato grado di fratturazione.

Il *Complesso di scarpata-bacino proximale (Oligocene p.p.- Cenomaniano)* è rappresentato da un'alternanza di calcari micritici con noduli di selce e di calcareniti bioclastiche, e torbiditiche localmente alternate a micriti pelagiche con intercalazioni di megabrecce a

struttura interna caotica. Lo spessore medio complessivo è di 1500 m, mentre la sua permeabilità è elevata.

Il *Complesso calcareo detritico marnoso (Oligocene-Miocene)* è costituito da calcari biodetritici, talora glauconitici con Briozoi e Ostreidi, che passano verso la parte sommitale a delle marne calcaree in strati decimetrici. Lo spessore totale è di alcune centinaia di metri. Le intercalazioni marnose rendono il complesso poco permeabile.

Il *Complesso dei Conglomerati di Roccamariano (Pliocene inf.)* è appunto rappresentato da dei conglomerati e breccie calcaree suddivise in diversi livelli. La sua permeabilità è molto limitata.

Il *Complesso torbiditico evaporitico (Pliocene inf.-Messiniano)* è costituito da peliti talora con intercalate areniti, marne e marne calcaree, calcari evaporitici localmente brecciati, micriti dolomitiche con intercalazioni calcarenitiche e gessi, passanti verso l'alto a peliti e siltiti. Lo spessore varia dagli 800 m ai 1300 m. Il complesso svolge una funzione di acquicluda nei confronti dell'acquifero carbonatico.

Nel contributo di *Celico et alii (1980)* è stato valutato per il settore centro-meridionale della Maiella un gradiente idraulico pari a circa il 13‰.

Nello *schema idrogeologico dell'Italia Centrale (Boni et alii, 1986)* vengono definite tre strutture idrogeologiche in funzione della loro superficie e complessità: *Unità* (con dimensioni inferiori a 200 km²); *Sistemi* (con dimensioni di qualche centinaio di km²); *Gruppi* (con dimensioni di diverse centinaia o migliaia di km²). Secondo tale suddivisione, la Maiella è compresa nel *Sistema dei Monti della Maiella*, avente un'infiltrazione efficace di 803 mm/anno per un'estensione di 294 km².

Nel contributo di *Nanni & Rusi (2003)* è stato stimato un valore di infiltrazione efficace, relativo al periodo di osservazione agosto 1997-luglio 1999, pari a 922 mm/anno, ossia 29 l/s/km², a fronte di un afflusso meteorico di circa 1520 mm/anno.

Ed infine, il bilancio idrogeologico valutato nel contributo di *Rusi (2005)* evidenzia una infiltrazione efficace pari a 962 mm/anno. I risultati ottenuti, pur con i limiti della metodologia applicata, consentono comunque di escludere apporti all'idrostruttura della Maiella dal M. Porrara e, al tempo stesso, escludono la presenza di grandi flussi verso la continuazione settentrionale sepolta dell'idrostruttura (*Nanni & Rusi, 2003*)

2.5.1.2 Idrostruttura del M. Porrara – M. Pizzalto

L'idrostruttura del Monte Porrara - Monte Pizzalto è composta da tre complessi idrogeologici (Celardi, 2006):

- complesso di piattaforma;
- complesso dei depositi di scarpata;
- complesso dei Flysch marnoso-argillosi e arenacei indifferenziati di Monte Porrara.

Il *Complesso di piattaforma (Cenomaniano-Giurassico sup.)* è costituito da calcari nocciola, ben stratificati, con spessori che variano dai 400 m ai 900 m, definibili come mudstone e wackstone a peloidi e foraminiferi bentonici, con intercalazioni argillose nella parte sommitale della formazione.

La permeabilità primaria di questo complesso è bassa, in quanto la matrice dei sedimenti è molto fine, ha invece una buona permeabilità secondaria, dovuta ad un elevato grado di fratturazione, derivante dalla natura rigida dei litotipi.

Il *Complesso dei depositi di scarpata (Eocene-Cretaceo)* è composto da calcareniti saccaroidi, calcareniti e calciruditi a frammenti di Rudiste, con intercalazioni di micriti e foraminiferi planctonici. Lo spessore del complesso è variabile da alcune a diverse centinaia di metri. L'elevata permeabilità primaria è dovuta ad un diffuso reticolo di pori che facilita l'infiltrazione, conferendo inoltre una buona permeabilità secondaria.

Il *Complesso dei Flysch marnoso-argillosi e arenacei indifferenziati di M.Porrara (Pliocene inf.-Messiniano)* è costituito da peliti con intercalate marne gessoso nerastre, siltiti diatomitiche e gessoareniti, che passano verso l'alto ad un'alternanza pelitico-arenacea torbida con conglomerati arenacei. Lo spessore totale del complesso arriva ai 650 m. Questo complesso è privo di una permeabilità significativa, quindi svolge un ruolo di tamponamento periferico.

Il gradiente piezometrico di questa idrostruttura si deprime da quota 900 m s.l.m. a 870 m s.l.m., con un gradiente idraulico medio calcolato del 7 ‰ (Celico et alii, 1980; Celardi, 2006).

L'idrostruttura del M. Porrara, nello *Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale (Boni et alii, 1986)*, è inclusa nella struttura idrogeologica del *Gruppo G4*, per il quale è stata valutata un'infiltrazione efficace di 714 mm/anno, relativa ad un'area di 2164 km².

Dal *Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo (2008)* risulta che il corpo idrico del M. Porrara, avente un'area di 62,94 km², ha un'infiltrazione di 465 mm/anno.

2.5.1.3 Idrostruttura del Morrone

L'idrostruttura del Morrone è composta da cinque complessi (Celardi, 2006):

- *complesso di piattaforma;*
- *complesso della successione indifferenziata di transizione scarpata-bacino;*
- *complesso dei calcari detritico-organogeni;*
- *complesso marnoso;*
- *complesso delle Calcilutiti di Calaturo.*

Il *Complesso di piattaforma (Cretaceo superiore-Lias)* comprende calcari ben stratificati composti da mudstones - wackestones a peloidi e foraminiferi bentonici con bauxite. Alla base sono presenti calcari cristallini passanti verso il basso a dolomie. Il complesso è caratterizzato da una bassa permeabilità primaria a causa della matrice fine dei sedimenti e da una buona permeabilità secondaria derivante dalla fratturazione. Lo spessore complessivo può raggiungere i 1700 m.

Il *Complesso della successione indifferenziata di transizione scarpata-bacino (Eocene p.p.-Lias medio)* comprende calcilutiti bianche sottilmente stratificate a Foraminiferi planctonici. Calcari micritici con noduli di selce, con intercalazioni di calcareniti fini. Calcari micritici con selce, a Radiolari e piccoli bivalvi pelagici. La permeabilità di questo complesso è inferiore rispetto a quello dei complessi tipicamente calcarei, per la presenza di frequenti intercalazioni marnose. Lo spessore complessivo può variare dagli 880 m – 1050 m.

Il *Complesso dei calcari detritico-organogeni (Tortoniano-Langhiano)* composto da calcareniti detritico-organogene con intercalazioni marnose con Litotamni, Briozoi, Coralli passanti verso l'alto a marne. Questo complesso è dotato di buona permeabilità. Lo spessore va da 150 a 200 m.

Il *Complesso marnoso (Pliocene inferiore?-Messiniano?)* composto da marne argillose con rari livelli siltitici. La sua permeabilità è molto ridotta e svolge un ruolo di chiusura idraulica nei complessi carbonatici contigui. Lo spessore varia tra i 40 m e i 50 m.

Il *Complesso delle Calcilutiti di Calaturo (Pliocene inferiore)* composto da calciruditi e conglomerati a clasti calcarei ben arrotondati passanti verso l'alto ad un'alternanza pelitico-calcarenitico-arenacea. La permeabilità di questo complesso è molto limitata. Lo spessore è di 200 m - 250 m.

Nello *Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale (Boni et alii;1986)*, l'idrostruttura del Morrone, analogamente a quella del Porrara, è inclusa nella struttura idrogeologica del

Gruppo G4 (Gruppo dei Monti Sirente, Prezza, Gran Sasso, Picca Morrone, Terratta, Grande, Greco e Rocchetta) per il quale è stata valutata un'infiltrazione efficace di 714 mm/anno relativa ad un'area di 2164 km².

Nel contributo di *Conese et alii (2001)*, invece si è ottenuto, nel periodo 1996/1997, un valore di infiltrazione efficace pari a 1100 mm/anno, a fronte di un afflusso totale medio di circa 1600 mm per il. Tale valore risulta troppo elevato rispetto ai valori proposti da *Boni et alii, 1986* di 700-900 mm/anno; mentre risultano troppo bassi valori di circa 650 mm/anno, calcolati per il periodo 1952-1992, a fronte di un afflusso totale medio di circa 1160 mm.

Più recentemente, *Celardi 2006* ha ottenuto, per l'acquifero del Morrone, un'infiltrazione efficace di 665 mm/anno relativa ad un'estensione di 109 km².

2.5.3 Idrologia del Fiume Aventino

Il bacino del fiume Aventino, ampio circa 437,5 km², è compreso nei fogli 147 (Lanciano) e 153 (Agnone) della carta Geologica d'Italia 1: 100.000. Esso nasce, a circa 900 metri s.l.m., sulle pendici orientali del Monte Porrara dalla confluenza delle acque del torrente Cotaio e della sorgente Capo di Fiume nel territorio di Palena. Poco a valle della sorgente il corso d'acqua entra nel dominio della idrostruttura della Maiella, e nei pressi di Lettopalena, le acque del fiume si infiltrano nei depositi grossolani e permeabili di una paleofrana, lasciando l'alveo prosciugato per tutto il periodo estivo fino ad una quota di circa 500 metri, per poi tornare ad emergere a seguito del contributo delle sorgenti di San Giustino. Presso l'abitato di Taranta Peligna il fiume Aventino riceve ulteriori apporti dalle sorgenti Acque Vive. A quota 255 m s.l.m., in località Torretta di Casoli, il fiume forma un lago artificiale, Lago S. Angelo di Casoli, ottenuto per mezzo di una diga in calcestruzzo; l'impianto è usato per scopi idroelettrici dalla centrale A.C.E.A. di S. Angelo. Ed infine percorre verso est gli ultimi 10 km sfociando nel Sangro, del quale è il maggiore affluente.

Il gruppo sorgivo di Capo di Fiume, parzialmente captato per scopi idropotabili, è costituito da tre polle principali localizzate in riva destra del fiume Aventino ed ha una portata media di circa 1000 L/s (*Celico, 2001; Celardi, 2006*). La sorgente, oltre ad essere il recapito principale dell'acquifero basale del Monte Porrara, è alimentata da un sistema carsico che si origina da un inghiottitoio presente in località "Quarto S. Chiara", in cui si infiltrano le acque del Fosso La Vera che drena il ruscellamento superficiale di una vasta area endoreica (*Celico, 2001*) Circa 200 m a valle delle sorgenti Capo di Fiume, le acque sono derivate dall'ENEL per scopi energetici, con un rilascio di 50 L/s; esse, infatti, arrivano ad una vasca di carico posta a 848 metri, dove dopo un salto idraulico di 300 m, giungono alla centrale idroelettrica di Taranta Peligna (*Celardi, 2006*).

Proseguendo verso valle il F. Aventino subisce un incremento di portata dovuto al contributo delle sorgenti di San Giustino, le quali sono costituite da emergenze puntuali, site in sinistra e destra idrografica, dovute a delle fratture poste nella Formazione Bolognano in contatto con la Gessoso-Solfifera. Tali sorgenti sono definite per soglia di permeabilità sovrimposta, la cui soglia è rappresentata dal limite stratigrafico tra le unità sopra citate (*Civita, 1972*), ed erogano una portata media di circa 650 L/s (*Nanni & Rusi, 2003*).

Ed infine, a contribuire al deflusso del F. Aventino ci sono le sorgenti Acque Vive costituite da una venuta puntuale, parzialmente captata per scopi idropotabili, e da venute diffuse in riva sinistra; il gruppo eroga una portata media di circa 1000 L/s (*Nanni & Rusi, 2003*).

2.5.4 Idrologia del Fiume Vella

Il Vella nasce dal versante occidentale della Maiella, e con un andamento E-W, lungo le gole di Pacentro, separa la struttura del Morrone da quella del Pizzalto. Il suo percorso ha una lunghezza di 18 km ed contribuisce, come affluente destra, alla portata del F. Gizio presso Sulmona.

L'alto corso del F. Vella riceve le acque dei depositi detritici di versante e di frana, provenienti sia dal dominio della Maiella sia da quello del Morrone (*Conese et alii, 2001*). Osservazioni dirette hanno evidenziato apporti dall'idrostruttura del Morrone, sotto forma di sorgenti ora puntuali ora lineari, caratterizzate da portate minime valutabili attorno ad 1 L/s, e da portate massime di alcune decine di L/s. Quest'ultime sono evidenti da quota 930 m s.l.m. a quota 620 m s.l.m., all'altezza della località S. Alberto di Pacentro.

Nella parte alta del bacino del Fiume Vella sono ubicate delle emergenze drenate da circuiti superficiali, precisamente, al contatto tra detrito di versante o detrito di frana con il substrato terrigeno a permeabilità molto bassa (*Nanni & Rusi, 2003*).

Nonostante le sorgenti siano numerose, il loro contributo è modesto ed utilizzato parzialmente dal comune di Pacentro per alimentare una piccola centrale idroelettrica che alimenta il paese.

L'unica eccezione tra le sorgenti emergenti dai depositi detritici è rappresentata dalla Fonte di Nunzio che, rispetto alle altre sorgenti di detrito, presenta portate maggiori, variabili da 0,1 m³/s a 0,5 m³/s, parametri chimico-fisici più costanti e minore influenza delle piogge sulle portate sorgive (*Nanni & Rusi, 2003*).

3. STRUMENTI E METODOLOGIE D'INDAGINE

Le attività sperimentali, precedute da un'ampia ricerca bibliografica, hanno interessato misure di campo e di laboratorio, le quali hanno consentito lo sviluppo del presente lavoro. Nelle *attività di campo* sono state realizzate misure di portata e dei parametri chimico-fisici, campionamento delle acque di sorgente e dei depositi di frana delle *Rock Avalanches* di Lettopalena (CH) e Campo di Giove (AQ). Le *attività di laboratorio* hanno interessato sia le analisi chimiche ed isotopiche delle acque campionate sia la caratterizzazione fisica ed idraulica dei campioni di frana.

Le analisi chimiche delle acque e le prove per la caratterizzazione fisica ed idraulica dei campioni di frana sono state condotte, rispettivamente, presso il *Laboratorio di Geochimica e quello di Geologia Applicata dell'Università di Roma La Sapienza*, mentre le analisi isotopiche sono state realizzate dal *Laboratorio di Geochimica Isotopica dell'Università di Parma* con il coordinamento del Dott. Enrico Selmo.

Per l'ubicazione e le sigle adottate delle sezioni di misura, dei campionamenti delle sorgenti e dei depositi detritici delle *Rock Avalanches*, si rimanda ai capitoli successivi.

3.1 Misura delle portate

Le misure di portata in alveo sono state condotte nei mesi di Giugno, Luglio ed Agosto 2013, con lo scopo di quantificare e caratterizzare le modalità di circolazione idrica sotterranea e superficiale nei corpi di frana dell'area di studio, anche mediante l'integrazione di altre metodologie di studio.

Nell'area di Campo di Giove sono state scelte nove sezioni di misura, mentre lungo il corso del fiume Aventino sono state individuate cinque sezioni nel mese di Giugno e sei nei mesi di Luglio – Agosto.

3.1.1 Strumenti di misura

Le strumentazioni utilizzate per la misura delle portate dei corsi d'acqua sono l'idromulinello ad induzione elettromagnetica e il micromulinello; la scelta dell'uno o dell'altro è funzione del mese e della morfologia dell'alveo: il micromulinello è stato utilizzato in sezioni per le quali lo spessore della lama d'acqua limitava le misure (Figura 3.1).

Il primo consiste in un dispositivo che genera un campo magnetico e di un corpo vite che permette di fissare lo strumento a varie altezze di un'asta metallica graduata misurando profondità dell'alveo in un determinato punto. Il campo magnetico subisce da parte della corrente fluviale delle deformazioni, che vengono trasmesse tramite un cavo ad uno strumento

dotato di display, il quale a sua volta le converte in velocità (m/s); una singola misura dura 30 secondi. Piuttosto simile nella struttura è il micro-mulinello, il quale è dotato invece di una piccola elica e di un display che restituisce il numero di giri, effettuati nell'intervallo di misura tarato a 30 secondi.



Figura 3.1 – Mulinello ad induzione elettromagnetica (a sinistra) e micromulinello (a destra) con relativi contatori.

La localizzazione delle sezioni di misura è effettuata scegliendo, generalmente, tratti di fiume in cui l'alveo è il più possibile rettilineo e con flusso laminare; ove non si trovi naturalmente, è comunque possibile rimuovere sia a monte e a valle sia lungo la sezione stessa ostacoli, come massi o qualsiasi altro corpo, che possono creare eccessiva turbolenza o al contrario ristagno delle acque.

Successivamente, si stende una fettuccia metrica plastificata, fissata e ben tesa a due picchetti metallici posti agli estremi dell'alveo, con la quale si può misurare la larghezza della sezione e la distanza tra una misura e l'altra, che in genere aumenta con la larghezza della sezione stessa, e diminuisce avvicinandosi alle sponde.

L'asta graduata degli strumenti permette di misurare la profondità totale nei punti predefiniti, e con il corpo vite di eseguire misure a varie distanze dal fondo in modo da avere un numero di dati tale da rappresentare bene i valori della velocità della corrente in tutta la sezione e contemporaneamente non essere troppo fitto. Un ulteriore accorgimento atto a migliorare la precisione delle misure consiste nel tenere perfettamente verticale l'asta che sostiene lo strumento, e mantenersi il più lontano possibile dallo strumento.

Il mulinello è costituito da una parte fissa, montata proprio sull'asta graduata, di forma idrodinamica, e da un'elica posta in rotazione dalla corrente che viene immersa in acqua, in

maniera opposta al flusso, dove ogni giro che effettua viene registrato, attraverso un cavo, che collega lo strumento ad un contatore.

La velocità dell'acqua può essere espressa secondo la seguente relazione:

$$V = \alpha n + \gamma$$

dove α definisce il peso geometrico dell'elica, n il numero di giri nell'intervallo di tempo e γ un coefficiente d'attrito.

Se si effettuano delle misurazioni con il micromulinello, le relazioni che legano il numero di giri e la velocità misurata in un punto, per un intervallo di misura pari a 30 secondi, sono :

- $V = 30 * 0,0978 + 0,039$ per $n < 53$
- $V = 30 * 0,104 + 0,028$ per $53 < n < 205$
- $V = 30 * 0,1021 + 0,041$ per $n > 205$

Mentre, per quanto riguarda le misure di portata effettuate con il mulinello non c'è una relazione, analogamente ai precedenti strumenti, in quanto lo strumento restituisce direttamente il valore della velocità, dopo un intervallo di misura di 30 secondi.

I dati così raccolti permettono di costruire la geometria della sezione e la variazione della velocità dell'acqua (laterale e verticale) ed il risultato ottenuto è una ricostruzione bidimensionale della sezione su cui si è effettuata la misura.

La sezione viene a sua volta divisa in sezioni minori, al centro delle quali ci sono i punti di misura; di ognuno viene calcolata una velocità facendo la media di quelle misurate lungo la verticale corrispondente. A questo punto la portata fluviale si calcola in questo modo:

$$Q_{tot} = \sum Q_i = \sum (A_i * V_{m_i})$$

dove Q_{tot} è la portata totale, Q_i la portata parziale, A_i l'area parziale e V_{m_i} la velocità media di ognuna delle sezioni minori (Figura 3.2). L'incertezza di misura non compromette il risultato se non supera il 10%, ma generalmente è intorno al 5%; la portata si misura in m^3/s , o, più comunemente, in L/s.



Figura 3.2 – Esempio di sezione di misura nel Fiume Aventino nei pressi di Lettopalena (CH).

Questi calcoli possono essere eseguiti automaticamente da un apposito foglio di calcolo Excel, inserendo i valori della profondità totale, delle distanze dal fondo e delle velocità misurate, e ottenendo anche un grafico con la geometria della sezione; nel caso delle misure eseguite con il micro-mulinello, viene inserito il numero dei giri dal quale si ricava la velocità tramite apposite formule definite come sopra.

Il numero di misure effettuate è funzione della morfologia e della variazione batimetrica di ogni sezione: per pochi centimetri di lama d'acqua è sufficiente un solo rilievo, mentre su profondità decimetriche sono necessarie più misure per registrare il diverso regime di flusso tra la superficie e il fondo.

3.2 Analisi chimiche

Le caratteristiche idrogeochimiche delle acque delle principali emergenze riconosciute risultano molto utili ai fini della conoscenza idrogeologica, infatti, la loro interpretazione può fornire un contributo basilare nella validazione dei modelli idrogeologici e nella ricostruzione delle modalità di alimentazione e circolazione delle acque negli acquiferi (*Barbieri et alii, 2003*).

L'applicazione di metodologie geochemiche (chimiche ed isotopiche) permette di ottenere informazioni sul percorso evolutivo delle acque nei settori degli acquiferi esaminati e di ipotizzarne le origini, il mescolamento ed i processi chimici e fisici che controllano la dinamica sotterranea.

Il campionamento delle acque è stato effettuato nel mese di Luglio 2013 ed ha interessato le sorgenti di Capo di Fiume ed il Gruppo San Giustino nel bacino del Fiume Aventino, e otto sorgenti, nell'area circostante a Campo di Giove. Sono stati utilizzati contenitori sterili di polietilene di capacità variabile dai 100 ai 250 ml, sia per l'analisi chimica che isotopica. Gli accorgimenti seguiti in campagna sono stati quelli di lavare i contenitori con acqua deionizzata, o comunque, effettuare almeno tre lavaggi, prima del campionamento, con la stessa acqua da campionare; si è prelevata acqua con l'ausilio di una siringa e filtro atti all'eliminazione di contenuti organici. La scelta dei punti di campionamento delle acque sorgive è ricaduta, in seguito ad una prima ricostruzione idrogeologica, su quelle sorgenti che sono state considerate le più significative ed affini allo studio di questo lavoro.

In seguito i campioni sono stati portati in laboratorio dove si è proceduto alla realizzazione delle analisi chimiche tramite il metodo della cromatografia ionica per la valutazione della concentrazione degli ioni maggiori

3.2.1 Diagrammi di rappresentazione

Le rappresentazioni grafiche dei risultati della analisi chimiche delle acque hanno lo scopo di visualizzare in modo rapido, semplice e globale, i dati idrochimici più significativi. È noto che i sali più facilmente solubili presenti con maggior frequenza nelle rocce sono CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, MgCO_3 , NaCl , CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Per questo gli ioni più importanti contenuti nelle acque sotterranee sono Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} e SO_4^{2-} .

I risultati delle analisi, sono stati plottati su diagrammi di comparazione i quali raggruppano più analisi e vengono pertanto utilizzati per paragonare e correlare tra loro acque diverse (*Celico, 2003*).

I diagrammi utilizzati nello studio chimico delle acque sono quelli di Chebotarev e di Scholler, dove con il primo si attribuisce l'appartenenza ad una determinata facies idrochimica, mentre con il secondo si evidenziano eventuali anomalie.

Diagramma di Chebotarev

Nel diagramma di *Chebotarev* i gruppi di anioni e cationi significativi sotto il profilo geochimico (calcio-magnesio, sodio-potassio, solfati-cloro, bicarbonati-carbonati) vengono trasformati in valore di reazione %, rapporti cioè tra le concentrazioni espresse in equivalenti/litro dei gruppi di anioni considerati e somma di tutti gli anioni, e tra cationi considerati e somma di cationi, il tutto riferito al particolare campione preso in considerazione. Sulle ordinate e sulle ascisse i valori di reazione dei due gruppi significativi vengono riportati uno in ordine crescente e l'altro in ordine decrescente, in maniera tale che la somma delle distanze dai limiti del quadrato sia sempre un valore costante uguale al 50% per i cationi e 50% per gli anioni (*Celico, 2003*).

Ogni campione è rappresentato da un solo punto che ricade in una delle quattro aree in cui il quadrato è suddiviso, corrispondenti ad facies chimiche (Figura 3.3).

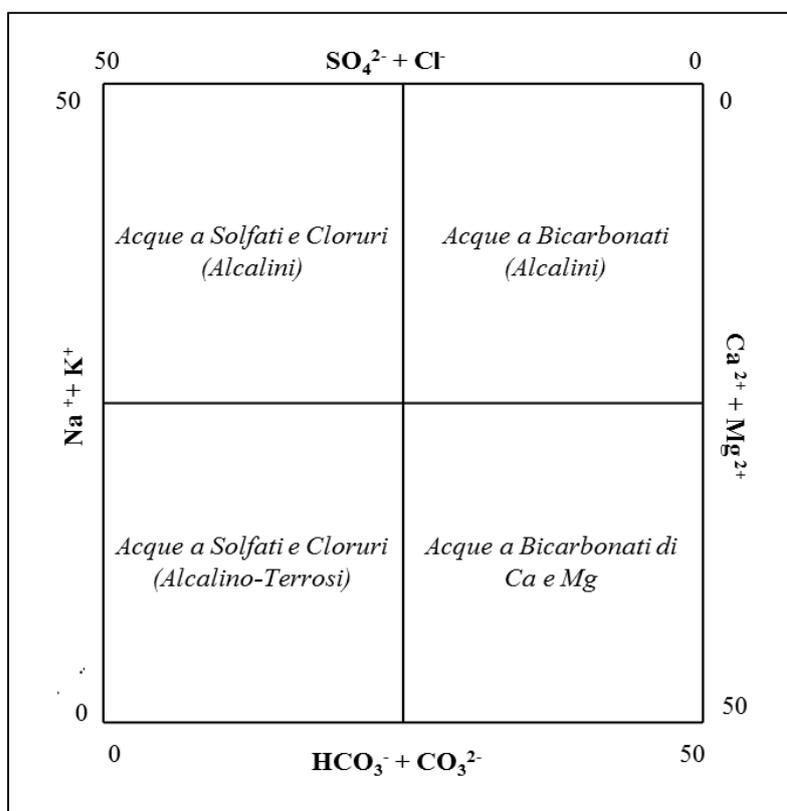


Figura 3.3 – Diagramma di Chebotarev per la classificazione delle acque.

Diagramma di Schoeller

Il diagramma semilogaritmico di *Schoeller* (1935), successivamente completato da Berkloff nel 1938 e nel 1952, è quello che meglio si presta per confrontare tra loro acque diverse. Esso è costituito da più ordinate lungo le quali vengono riportate, in scala logaritmica, le concentrazioni dei singoli elementi in mg/l o meq/l e da un asse delle ascisse che riporta invece gli elementi. I punti ottenuti vengono poi uniti con una spezzata. Il vantaggio di questo diagramma è legato al fatto che vengono conservati i valori assoluti delle concentrazioni dei singoli ioni, il che consente di distinguere le acque a debole mineralizzazione da quelle più mineralizzate. Inoltre, la pendenza di ogni segmento che unisce i punti rappresentativi di due ioni differenti raffigura il rapporto caratteristico tra gli ioni stessi. Pertanto, rapporti uguali comportano l'esistenza di segmenti paralleli o sub-paralleli; mentre segmenti a pendenza diversa o invertita indicano che le acque hanno caratteristiche idrochimiche differenti (*Celico, 2003*). Attraverso il diagramma di Schoeller è quindi possibile individuare la facies chimica dominante delle acque sorgive: acqua bicarbonato-calcica, solfato-calcica, cloruro-alcaina e bicarbonato-alcaina.

3.2.2 Misura dei parametri chimico-fisici

Le caratteristiche chimico-fisiche (temperatura, pH e conducibilità) delle acque sotterranee dipendono dalla qualità delle acque di precipitazione, dalla composizione della roccia serbatoio, dall'interazione acqua-roccia, dalle condizioni idrodinamiche all'interno dell'acquifero, dai tempi di residenza nel sottosuolo e dalle possibilità di mescolamento tra acque con caratteristiche chimiche differenti.

Lo strumento utilizzato per la misura della temperatura (°C), del pH e della conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), in ogni campagna di misura, è la sonda multiparametrica (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Sonde multiparametriche. La sonda a sinistra misura il pH, quella a destra la conducibilità elettrica e la temperatura.

La conoscenza della temperatura è utile in quanto gioca un ruolo fondamentale sul pH, sulla solubilità dei sali disciolti e, di conseguenza, sulla salinità e sulla conducibilità dell'acqua. Inoltre, può dare indicazioni sui circuiti sotterranei e, quindi, sul percorso idrico sotterraneo, ed su eventuali mescolamenti tra acque diverse.

La conducibilità dell'acqua viene espressa in $\mu\text{S}/\text{cm}$, ed esprime la capacità di un'acqua di lasciarsi attraversare da una corrente elettrica, di conseguenza è direttamente proporzionale alla quantità di cariche, cioè di ioni, presenti nell'acqua e perciò della mineralizzazione dell'acqua stessa. Poiché essa è un parametro largamente dipendente dalla temperatura, occorre riportare i valori misurati a quelli teorici che si avrebbero alla temperatura standard di 25°C (oppure 18° o 20°); lo strumento utilizzato provvede automaticamente a normalizzare la misura alla temperatura di 25°C .

Il pH consente di definire il comportamento acido o basico di una soluzione e la sua misura con la sonda multiparametrica si incentra sulla proprietà di certi elettrodi di variare il loro potenziale in funzione della concentrazione degli idrogenioni in acqua.

3.3 Analisi isotopiche

Le acque sotterranee circolanti all'interno di un acquifero subiscono un'evoluzione chimica che è funzione principalmente dei processi di interazione acqua-roccia che, a loro volta, sono condizionati, quantitativamente e qualitativamente, dall'ambiente idrogeologico. L'interpretazione dei dati idrogeochimici ed isotopici forniscono un contributo basilare nella validazione dei modelli idrogeologici e, in particolare, alla ricostruzione delle modalità di alimentazione e circolazione delle acque negli acquiferi (*Barbieri et alii, 2003*), purchè sia noto un modello idrogeologico di riferimento, basato su dati quantitativi e sull'assetto geologico-strutturale (*Celico, 1986*).

Gli isotopi considerati sono ossigeno ed idrogeno, traccianti naturali, la cui concentrazione non dipende dalle caratteristiche idrogeologiche e geologiche della zona, ma è funzione solo delle caratteristiche proprie dell'acqua di infiltrazione efficace. Il frazionamento isotopico è un processo che avviene principalmente per evaporazione e condensazione, e non si verifica nel sottosuolo; infatti, l'acqua di infiltrazione rispecchia la composizione isotopica dell'acqua di precipitazione ad una determinata quota altimetrica.

Le precipitazioni hanno una variabilità spaziale e temporale della composizione isotopica dovuta ai diversi processi fisici, chimici e biologici. L'applicazione della geochimica isotopica nello studio dei processi di ricarica delle acque sotterranee sfrutta le variazioni indotte dall'effetto dell'altitudine sulla composizione isotopica delle piogge, dove proprio il gradiente isotopico verticale delle precipitazioni in un bacino consente di ricavare, in funzione dei rapporti isotopici delle acque di falda, le quote medie delle acque di infiltrazione all'interno del bacino considerato. La principale incertezza del metodo deriva dalla possibilità di mescolamento tra i circuiti idraulici relativi a diverse quote d'infiltrazione.

In questo lavoro di tesi, sono stati utilizzati gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno della molecola d'acqua per ricavare la quota media di infiltrazione delle acque, in modo da poter distinguere quali sono i contributi provenienti da circuiti superficiali, in cui si presume ci sia una circolazione breve e veloce, da quelle circuiti profondi rappresentati da acquiferi carbonatici carsici dell'area di studio.

3.3.1 Isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno

L'ossigeno-18 (^{18}O) e il deuterio (^2H o D), isotopi stabili rispettivamente dell'ossigeno e dell'idrogeno, rappresentano i traccianti ideali del mezzo idrico poiché hanno un comportamento prossimo a quello del mezzo tracciato (*Bortolami, 1977*). La tecnica che permette di misurarli è la spettroscopia di massa con una precisione di 0,2‰ per $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e dell'1‰ per D/H . Come per gli altri isotopi stabili, entrambi vengono espressi in differenza per mille (δ ‰) del rapporto isotopico del campione rispetto allo stesso rapporto nello standard di riferimento mediante l'espressione seguente:

$$\delta = \left[\frac{R_{\text{CAMPIONE}} - R_{\text{STANDARD}}}{R_{\text{STANDARD}}} \right] \times 1000$$

dove, per l'ossigeno si ha:

R_{campione} : rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del campione

R_{standard} : rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dello standard

e per l'idrogeno:

R_{campione} : rapporto D/H del campione

R_{standard} : rapporto D/H dello standard

Il rapporto isotopico di riferimento è la SMOW (Standard Mean Ocean Water) che rappresenta il valore medio della composizione isotopica delle acque oceaniche, preparata mescolando campioni diversi di acqua oceanica distillata (*Craig, 1961*), che a loro volta costituiscono il punto di partenza e di arrivo del ciclo idrogeologico, per cui lo SMOW viene posto uguale a 0.

I principali processi naturali che determinano i frazionamenti isotopici, e quindi una variazione del rapporto isotopico rispetto allo standard, nelle acque sono quello di evaporazione (riduce il rapporto) e di condensazione (aumenta il rapporto).

Il vapore d'acqua che all'inizio del ciclo idrologico si libera dagli oceani è sensibilmente più povero di isotopi pesanti rispetto all'acqua marina, ciò è dovuto al fatto che le molecole d'acqua con gli isotopi leggeri risultano più volatili di quelle con gli isotopi pesanti e vengono concentrate nella fase vapore (*Bortolami, 1977*). Pertanto, il vapore acqueo ha rapporti isotopici D/H e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ più bassi di quelli dell'acqua da cui trae origine, ovvero contiene il 12 ‰ di ^{18}O e l'85‰ di D in meno rispetto all'acqua marina.

Durante la condensazione di questo vapore si verifica il processo opposto, la fase liquida che si forma è più ricca di isotopi pesanti rispetto al vapore che l'ha originata. Man mano che le

precipitazioni si separano dal vapore atmosferico, quest'ultimo diventa sempre più povero in isotopi pesanti. Le precipitazioni, quindi, presentano valori di D/H e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sempre più negativi a mano a mano che si succedono le varie condensazioni. Il fenomeno di evaporazione porta alla formazione di vapore acqueo arricchito in isotopi leggeri rispetto al liquido di partenza, mentre quello di condensazione comporterà un arricchimento in isotopi pesanti rispetto alla massa di vapore da cui è derivato (*Bortolami, 1977*).

I valori di δD e $\delta^{18}\text{O}$ risultano correlati con la temperatura di formazione delle precipitazioni dove il grado di condensazione delle masse di vapore dipende proprio dalla temperatura. Dal momento che il frazionamento isotopico risulta tanto maggiore quanto più è bassa la temperatura, è evidente che i tenori in δD e $\delta^{18}\text{O}$ delle precipitazioni sono strettamente dipendenti (oltre che dalla posizione rispetto agli oceani) dalla latitudine, dalla stagione e dall'altitudine (*Craig 1961*). Infatti, le acque di precipitazione tendono a diventare isotopicamente più leggere all'aumentare della latitudine e dell'altitudine. Pertanto, determinando i contenuti in isotopi pesanti stabili delle acque sotterranee e correlandoli con le variazioni della composizione isotopica delle acque di precipitazione in funzione dell'altitudine, è possibile calcolare la quota media dell'area di ricarica di sorgenti e falde (*Celico, 1986*).

3.3.2 Correlazioni δD e $\delta^{18}O$

La relazione riconosciuta a livello mondiale esistente fra δD e $\delta^{18}O$ nelle acque di origine meteorica, è rappresentata dalla formula di *Craig (1961)*, denominata “Retta Meteorica delle Precipitazioni Globali”(Global Meteoric Water Line, MWL o GMWL) (Figura 3.5), determinata sulla base di campioni prelevati in tutto il mondo, la cui equazione è:

$$\delta D\text{‰} = 8 \delta^{18}O + 10 \quad (\text{SMOW})$$

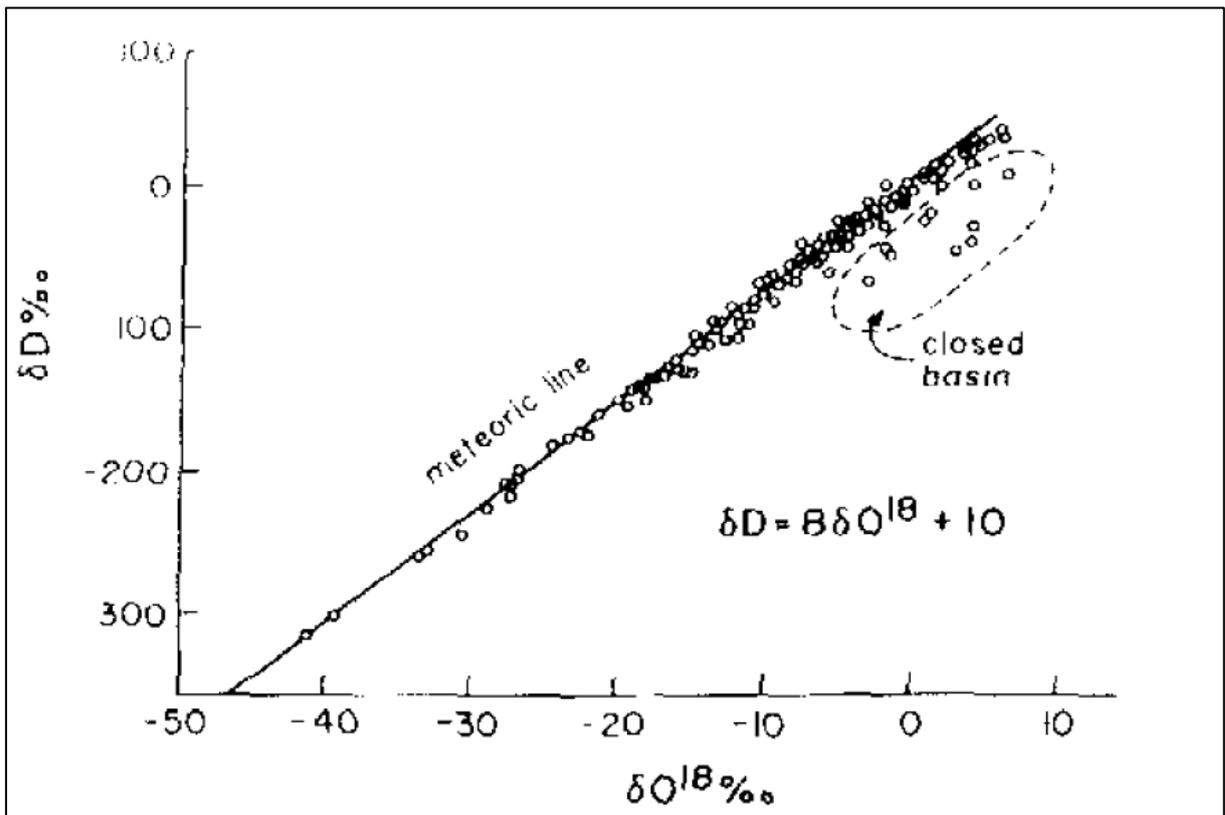


Figura 3.5 - Retta Meteorica Globale (SMOW) (da *Craig, 1961*).

Essa può variare in termini di pendenza e di intercetta in funzione di processi cinetici condizionati a loro volta dai fenomeni di evaporazione e di spostamento delle masse di vapore verso le zone a più bassa temperatura (*Gat et alii, 2001*). La Retta Meteorica Globale (GMWL – Global Meteoric World Line) ha validità mondiale solo da un punto di vista applicativo, ma rappresenta in realtà una media di numerose rette meteoriche regionali che si discostano singolarmente dalla retta globale a causa di condizioni climatiche (fenomeni secondari di evaporazione durante la precipitazione, stagionalità delle precipitazioni).

L'equazione della retta è sostanzialmente confermata da *Yurtsever & Gat (1981)* e, più recentemente, da *Rozanski et alii (1993)*, che hanno ottenuto la seguente equazione considerando tutti i dati provenienti dalla rete di monitoraggio IAEA Vienna (Figura 3.6):

$$\delta D\text{‰} = 8,13 \delta^{18}O + 10,8 \quad (\text{Vs-SMOW})$$

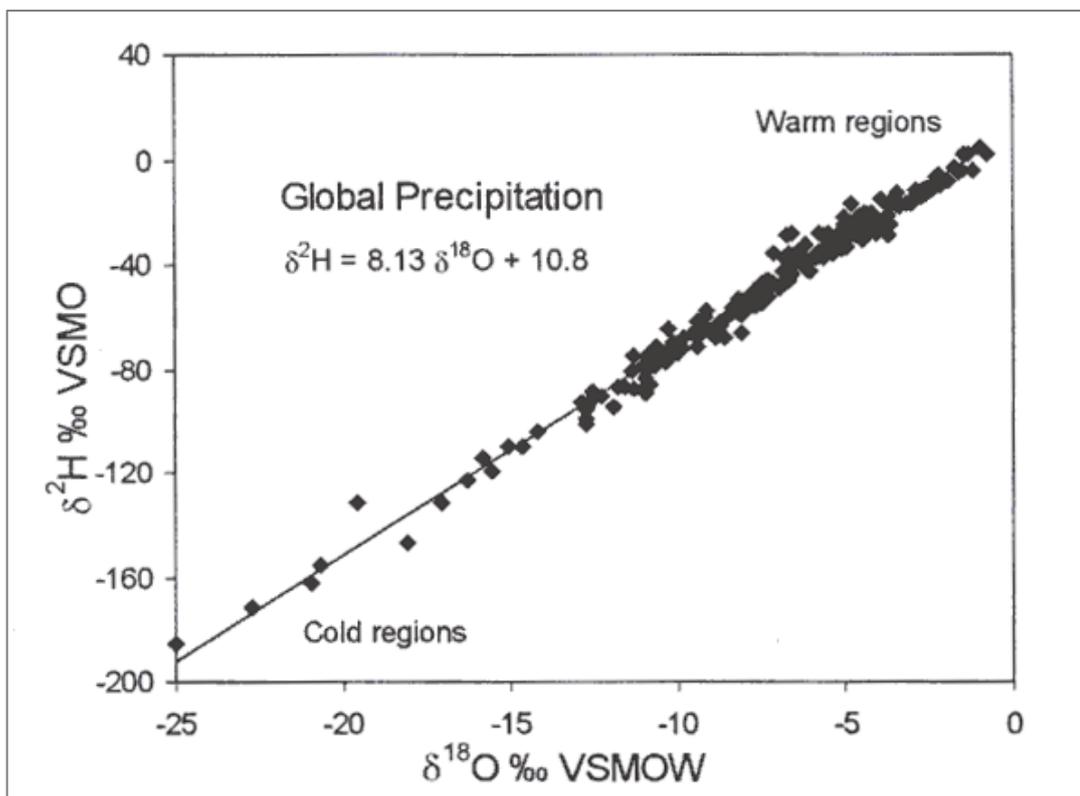


Figura 3.6 - Retta Meteorica Globale (vs-SMOW) (da *Clark & Fritz, 1997*).

Ogni regione ha una propria Retta Meteorica Locale (LMWL), in alcune di esse si osserva una diversa intercetta sull'asse δD , ma il coefficiente angolare pari ad 8 rimane conservato. Ad esempio, *Gat & Carmi (1970)*, hanno trovato la seguente relazione per le precipitazioni del bacino del Mediterraneo:

$$\delta D\text{‰} = 8 \delta^{18}O + 22$$

la cui retta prende il nome di "retta delle precipitazioni del Mediterraneo" (MMWL Mediterranean Meteoric Water Line).

Per l'Italia, *Longinelli & Selmo (2003)* suggeriscono la seguente equazione:

$$\delta D\text{‰} = 7,61 \delta^{18}O + 9,21$$

proponendo inoltre tre LMWL, una per il Nord, una per il centro (Figura 3.7) e una per il Sud Italia, di equazione rispettivamente:

$$\delta D\text{‰} = 7,709 \delta^{18}O + 9,403 \quad (\text{Retta Italia del nord - NIML})$$

$$\delta D\text{‰} = 7,047 \delta^{18}O + 5,608 \quad (\text{Retta dell'Italia centrale - CIML})$$

$$\delta D\text{‰} = 6,970 \delta^{18}O + 7,316 \quad (\text{Retta dell'Italia del sud - SIML})$$

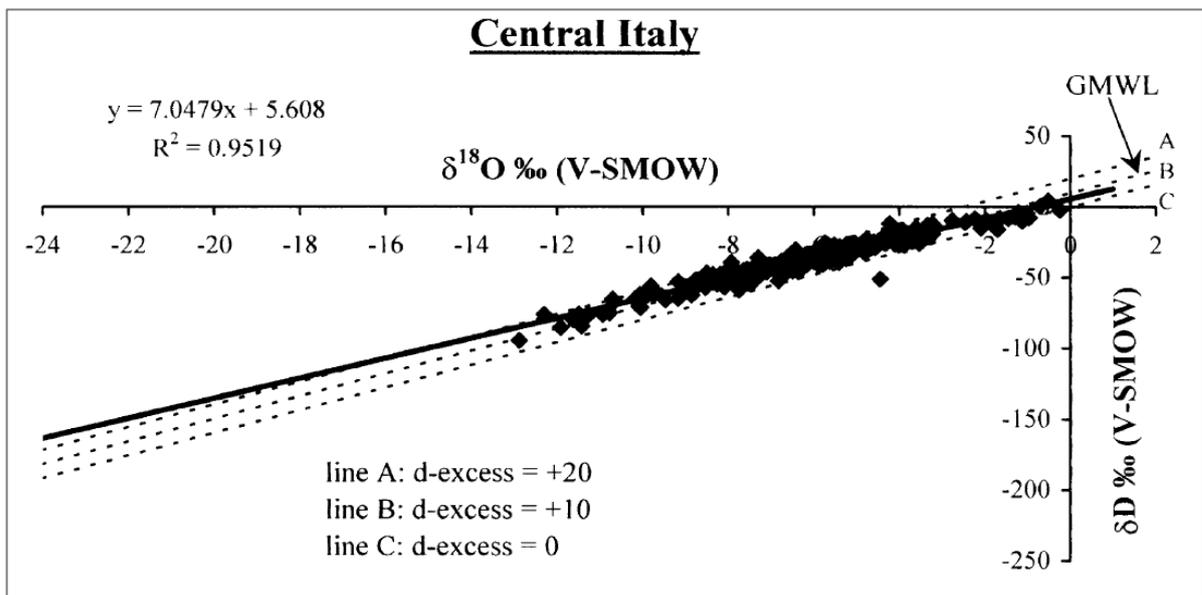


Figura 3.7 - Relazione tra $\delta^{18}O$ (ascisse) e δD (ordinate) per i valori medi mensili relativi alle precipitazioni atmosferiche dell'Italia centrale (da Longinelli & Selmo, 2003 modificata).

Per l'Italia centrale e meridionale la variazione rispetto alle rette globali può essere dovuta all'effetto di fattori morfologici e climatici locali.

Dallo studio condotto sulle acque sorgive dell'idrostruttura carbonatica del Gran Sasso, Celico et alii (1984) hanno ottenuto l'equazione seguente

$$\delta D\text{‰} = 7,62 \delta^{18}O + 12,5$$

mentre, sempre per la stessa idrostruttura, Barbieri et alii (2005) forniscono l'equazione

$$\delta D\text{‰} = 7,76 \delta^{18}O + 9,95$$

Desidero et alii (2005) hanno proposto tre rette di correlazione δD e $\delta^{18}O$, ottenute dal campionamento di acque appartenenti alle idrostrutture del Gran Sasso e Sirente, Morrone, Maiella, Porrara-Pizzalto, Genzana, e alla conca intramontana di Sulmona, le quali sono di seguito elencate (*Boni et alii, 1886; Celico et alii, 2001; Conese et alii, 2001; Desiderio et alii, 2002; Petitta & Tallini, 2003; Nanni & Rusi, 2003*):

$$\delta D\text{‰} = 7,6 \delta^{18}O + 8,8 \quad (\text{marzo 2000});$$

$$\delta D\text{‰} = 7,7 \delta^{18}O + 9,4 \quad (\text{giugno 2000});$$

$$\delta D\text{‰} = 8,2 \delta^{18}O + 14,9 \quad (\text{novembre 2000}).$$

I coefficienti angolari di tali rette sono pressoché coincidenti a quelle di altre rette meteoriche valide per l'Italia Centrale (*Desiderio et alii 2005*).

Dall'analisi isotopica delle acque di scioglimento delle nevi (LMLS) e delle nevi miste a pioggia (LMLSR), *Adinolfi Falcone et alii (2008)*, calcolano le seguenti rette meteoriche locali riferite all'acquifero carbonatico del Gran Sasso:

$$\delta D\text{‰} = 8,46 \delta^{18}O + 18,19 \quad (\text{LMLS})$$

$$\delta D\text{‰} = 7,73 \delta^{18}O + 10,77 \quad (\text{LMLSR})$$

In riferimento alle acque sorgive della regione Abruzzo, *Barbieri et alii (2003)* hanno ricavato l'equazione

$$\delta D\text{‰} = 7,7 \delta^{18}O + 9,8$$

Le equazioni, prese in considerazione per questo studio, valide a scala mondiale (GMWL), regionale (MMWL e CIML) e locale, sono rappresentate nella figura seguente (Figura 3.8).

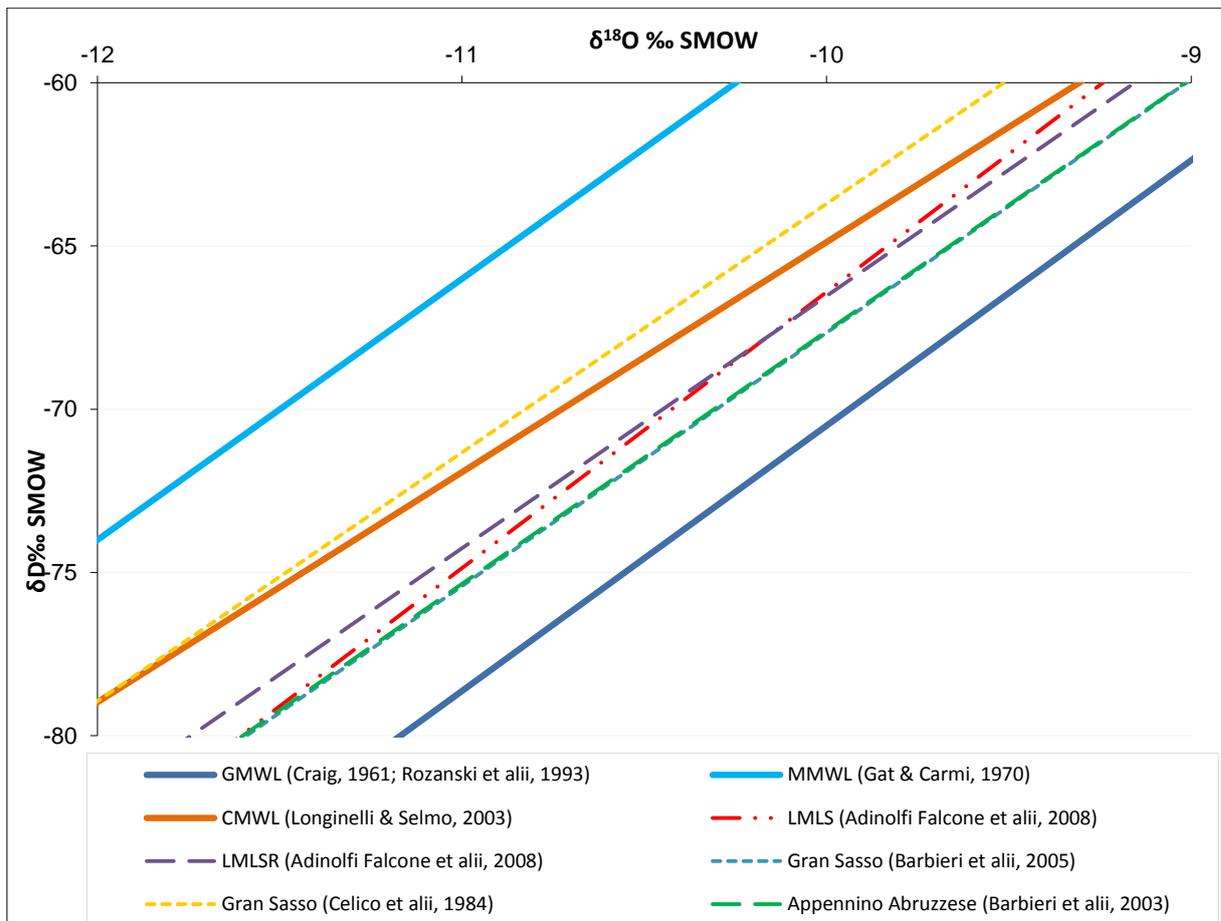


Figura 3.8 - Principali rette di correlazione $\delta D / \delta^{18}O$ utilizzate nello studio delle analisi isotopiche.

3.3.3 Correlazioni di δD e $\delta^{18}O$ con l'altitudine

I gradienti isotopici verticali delle precipitazioni in un bacino, generalmente espressi in funzione di un incremento dell'altitudine di 100 m, possono consentire di ricavarne le quote medie delle acque di infiltrazione. I gradienti medi per l'Italia di variazione del δD e del $\delta^{18}O$ in funzione dell'altitudine (Δh) sono dati secondo *Celico (1986)* da:

$$\frac{\Delta \delta^{18}O}{\Delta h} = -0,3\text{‰}/100 \text{ m} \quad \frac{\Delta \delta D}{\Delta h} = -2,5\text{‰}/100 \text{ m}$$

Si ha quindi che il $\delta^{18}O$ decresce in media dello 0,3‰ ogni 100 m di incremento dell'altitudine e di δD del 2,5‰. Il gradiente medio proposto per il $\delta^{18}O$ da *Longinelli & Selmo (2010)* riferito alla penisola italiana è di circa $-0,15\text{‰}/100 \text{ m}$.

Barbieri et alii (2003) suggeriscono una retta di correlazione $\delta^{18}O$ - quota (h) per le acque sorgive abruzzesi di equazione pari a

$$\delta^{18}O = -0,0013h - 8,4 \quad (\text{gradiente: } -0,13\text{‰}/100 \text{ m}),$$

con gradienti medi verticali calcolati nelle acque di precipitazione, pari a $-0,11\text{‰}/100\text{ m}$ e $-1,15\text{‰}/100\text{ m}$ rispettivamente per l'ossigeno e per il deuterio.

Questi valori risultano confrontabili con i dati relativi a *Celico et alii (1984)* che definivano un gradiente isotopico verticale, calcolato utilizzando le acque sotterranee, pari a $-0,14\text{‰}/100\text{ m}$ per l'ossigeno e di $-0,9\text{‰}/100\text{ m}$ per l'idrogeno.

Nella studio idrochimico ed isotopico dell'acquifero carsico del Gran Sasso, *Barbieri et alii (2005)* forniscono l'equazione:

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0024h - 6,35 \quad (\text{gradiente: } -0,24\text{‰}/100\text{ m}).$$

Utilizzando le sorgenti alimentate da circuiti superficiali e veloci dell'idrostruttura della Maiella, *Desiderio et alii (2005)* hanno ottenuto la seguente equazione, relativamente al periodo di giugno 2000:

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0016h - 7,9 \quad (\text{gradiente: } -0,16\text{‰}/100\text{ m}),$$

mentre quelle calcolate da *Nanni & Rusi (2003)* sono:

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0017h - 7,71 \quad (\text{gradiente: } -0,17\text{‰}/100\text{ m})$$

$$\delta^2\text{H} = -0,0131h - 50,12 \quad (\text{gradiente: } -1,31\text{‰}/100\text{ m}).$$

3.4 Analisi granulometrica

L'analisi granulometrica è una prova che permette di definire la distribuzione percentuale del diametro dei granuli presenti e di classificare il terreno. La prova è stata condotta secondo la norma ASTM D422-63 (*reapproved 2007*).

Il quantitativo di terreno utilizzato, funzione dei granuli di dimensioni maggiori, è sottocampionato dai sacchi di prelievo attraverso l'operazione di quartatura, al fine di garantire la rappresentatività stessa del campione (Figura 3.9 a)

L'analisi granulometrica è eseguita mediante due fasi, quella della setacciatura (o vagliatura) e della sedimentazione (o areometria), rispettivamente, per i granuli di dimensioni maggiore e minore di 0,075 mm di diametro. Pertanto, i campioni sono sottoposti, inizialmente, ad una vagliatura per via umida (lavaggio con acqua), mediante il setaccio n. 200 ASTM (< 0.075 mm), con lo scopo di isolare il trattenuto dal passante al medesimo setaccio (Figura 3.9 b-c-d).

Il trattenuto al setaccio n. 200 ASTM è analizzato mediante la vagliatura per via secca con l'ausilio di una batteria di setacci ASTM standard (3", 2", 1.5", 1", 3/4", 3/8", 4", 10", 20", 40", 60", 140", 200"). Quest'ultima viene fatta vibrare in modo da favorire il passaggio di materiale dalle diverse maglie e, alla fine dell'agitazione viene misurato, ad ogni setaccio, il peso del trattenuto (Figura 3.9 e).

Mentre, il passante al setaccio n. 200 ASTM, destinato all'areometria, è analizzato con il sedigrafo a raggi X, che permette di esaminare la frazione fine ($1 \mu\text{m} < \phi < 100 \mu\text{m}$). Tale strumento è costituito da un multicampionatore e da un'unità analizzatrice, entrambi interfacciati da un software di gestione.

Il multicampionatore è caratterizzato da un *carousel*, in cui è possibile inserire fino a 18 beakers di analisi per campione, da un braccio meccanico con agitatore a palette, da un agitatore ultrasonico e da un collegamento ad una pompa peristaltica, che trasferisce, dopo le operazioni di mixing, il contenuto dei beakers all'unità analizzatrice (Figura 3.9 f).

Invece, l'unità analizzatrice comprende una cella interna, dove avviene l'analisi a mezzo di raggi X emessi da un anticatodo, e una camera di miscelazione esterna (*mixing chamber*). In quest'ultima, il liquido disperdente e il sedimento, arrivati dal multicampionatore, sono scaldati e al contempo tenuti in sospensione da un agitatore magnetico fino al raggiungimento della temperatura di analisi (35°C) (Figura 3.9 g).

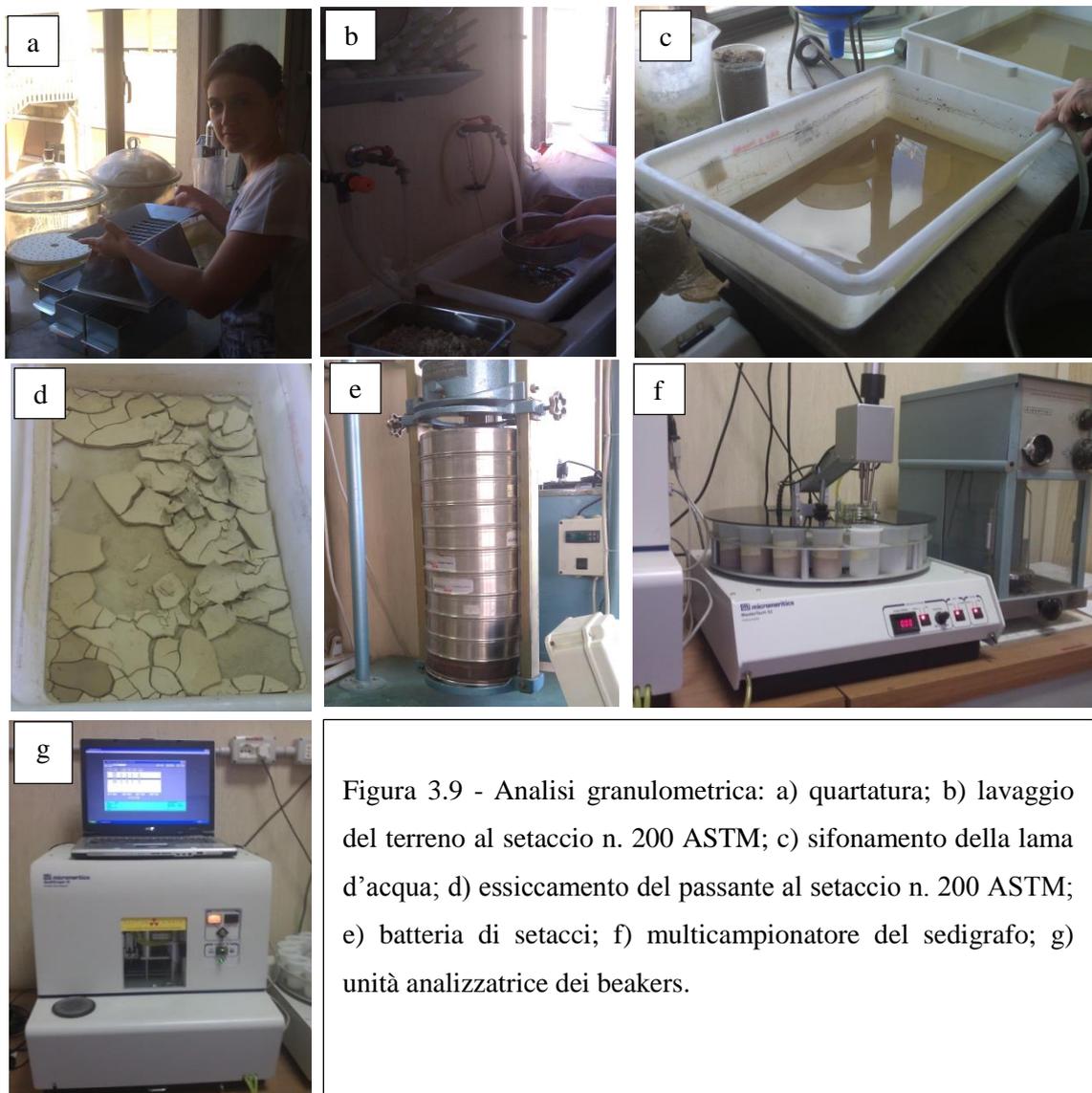
Il campione di analisi è composto da circa 5 g di sedimento dispersi in 60-80 ml di una soluzione di esametafostato di sodio al 2%; il tempo di scansione per ogni campione è di circa 3-4 minuti.

Il metodo di misura del sedigrafo si basa sulla sedimentazione gravitativa, regolata dalla *legge di Stokes*, e sull'assorbimento dei raggi X, funzione della concentrazione di sedimento nel liquido disperdente nel tempo, e dallo spettro di assorbimento di quest'ultimo.

La *legge di Stokes* esprime la velocità di sedimentazione delle particelle con la relazione

$$v = [2 (g * r^2 * (\rho_p - \rho_w))] / 9 * \nu$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, r la dimensione delle particelle, ρ_p e ρ_w la densità delle particelle e dell'acqua e ν la viscosità dell'acqua.



I risultati dell'analisi granulometrica sono riportati in un diagramma semilogaritmico, con il diametro dei setacci in ascissa e la percentuale di passante in ordinata (Allegati). Si ottiene così la curva granulometrica che permette di determinare il coefficiente di uniformità (Cu) e il coefficiente di curvatura (Cc):

$$Cu = D_{60}/D_{10}$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60}).$$

Dove D_{10} , è il diametro per il quale si ha il 10% di passante in peso;

D_{30} , è il diametro per il quale si ha il 30% di passante in peso;

D_{60} , è il diametro per il quale si ha il 60% di passante in peso.

3.5 Classificazione USCS

In funzione dei dati granulometrici, dei valori dei coefficienti di uniformità (Cu) e di curvatura (Cc) acquisiti, è possibile classificare, ciascun campione, secondo il sistema *USCS* (*Unified Soils Classification System*), descritto dalla norma ASTM D2487-10.

I terreni possono essere suddivisi in cinque gruppi principali, due a grana grossa: ghiaie (G) e sabbie (S); tre a grana fine: limi (M), argille (C) e terreni organici (O).

In particolare, i terreni a grana grossa sono suddivisi in ghiaie (G) e sabbie sulla base della percentuale di trattenuto/passante ai setacci n. 200 e 4 ASTM e di limo-argilla (Figura 3.10).

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification		
				Group Symbol	Group Name ^B	
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	Clean Gravels (Less than 5 % fines ^C)	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^D$	GW	Well-graded gravel ^E	
			$Cu < 4$ and/or [$Cc < 1$ or $Cc > 3$] ^D	GP	Poorly graded gravel ^E	
	More than 50 % retained on No. 200 sieve	Gravels with Fines (More than 12 % fines ^C)	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{E,F,G}	
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel ^{E,F,G}	
FINE-GRAINED SOILS	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	Clean Sands (Less than 5 % fines ^H)	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^D$	SW	Well-graded sand ^I	
			$Cu < 6$ and/or [$Cc < 1$ or $Cc > 3$] ^D	SP	Poorly graded sand ^I	
	50 % or more passes the No. 200 sieve	Sands with Fines (More than 12 % fines ^H)	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{F,G,I}	
			Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand ^{F,G,I}	
FINE-GRAINED SOILS	Silt and Clays Liquid limit less than 50	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K,L,M}	
			$PI < 4$ or plots below "A" line ^J	ML	Silt ^{K,L,M}	
	50 % or more passes the No. 200 sieve	Silt and Clays Liquid limit 50 or more	organic	$\frac{\text{Liquid limit} - \text{oven dried}}{\text{Liquid limit} - \text{not dried}} < 0.75$	OL	Organic clay ^{K,L,M,N} Organic silt ^{K,L,M,O}
			inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{K,L,M}
			PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{K,L,M}	
		organic	$\frac{\text{Liquid limit} - \text{oven dried}}{\text{Liquid limit} - \text{not dried}} < 0.75$	OH	Organic clay ^{K,L,M,P} Organic silt ^{K,L,M,Q}	
HIGHLY ORGANIC SOILS	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT	Peat	

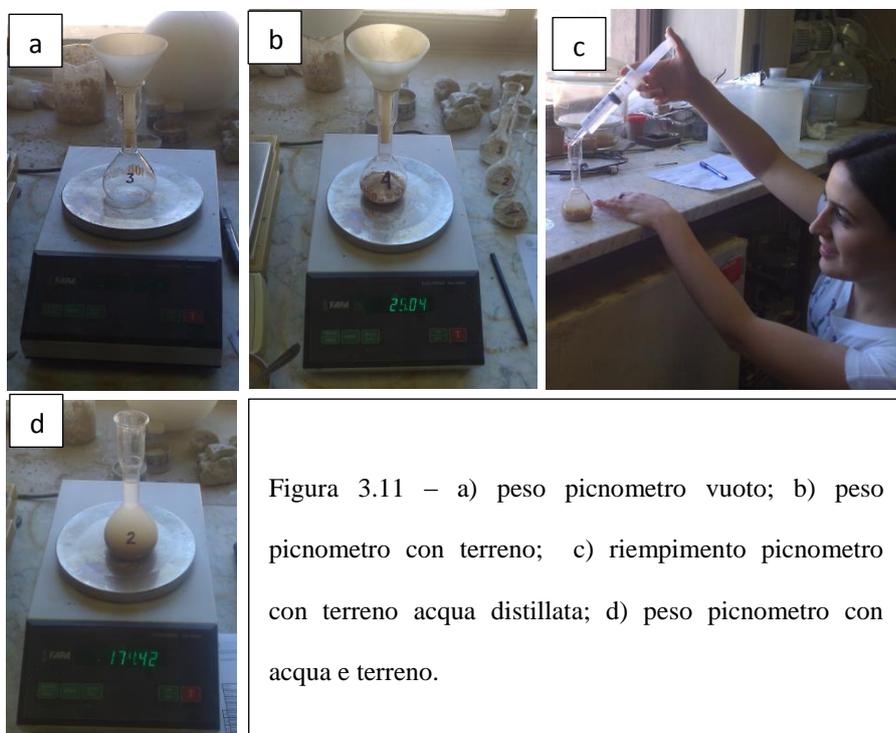
Figura 3.10 - Sistema di classificazione USCS.

3.6 Determinazione del peso unità di volume della frazione solida (γ_s)

Il peso per unità di volume della parte solida (γ_s) è una proprietà indice di un terreno, ossia un parametro intrinseco che non dipende dalle condizioni in situ, ma esclusivamente dalle specie mineralogiche delle particelle che lo compongono. Il γ_s non è altro che la massa specifica della parte solida che compone il terreno, quindi la densità, in relazione all'accelerazione di gravità. La prova è stata condotta, secondo la norma ASTM D854-06, effettuando tre determinazioni per campione.

I campioni, costituiti dal passante al setaccio n. 200 ASTM, sono essiccati in forno a 110°C per 24 h e, successivamente, inseriti all'interno di picnometri da 100 mL. Ogni picnometro, è pesato sia vuoto (P_p) (Figura 3.11 a) che riempito con acqua distillata disareata (P_{p+a}) fino alla linea di fede, con una bilancia di precisione avente una risoluzione di 0,01 g.

In seguito, i tre picnometri, svuotati, sono riempiti all'incirca con lo stesso quantitativo di terreno (almeno 25 g) in modo da pesare l'insieme (P_{p+s}). Infine, viene aggiunta acqua distillata e disareata, effettuando l'ultima pesata dei picnometri con all'interno terreno ed acqua (P_{p+a+s}) (Figura 3.11 b-c-d).



Per differenza tra P_p e P_{p+s} si è calcolato il peso della sola parte solida (P_s), da cui si è determinata la massa specifica del solido (γ_s) con la seguente relazione:

$$G \text{ (g/cm}^3\text{)} = \gamma_s P_s / [(P_s + P_{p+a}) - (P_{p+a+s})].$$

Mediando i valori delle tre determinazioni, per ciascun campione, si ottiene il peso per unità di volume della frazione solida (γ_s) in g/cm³ dal quale deriva un peso per unità di volume del campione analizzato in kN/m³. Tale determinazione risulta necessaria per la valutazione delle percentuali di limo-argilla con il sedigrafo.

3.7 Prova di compattazione proctor

La prova di compattazione proctor è stata eseguita, principalmente, per determinare il massimo peso per unità di volume del terreno, a cui preparare i provini da sottoporre alla prova di permeabilità a carico costante. Tale prova è stata condotta secondo la norma ASTM D698-07 e con il metodo B, dove il terreno viene compattato, dividendolo in tre parti circa uguali, con una energia di costipamento di 600 kN-m/m³.

Il materiale utilizzato, per ciascun campione, è quello passante al setaccio n. 3/8" ASTM, in quanto la fustella cilindrica, utilizzata in laboratorio, ha diametro pari a 4". L'energia di costipamento è sviluppata, per ognuno dei tre strati di terreno, con 25 colpi inferti da un maglio standard di peso 2,495 Kg, il quale è lasciato cadere da un'altezza di 30,5 cm (Figura 3.12 a-b).



Figura 3.12 – Prova di compattazione proctor: a) fustella cilindrica e maglio; b) primo strato di terreno compattato.

Per ogni campione si effettuano da tre a cinque determinazioni, a contenuti d'acqua via via crescenti, che permettono di estrapolare la curva sperimentale di compattazione, con la percentuale di contenuto d'acqua (w) in ascissa e il peso secco per unità di volume (γ_d) in ordinata. Il contenuto d'acqua (w), per ciascuna determinazione, è stato controllato con la procedura ASTM D2216-10.

Da tale curva è possibile individuare un massimo relativo, nell'intervallo di indagine, corrispondente al valore massimo del peso per unità di volume del secco (detto *maximum*) ottenuto ad un determinato contenuto d'acqua (detto *optimum*).

Il ramo umido della curva, situato a destra del massimo relativo, risulta circa parallelo alle curve di saturazione (Figura 3.13).

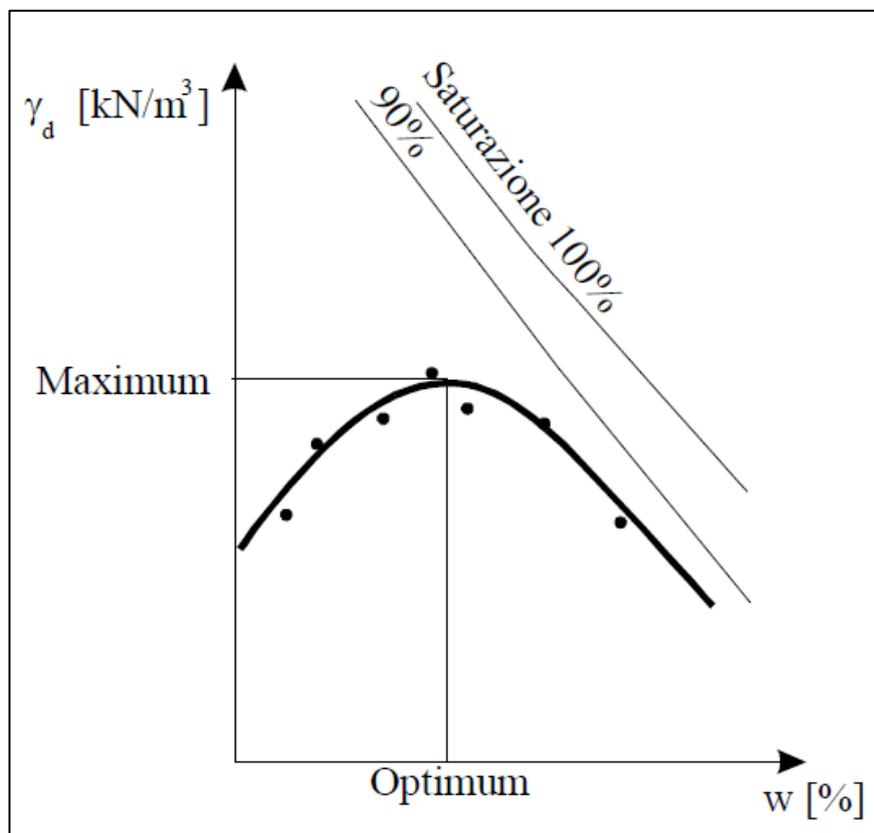


Figura 3.13 – Curva di compattazione.

Il valore di peso secco per unità di volume (γ_d) (o densità secca) è dato dalla seguente relazione:

$$\gamma_d = \gamma / (1 + w)$$

dove γ è il peso per unità di volume del terreno compattato (o densità umida) e w è il relativo contenuto d'acqua.

3.7 Prova di permeabilità

La prova di permeabilità è eseguita con lo scopo di valutare il coefficiente di permeabilità (k), mediante il permeametro a carico costante, secondo la norma ASTM D2434-68 (*reapproved 2006*) (Figura 3.14).

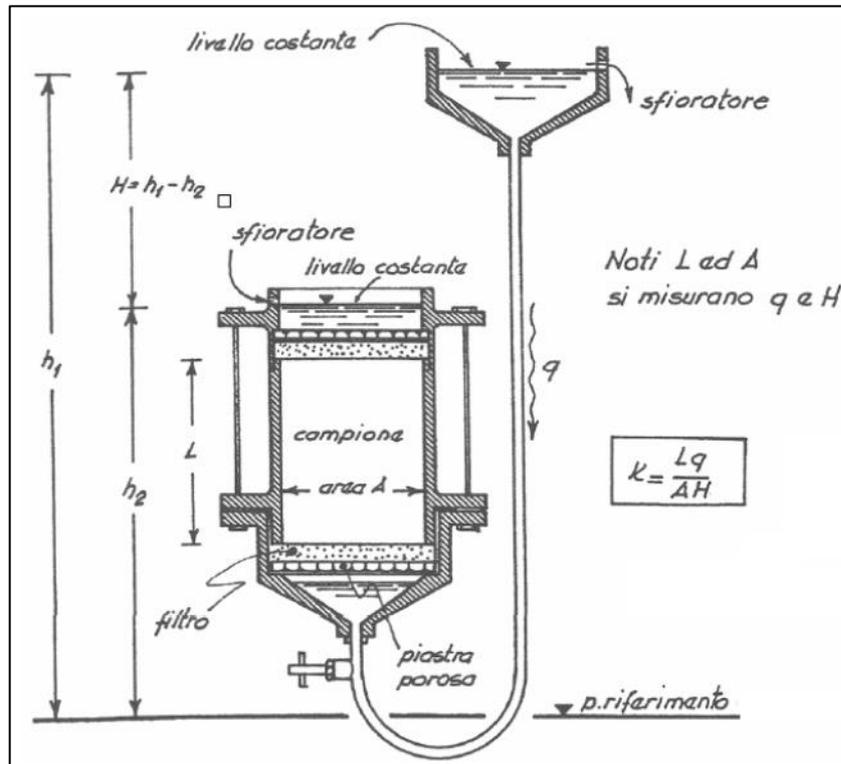


Figura 3.14 – Schema di funzionamento del permeametro a carico costante.

La preparazione del campione, all'interno di una fustella cilindrica di diametro 4", è realizzata compattando il terreno nella condizione di *maximum* ottenuta dalla prova di compattazione.

Nel permeametro, il terreno è confinato, superiormente ed inferiormente, da un sistema di carta filtro e pietra porosa ed è portato a saturazione, mediante l'utilizzo di rubinetti, applicando un carico idraulico costante (Figura 3.15 a – b).

A saturazione completa, si avvia la prova effettuando misure del volume di acqua, a tempi prestabiliti, che spinto dal carico idraulico impostato attraversa il campione (Figura 3.15 c).

Il carico idraulico (h) è dato dalla differenza delle altezze piezometriche, corrispondenti alla base e alla sommità del provino, misurate mediante tubicini piezometrici.

Il coefficiente di permeabilità, k (m/s), è ottenuto applicando la legge di Darcy:

$$k = Q L / A t h$$

dove:

Q = volume di acqua passante tra due tempi di osservazione;

L = altezza del provino (percorso idraulico);

A = sezione del campione;

t = tempo di osservazione;

h = differenza di carico tra la base e la sommità del provino.

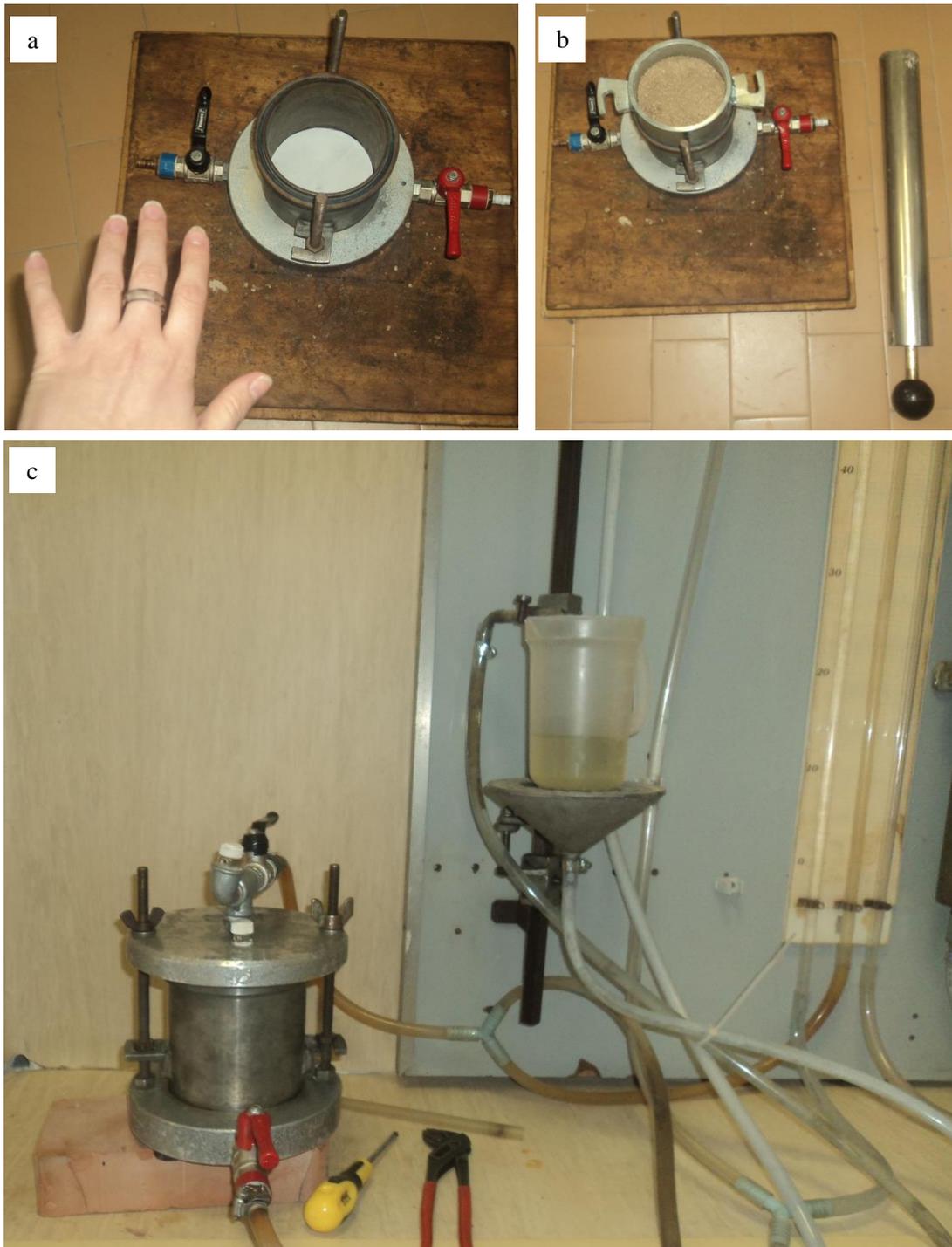


Figura 3.15 – Permeametro a carico costante: a) fustella con carta filtro alla base; b) preparazione del campione; c) rubinetti che permettono di portare a saturazione il campione (a sinistra); contenitore che misura il volume d’acqua in un determinato tempo (al centro); tubicini piezometri, collegati ai rispettivi rubinetti, che misurano l’altezza piezometrica alla base e sommità del provino (a destra).

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

In questo capitolo sono esposti i risultati delle attività svolte in campagna ed in laboratorio che hanno portato all'elaborazione del presente lavoro.

Le attività svolte in campagna sono state eseguite nei mesi di Giugno, Luglio ed Agosto 2013, periodo in cui è possibile escludere un'influenza significativa da parte delle precipitazioni, ed hanno previsto la misura delle portate dei bacini dei fiumi Aventino e alto Vella, situati rispettivamente sui versanti orientale ed occidentale della Maiella meridionale, e dei parametri chimico-fisici delle relative sezioni di misura effettuate. All'interno dei bacini idrogeologici di tali fiumi sono state campionate le acque di sorgente e caratterizzate dal punto di vista geochimico ed isotopico. L'attività di campo ha previsto, inoltre, il campionamento dei depositi detritici delle *Rock Avalanches* di Lettopalena e Campo di Giove, i quali sono stati caratterizzati presso il *Laboratorio di Geologia Applicata* dell'Università La Sapienza di Roma.

4.1 Bacino del fiume Aventino

Nel bacino del fiume Aventino sono state condotte cinque sezioni di misura nel mese di Giugno e sei nei mesi di Luglio ed Agosto 2013, le quali sono state siglate con AV e seguite da un numero progressivo lungo il corso d'acqua.

L'Aventino entra nel dominio dell'idrostruttura della Maiella in prossimità di Palena dove, a quota 880 m s.l.m., è ubicato il recapito della falda di base del M. Porrara; ed è proprio a valle di questo, rappresentato dalle sorgenti Capo di Fiume, che è stata effettuata la prima sezione di misura di portata AV1; mentre la sezione AV2 è stata condotta a valle sia delle sorgenti di Capo di Fiume e che della successiva captazione ENEL. La sezione AV3, nei pressi di Ponte Romano, è posta a monte del punto ove il fiume inizia ad infiltrarsi nel corpo di frana. Nel tratto compreso tra le sezioni A1 ed A3, il fiume scorre sul contatto tra la Formazione Bolognana e Santo Spirito in sinistra idrografica, e la Gessoso Solfifera insieme a depositi detritici in destra idrografica.

La sezione di misura AV4 è stata eseguita immediatamente a valle del corpo di frana della *Rock Avalanche* di Lettopalena, mentre le sezioni AV5 ed AV6, sono ubicate rispettivamente a valle delle sorgenti San Giustino I dx-II sx e dell'intero gruppo sorgivo di San Giustino.

Il rilevamento di campagna ha previsto il campionamento, lungo il corso del fiume Aventino, delle acque della sorgente Capo di Fiume (P1) e del gruppo di San Giustino (P2, P3, P4 e P5) site in destra e sinistra idrografica (Figura 4.1)

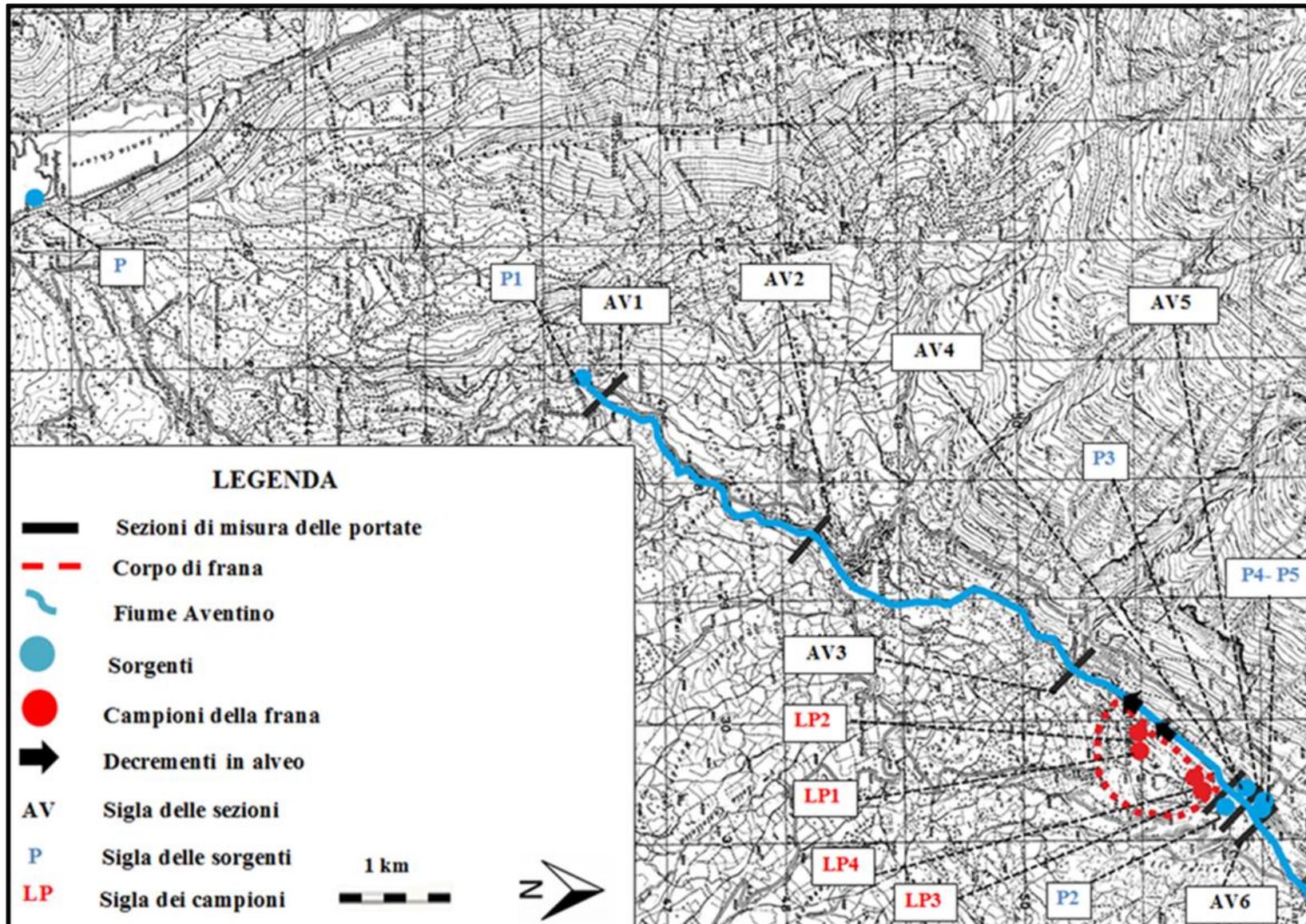


Figura 4.1 – Mappatura delle sezioni di misura delle portate, delle sorgenti e dei campioni di frana.

4.1.1 Analisi idrogeologica

I risultati delle misure di portata eseguite nel bacino del fiume Aventino sono esposti per ogni campagna di misura nelle tabelle seguenti (Tabelle 4.1 - 4.2 - 4.3) (Allegati I – II –III):

Giugno

Sigla	Località	Quota m s.l.m.	GIUGNO			
			T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s} / \text{cm}$)	Q (L/s)
AV1	Sorgenti Capo di Fiume	880	8,1	7,47	384	739
AV2	Palena	798	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
AV3	Ponte Romano	600	14,4	8,14	445	111
AV4	A monte del gruppo San Giustino	495	n.m.	n.m.	n.m.	< 1
AV5	A monte di San Giustino III sx	477	n.m.	n.m.	n.m.	503
AV6	A valle del gruppo San Giustino	470	9	7,59	337	1095

Tabella 4.1 – Valori di portata e dei parametri chimico-fisici delle sezioni di misura eseguite nel mese di Giugno 2013.

La sezione AV1 permette la valutazione complessiva del contributo delle sorgenti di Capo di Fiume, nel periodo non interessato dalle piogge, dove la portata erogata è stata di circa 739 L/s. A valle della sezione AV1, la misura è stata realizzata nei pressi di Ponte Romano (AV3), la cui ubicazione è rappresentativa delle condizioni idrogeologiche del corso d'acqua prima che questo scorra all'interno della *Rock Avalanche*, la portata erogata è stata valutata di circa 110 L/s. Nel tratto compreso tra queste due sezioni, si è verificato un decremento di circa 630 L/s, imputabile sia a decrementi in alveo, ma soprattutto alla derivazione ENEL presente subito a valle di Capo di Fiume. In questa campagna, non è stato possibile valutare le aliquote dovute sia a condizioni naturali (decrementi in alveo) che antropiche (prelievo idroelettrico); da quella successiva si è scelto di effettuare una misura anche a valle della derivazione idroelettrica (AV2) per chiarire tale situazione.

La sezione AV4 è ubicata circa in corrispondenza della fine del corpo di frana e permette di determinare, rispetto alla sezione AV3, i decrementi in alveo causati, prevalentemente, da fenomeni di infiltrazione all'interno dei depositi detritici e, mediante il confronto con le misure delle sezioni AV5 e AV6, il contributo del gruppo sorgivo di San Giustino, presente subito a valle della *Rock Avalanche*.

Infatti, nel mese di Giugno la portata stimata inferiore al L/s, corrispondente alla sezione AV4, ha permesso di appurare che le acque del fiume Aventino si infiltrano totalmente all'interno della frana, con un decremento di circa 110 L/s, per poi riemergere in prossimità

delle polle di San Giustino, con una portata di circa 503 L/s per le prime emergenze e di circa 1095 L/s per quelle poste più a valle.

Tra le quattro sorgenti che costituiscono il gruppo sorgivo di San Giustino, il contributo maggiore è quello di San Giustino II sx (P3) e San Giustino III sx (P4), indicata da *Bianchi Fasani (2004)* come San Giustino Lama: questa sorgente emerge da una fessura della formazione Bolognano posta in riva sinistra dell'Aventino, circa 5 metri al di sopra del livello del corso d'acqua.

Dai parametri chimico-fisici si nota che la temperatura aumenta, a causa del percorso idrico sotterraneo, dalla sezione AV1 ad AV3 (da 8,1°C ad 14,4°C), ma si abbassa nella sezione AV6 grazie al contributo delle sorgenti di San Giustino. Il pH può essere definito in tutte le sezioni basico, ma presenta un carattere più alcalino nella sezione AV3, dove la portata è più bassa e maggiore è la concentrazione degli ioni. La conducibilità elettrica, invece, aumenta dalla sezione AV1 ad AV3 che presenta una portata minore, e diminuisce nelle sezioni più a valle, mediante l'apporto del gruppo sorgivo San Giustino.

Luglio

Sigla	Località	Quota m s.l.m.	LUGLIO			
			T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Q (L/s)
AV1	Sorgenti Capo di Fiume	880	8,3	7,49	360	684
AV2	Palena	798	13	7,86	390	66
AV3	Ponte Romano	600	9,8	8,12	430	18
AV4	A monte del gruppo San Giustino	495	n.m.	n.m.	n.m.	< 1
AV5	A monte di San Giustino III sx	477	9,2	7,82	310	755
AV6	A valle del gruppo San Giustino	470	9,1	7,65	320	1024

Tabella 4.2 – Valori di portata e dei parametri chimico-fisici delle sezioni di misura eseguite nel mese di Luglio 2013.

Nella campagna di Luglio, le sezioni AV1 ed AV3 mostrano un decremento di portata rispetto a quelle di Giugno, rispettivamente di circa 60 L/s e 95 L/s, attribuibile al periodo di magra in cui sono state effettuate le misure.

A valle delle sorgenti di Capo di Fiume (AV1), come accennato nel mese di Giugno, è presente una captazione ENEL, ed è per tale motivo che è stata aggiunta, a partire da questa campagna, la sezione di misura AV2, con l'intento di valutare una stima del quantitativo d'acqua captata a scopo idroelettrico. A tal proposito, la quantità d'acqua prelevata,

determinata facendo la differenza di portata tra le sezioni AV1 ed AV2, è circa pari a 620 L/s, mentre quella garantita, a valle della captazione, è di circa 65 L/s (AV2).

In prossimità della sezione AV3 (Ponte Romano), le acque del fiume Aventino iniziano ad infiltrarsi nel corpo di frana arrivando ad una portata di circa 18 L/s, inferiore di circa 93 L/s rispetto a quella di Giugno, la quale diventa inferiore ad 1 L/s in corrispondenza della sezione AV4, laddove termina il deposito della *Rock Avalanche*. È possibile notare, anche in questo mese, una totale infiltrazione delle acque del fiume Aventino nel corpo di frana.

Successivamente, il fiume Aventino prende vigore mediante il contributo delle sorgenti San Giustino, site sia in sinistra che destra idrografica, dove a valle della San Giustino I dx – II sx la portata è 755 L/s (AV5), mentre a valle di quella più cospicua (San Giustino III sx o San Giustino Lama), la portata aumenta fino a diventare di 1025 L/s (AV6).

In generale, tra la campagna di Giugno ed Luglio le portate sono diminuite, fatta eccezione per la sezione AV5 che mostra un anomalo aumento di circa 250 L/s, dovuto probabilmente ad un maggior contributo delle sorgenti poste a monte della stessa sezione e quindi ad una variazione locale della superficie piezometrica.

Nelle sezioni AV1, AV2 ed AV3 la temperatura aumenta, anche se quest'ultima è più bassa rispetto a quella di giugno, probabilmente perché è stata misurata di sera, mentre la temperatura delle sezioni AV5 ed AV6, a causa delle emergenze San Giustino, è inferiore.

La conducibilità elettrica, lungo le prime tre sezioni, incrementa con l'aumentare del percorso idrico raggiungendo un valore di 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in AV3, mentre in AV5 ed AV6 i valori sono più bassi, intorno a 310-320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, in quanto influenzati dalle sorgenti San Giustino. Il pH è basico per tutte le sezioni, ma la sezione AV3, analogamente a Giugno, è più alcalina, in quanto è quella che ha portata più bassa.

Agosto

Sigla	Località	Quota m s.l.m.	AGOSTO			
			T (°C)	pH	CE (μ S/cm)	Q (L/s)
AV1	Sorgenti Capo di Fiume	870	7,9	7,9	368	460
AV2	Palena	798	13,1	8,28	385	61
AV3	Ponte Romano	600	17,3	8,06	443	33
AV4	A monte del gruppo San Giustino	495	n.m.	n.m.	n.m.	< 1
AV5	A monte di San Giustino III sx	477	9,2	7,83	320	507
AV6	A valle del gruppo San Giustino	470	9,1	7,82	321	1116

Tabella 4.3 – Valori di portata e dei parametri chimico-fisici delle sezioni di misura eseguite nel mese di Agosto 2013.

La sezione AV1, nella campagna di Agosto, ha una portata (circa 460 L/s) in decremento, nonostante ciò parte di quest'acqua viene captata dall'ENEL. A valle della captazione, nella sezione AV2, è stata calcolata una portata di circa 60 L/s. La quantità d'acqua prelevata nel mese di Agosto dall'ENEL, per differenza tra AV1 ed AV2, è di circa 400 L/s, leggermente inferiore a quella di Luglio.

È possibile notare come nella sezione AV2, sia nella campagna di Agosto che in quella di Luglio, è stato valutato circa lo stesso valore di portata (~ 60 L/s), e da ciò si deduce che la captazione comunque garantisce un quantitativo minimo di acqua in alveo (deflusso minimo vitale).

In seguito, il fiume Aventino, come nella altre campagne, riacquista vigore a valle della sezione AV4 (portata stimata inferiore ad 1 L/s), mediante il contributo delle sorgenti di San Giustino, dove l'AV5 ha una portata di circa 508 L/s e l'AV6 di circa 1120 L/s.

Nella campagna di Agosto, come in tutte le campagne condotte, è possibile notare come la temperatura aumenta dalla sezione AV1 ad AV3 probabilmente per la riduzione di portata, mentre nelle sezioni AV5 ed AV6 la temperatura diminuisce per mezzo delle sorgenti di San Giustino. Il pH misurato in tutte le sezioni è basico, ma la sezione AV3 è quella più alcalina, a causa di una concentrazioni di ioni maggiori in una portata minore.

Nei tre mesi di campagna i parametri chimico-fisici hanno all'incirca lo stesso andamento dove la T (°C) e la conducibilità elettrica aumentano lungo il percorso idrico, e quest'ultima insieme al pH, sempre alcalino, mostra una relazione inversa a quella della portata. In particolare, le sorgenti del gruppo di San Giustino sono le uniche che mostrano dei parametri chimico-fisici pressoché costanti. I valori di portata, ottenuti dal presente lavoro, risultano essere maggiori e minori rispetto a quelli riportati nel contributo di *Nanni & Rusi (2003)*, i

quali sono $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sorgente Capo di Fiume e $0,653 \text{ m}^3/\text{s}$ per le sorgenti di San Giustino.

Nel grafico seguente sono confrontate le portate, per ciascuna sezione, delle tre campagne di misura (Figura 4.2).

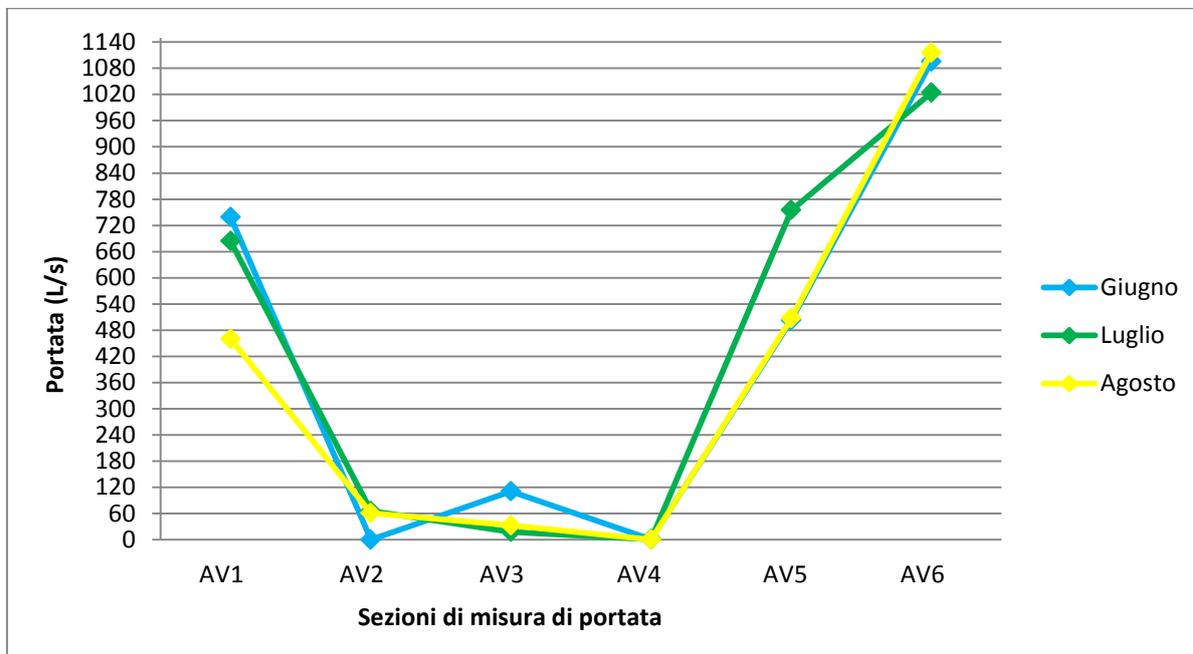


Figura 4.2 – Confronto delle portate delle sezioni di misura eseguite nel bacino del fiume Aventino nelle tre campagne.

Dal grafico è possibile notare come, nelle tre campagne, la portata del fiume Aventino diminuisce dalla sezione AV1 alla sezione AV4 sia ad opera di attività antropiche che di decrementi in alveo legati, essenzialmente, all'infiltrazione delle acque nel corpo detritico di frana. A valle della sezione AV4, le portate iniziano a diventare ingenti con il contributo delle sorgenti di San Giustino (Figura 4.3). Dal confronto delle curve, si evince che le portate sono maggiori nel mese di Giugno e inferiori nei mesi di Luglio ed Agosto, come prevedibile nel periodo di magra, ad eccezione della sezione AV5. Infatti, quest'ultima mostra un valore di portata maggiore nel mese di Luglio, dovuto ad un maggiore contributo delle sorgenti poste a monte, ovvero di San Giustino I e II.

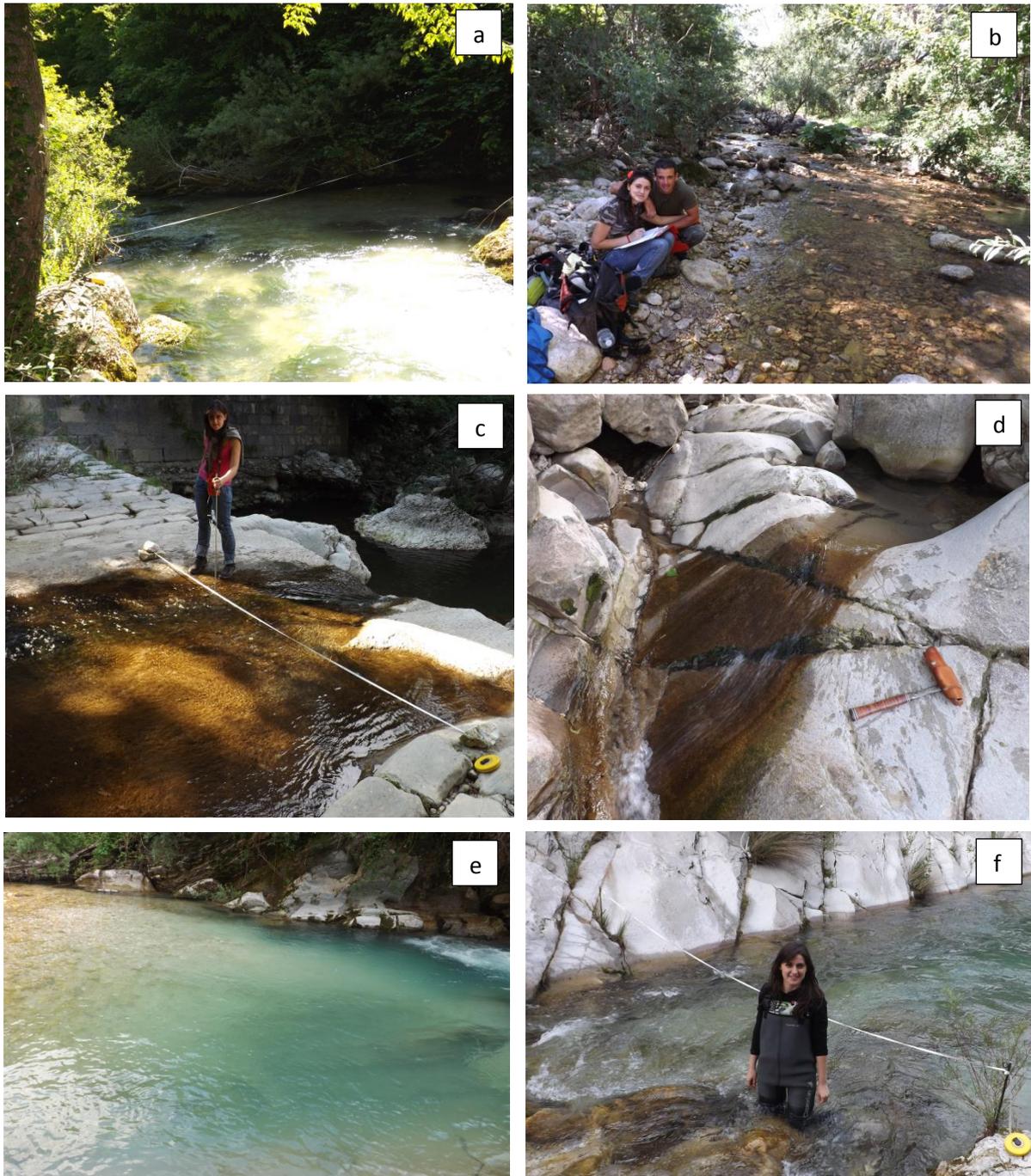


Figura 4.3 – Sezioni di misura delle portate: a) AV1; b) AV2; c) AV3; d) AV4; e) AV5; e) AV6.

4.1.2 Analisi geochimica ed isotopica

Nella campagna di rilevamento di Luglio sono state campionate le acque delle sorgenti, ubicate nel bacino del fiume Aventino e monitorati i relativi parametri chimico-fisici, al fine di determinare la caratterizzazione geochimica ed isotopica.

Le sorgenti analizzate sono quelle di Capo di Fiume e quelle appartenenti al gruppo sorgivo di San Giustino, mentre per l'Inghiottoio carsico di Quarto Santa Chiara sono stati misurati solo i parametri chimico-fisici (Figura 4.4).



Figura 4.4 – a) Inghiottoio carsico di Quarto Santa Chiara; b) Sorgenti di Capo di Fiume; Sorgente San Giustino I dx; c) Sorgente San Giustino II sx; d) Sorgente San Giustino IV sx.

I risultati della valutazione dei parametri chimico-fisici sono riportati nella tabella seguente (Tabella 4.4):

Sigla	Sorgenti	Quota m s.l.m.	GIUGNO			LUGLIO			AGOSTO		
			T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)
P	Inghiottitoio	1248	14,2	8,03	511	18,9	7,74	590	14,7	7,43	549
P1	Capo di Fiume	880	8,1	7,47	384	8,2	7,67	370	7,7	7,6	368
P2	S. Giustino I (dx)	485	n.m.	n.m.	n.m.	9	7,71	320	9	7,62	322
P3	S. Giustino II (sx)	480	n.m.	n.m.	n.m.	9	7,7	320	9	7,69	319
P4	S. Giustino III (sx)	475	n.m.	n.m.	n.m.	9	7,76	320	9,1	7,73	319
P5	S. Giustino IV (sx)	472	n.m.	n.m.	n.m.	8,9	7,71	220	8,9	7,65	321

Tabella 4.4 – Parametri chimico-fisici delle sorgenti ubicate nel bacino del fiume Aentino.

I parametri chimico-fisici dell'inghiottitoio carsico Quarto Santa Chiara, nei tre mesi di campagna, risultano caratterizzati da una temperatura e da una conducibilità elettrica elevata, dovute alla pochissima quantità d'acqua presente, e da un pH basico.

Le sorgenti Capo di Fiume, caratterizzate anche loro da un pH basico, hanno una temperatura e conducibilità elettrica più bassa rispetto all'inghiottitoio carsico, ma più alta rispetto a quelle di San Giustino. Il valore di conducibilità elettrica della sorgente Capo di Fiume segnala una miscelazione di acque provenienti sia da Quarto Santa Chiara che dall'idrostruttura del Porrara.

Le sorgenti appartenenti al gruppo sorgivo di San Giustino non mostrano un'elevata variazione di temperatura, conducibilità e pH, dove quest'ultimo presenta prevalentemente un carattere basico. La massima escursione termica rilevata in campagna, relativa alla sorgente San Giustino III sx, è di 0,1°C.

La lieve variazione dei parametri chimico-fisici è indice di una falda di base profonda e di un acquifero esteso, con tempi di trasferimento delle acque tali da uniformare i parametri chimico-fisici delle acque, prima del loro recapito alla sorgente.

Nanni & Rusi (2003), sostengono che le acque delle sorgenti San Giustino sono caratterizzate da valori di escursione termica e conducibilità elettrica più elevati rispetto a quelle di sorgenti limitrofe, come ad esempio Acquevive. Gli stessi Autori, in funzione dei parametri idrodinamici, affermano che tali sorgenti appartengono ad un circuito caratterizzato da valori del tempo e del tasso di rinnovamento di circa due anni e 35% e da coefficienti di esaurimento variabili da 8 a $9 \cdot 10^{-3} \text{ g}^{-1}$. Tale circuito, pur essendo dello stesso tipo di quelli aventi tasso di rinnovamento maggiore di 4 anni, risulta più veloce a causa della minore estensione del

bacino di alimentazione e, probabilmente anche a circolazione in condotti carsici. Sulla base di ciò *Nanni & Rusi (2003)* considerano le sorgenti di San Giustino caratterizzate da una circolazione molto veloce, che si attua attraverso fessure e condotti carsici, i quali veicolano rapidamente le acque di scioglimento delle nevi e delle piogge alla sorgente. I parametri chimico-fisici di queste sorgenti influiscono su quelli valutati nelle sezioni di misura, poste a valle dello gruppo sorgivo.

Nella tabella seguente sono riportate le concentrazioni degli ioni maggiori, espresse in meq/l, e determinate mediante le analisi chimiche in laboratorio (Tabella 4.5):

Sigla (Sorgenti)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^{2-}	F^-	NO_3^{2-}	PO_4^{2-}
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
<i>P1 (Capo di Fiume)</i>	2,08	0,58	0,24	0,02	0,13	0,46	2,75	0,01	0,02	0,00
<i>P2 (S. Giustino I dx)</i>	1,76	0,62	0,14	0,00	0,08	0,86	2,05	0,01	0,02	0,00
<i>P3 (S. Giustino II sx)</i>	1,87	0,66	0,13	0,01	0,08	0,98	2,10	0,00	0,01	0,00
<i>P4 (S. Giustino III sx)</i>	1,82	0,63	0,14	0,02	0,08	1,00	2,00	0,01	0,01	0,00
<i>P5 (S. Giustino IV sx)</i>	1,83	0,60	0,14	0,02	0,08	1,00	2,05	0,01	0,02	0,00

Tabella 4.5- Concentrazioni degli ioni maggiori, espresse in meq/l, delle sorgenti ubicate nel bacino del fiume Aventino.

I risultati delle analisi chimiche sono stati plottati, inizialmente, nel diagramma di Chebotarev, il quale permette di classificare la tipologia di acqua, e successivamente in quello di Schoeller che, invece, verifica se le acque campionate hanno una eguale e/o differente matrice chimica.

Il diagramma di Chebotarev è di seguito rappresentato (Figura 4.5):

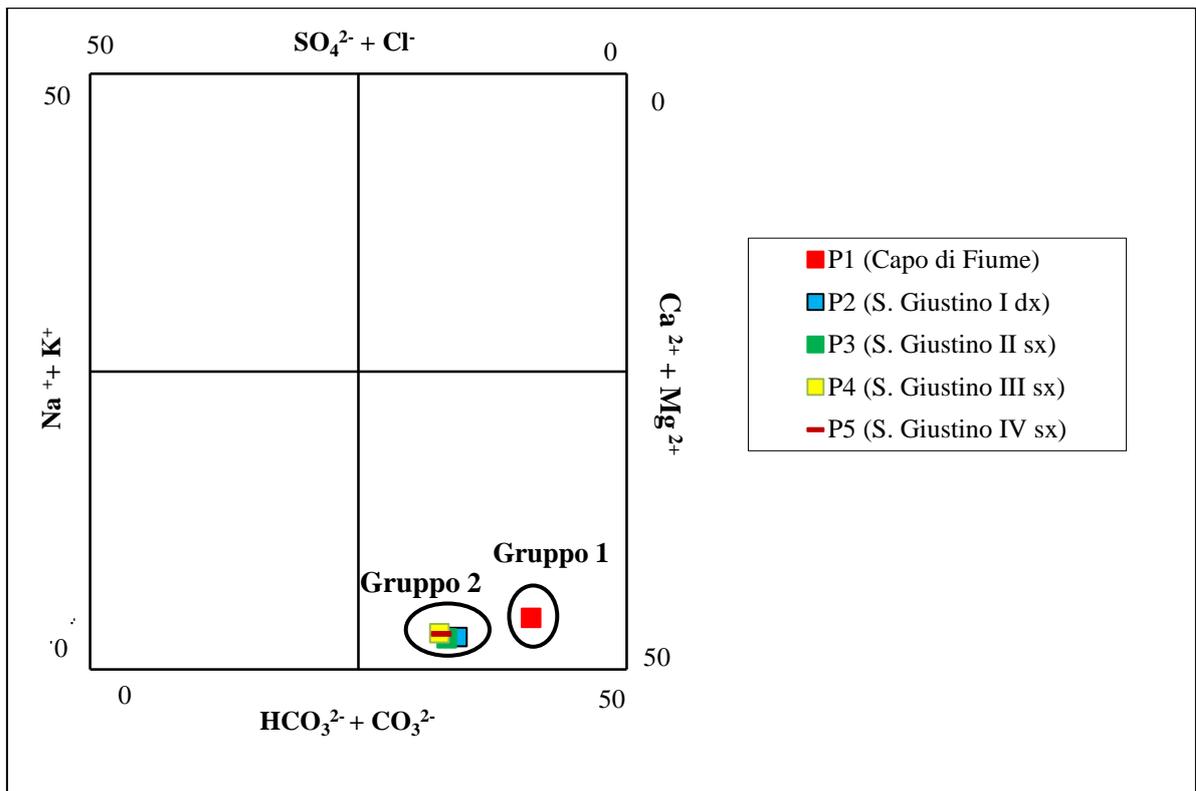


Figura 4.5 – Classificazione delle sorgenti di Capo di Fiume (P1) e del gruppo di San Giustino (P2-P3-P4-P5).

Da tale grafico è possibile suddividere le sorgenti analizzate in due gruppi differenti:

- il primo gruppo è rappresentato dalle sorgenti di Capo di Fiume (P1), le quali sono state classificate come acque bicarbonato-calciche, indicative di una circolazione prevalentemente in litologie calcaree;
- il secondo gruppo è costituito dalle quattro sorgenti di San Giustino, tutte molto simili tra loro, le cui acque sono state classificate come bicarbonato calciche, ma tendenti a solfato-calciche.

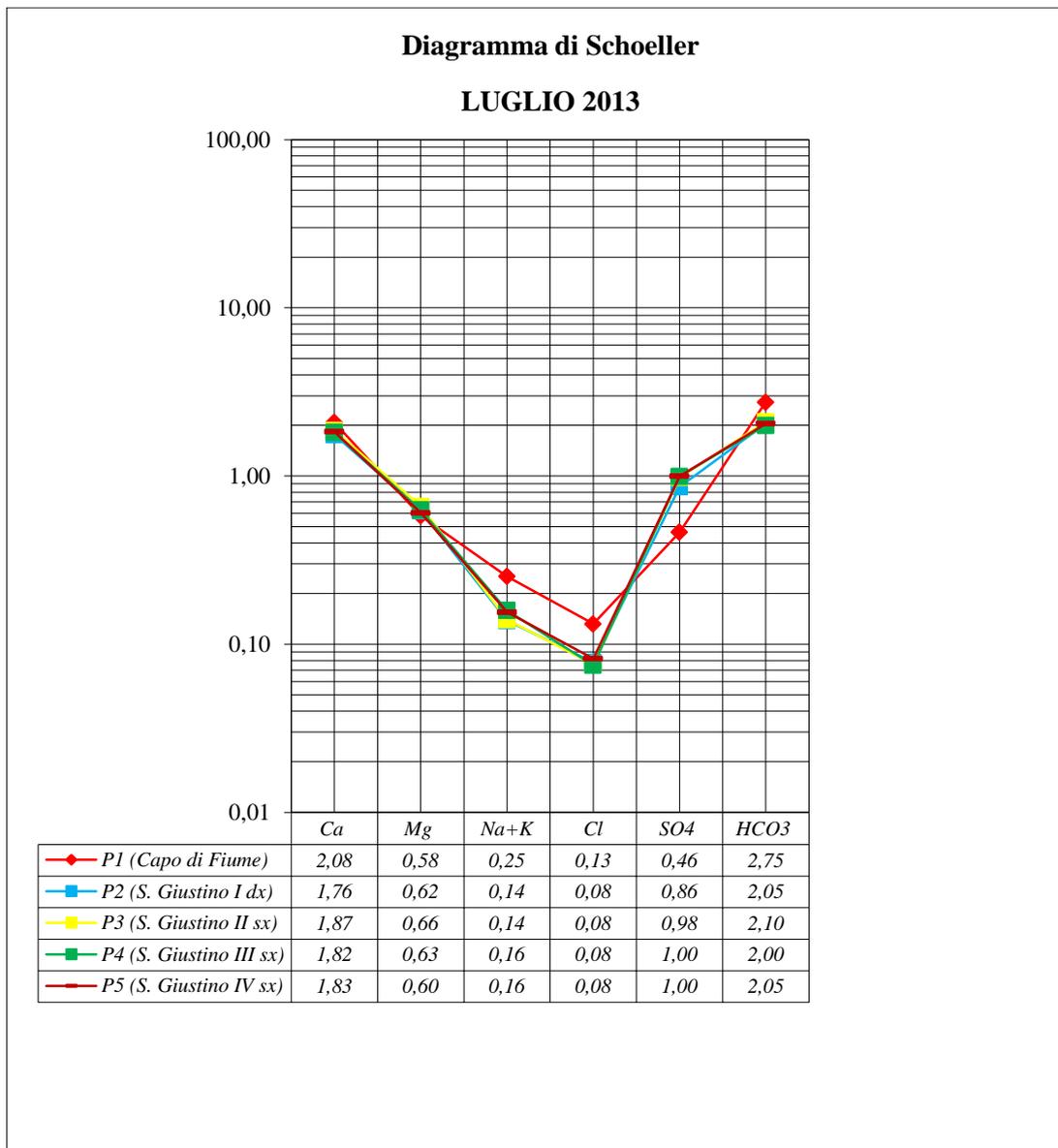


Figura 4.6 – Diagramma di comparazione degli ioni maggiori delle sorgenti siglate P1,P2,P3,P4 e P5.

Dal diagramma di Schoeller, si evidenzia come le spezzate che uniscono gli ioni maggiori non sono parallele per i due gruppi distinti nel diagramma di Chebotarev.

Le sorgenti di Capo di Fiume sono caratterizzate da un contenuto maggiore di calcio, bicarbonati, sodio e potassio; la concentrazione di quest'ultimi due ioni è dovuta principalmente alla lisciviazione del suolo di Quarto Santa Chiara ad opera delle acque superficiali.

Mentre le sorgenti di San Giustino mostrano delle spezzate tra loro parallele, a dimostrazione del fatto che hanno una stessa matrice chimica, ed una mineralizzazione maggiore dovuta all'elevato contenuto dei solfati. In accordo con *Nanni & Rusi (2003)*, le sorgenti di San Giustino devono il contenuto maggiore di solfati a miscelamenti, in prossimità

dell'emergenza, con le acque circolanti nella formazione Gessoso-Solfifera che, localmente, tampona l'idrostruttura come limite stratigrafico.

Le analisi isotopiche delle acque campionate hanno permesso di effettuare considerazioni sulle aree di alimentazione delle sorgenti situate nel bacino del fiume Aventino e, in particolare, di definire le quote medie di ricarica.

I risultati delle analisi isotopiche che hanno riguardato la campagna di misura di Luglio 2013 sono riportati nella tabella seguente (Tabella 4.6):

<i>Sigla (Sorgente)</i>	<i>Quota m s.l.m.</i>	δD ‰ (vs. V-SMOW)	$\delta^{18}O$ ‰ (vs. V-SMOW)
<i>P1 (Capo di Fiume)</i>	880	-69,8	-10,5
<i>P2 (San Giustino I dx)</i>	485	-75,7	-11,2
<i>P3 (San Giustino II sx)</i>	480	-75,6	-11,23
<i>P4 (San Giustino III sx)</i>	475	-76	-11,22
<i>P5 (San Giustino IV sx)</i>	473	-76,3	-11,23

Tabella 4.6 – Valori di δD e $\delta^{18}O$ delle sorgenti ubicate nel bacino del fiume Aventino.

I valori di δD e $\delta^{18}O$ delle sorgenti sopra citate sono stati relazionati nel grafico seguente (Figura 4.7):

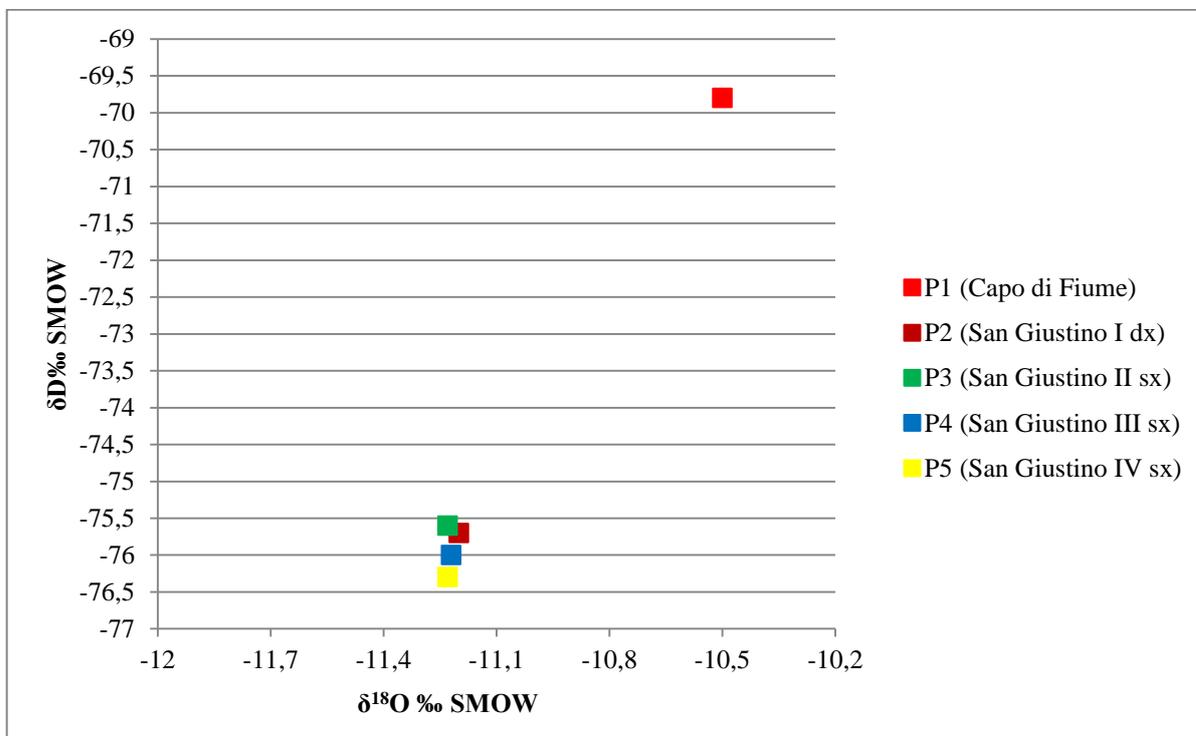


Figura 4.7 – Correlazione δD e $\delta^{18}O$ delle sorgenti del bacino del fiume Aventino.

È evidente che i campioni analizzati hanno segnali isotopici diversi, infatti le sorgenti di Capo di Fiume (P1) hanno valori di δ meno negativi rispetto a quelle di San Giustino, le quali mostrano valori di $\delta^{18}\text{O}$ più negativi; questo è appunto dovuto ad una alimentazione da quote maggiori per le sorgenti P2, P3, P4 ed P5 (frazionamento isotopico maggiore con l'altitudine) ed quote minori di alimentazione per la sorgente P1.

Successivamente, i dati sperimentali isotopici sono stati messi a confronto con le principali rette meteoriche, valide a scala mondiale, per l'Italia centrale e a livello regionale (Figura 4.8).

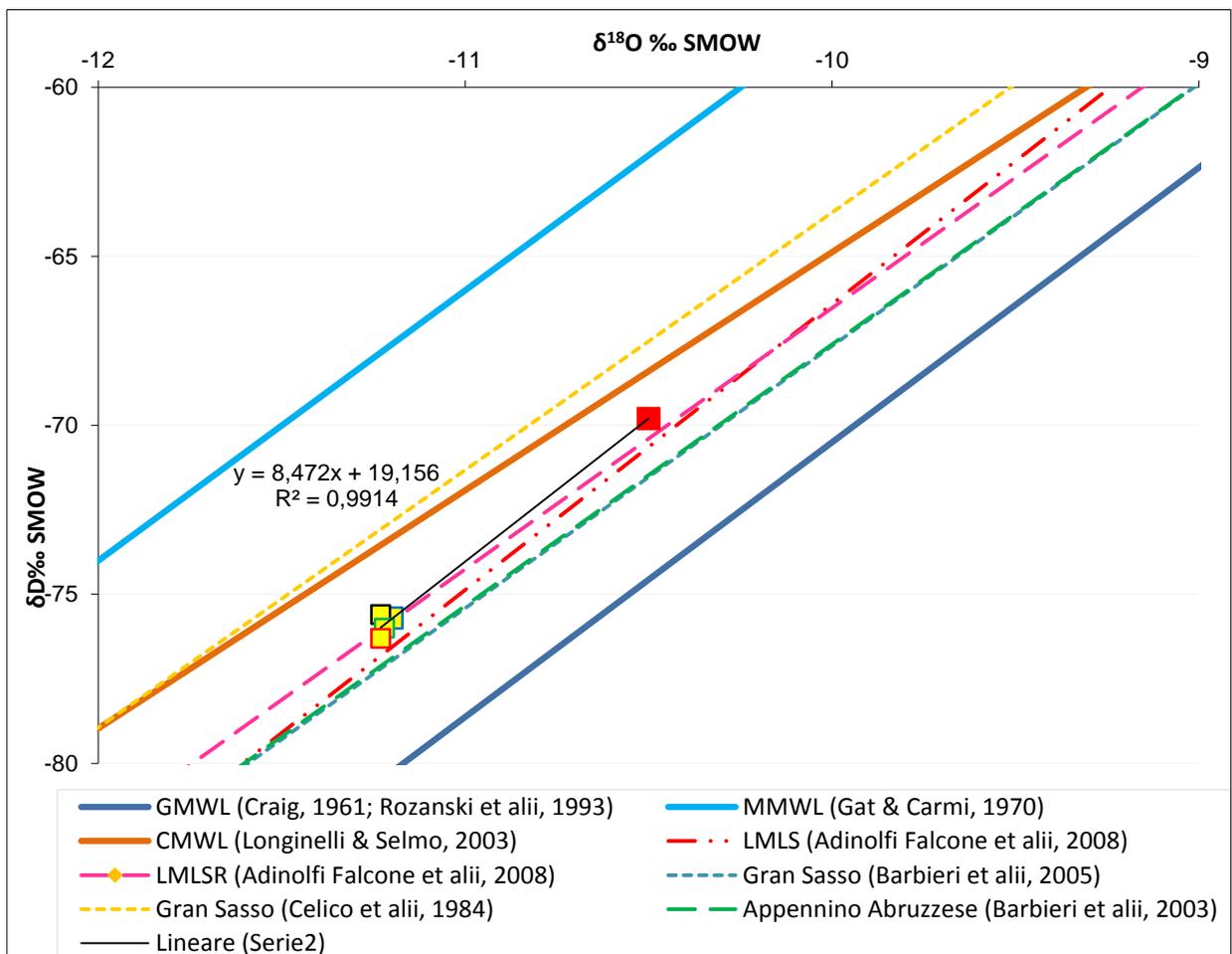


Figura 4.8 – Confronto del segnale isotopico delle sorgenti campionate nel bacino del fiume Aventino con le principali rette meteoriche.

La retta di regressione lineare che correla le sorgenti del bacino del Fiume Aventino, si avvicina prevalentemente alla retta LMLSR e, subordinatamente a quella LMLS (*Adinolfi et alii, 2008*). Entrambe le rette sono state proposte per l'acquifero carbonatico del Gran Sasso, dove per la prima sono state utilizzate le acque delle nevi miste a pioggia, mentre per la seconda soltanto le acque di scioglimento delle nevi.

Per la definizione delle quote medie di alimentazione del bacino del fiume Aventino sono state prese in considerazione le seguenti equazioni:

- $\delta^{18}O = -0,0013h - 8,4$ (*Barbieri et al., 2003*) (gradiente: $-0,13\%/100\text{ m}$);
- $\delta^{18}O = -0,0024h - 6,35$ (*Barbieri et al., 2005*) (gradiente: $-0,24\%/100\text{ m}$);
- $\delta^{18}O = -0,0016h - 7,9$ (*Desiderio et al., 2005*) (gradiente: $-0,16\%/100\text{ m}$);
- $\delta^{18}O = -0,0017h - 7,71$ (*Nanni & Rusi, 2003*) (gradiente: $-0,17\%/100\text{ m}$).

Le quote medie di ricarica, calcolate applicando le equazioni sopra citate, che alimentano i punti campionati sono riportate nella tabella seguente:

Sigla	Quota m s.l.m.	App. Abruzzese	Gran Sasso	Majella	Majella
		<i>Barbieri et al., 2003</i>	<i>Barbieri et al., 2005</i>	<i>Desiderio et al., 2005</i>	<i>Nanni & Rusi, 2003</i>
		$\delta^{18}O = -0,0013h - 8,4$	$\delta^{18}O = -0,0024h - 6,35$	$\delta^{18}O = -0,0016h - 7,9$	$\delta^{18}O = -0,0017h - 7,71$
P1	880	1615	1729	1625	1641
P2	485	2154	2021	2063	2053
P3	480	2177	2033	2081	2071
P4	475	2169	2029	2075	2065
P5	473	2177	2033	2081	2071

Tabella 4.7 - Quote medie di ricarica, secondo diversi gradienti proposti in letteratura, delle sorgenti di Capo di Fiume e di San Giustino.

La quota media di ricarica calcolata con l'equazione proposta per l'Appennino Abruzzese da *Barbieri et alii (2003)* è di circa 1615 m s.l.m. per Capo di Fiume ed un valore medio di 2169 m s.l.m. per le sorgenti appartenenti al gruppo San Giustino. Mentre le quote di ricarica calcolate con l'equazione di *Barbieri et alii (2005)*, relativa al Gran Sasso, sono superiori, rispetto all'equazione precedente, per P1 (1729 m s.l.m.) e inferiori per P2, P3, P4 e P5 (valore medio di circa 2029 m s.l.m.).

Le altre due equazioni utilizzate di *Nanni & Rusi (2003)* e *Desiderio et alii (2005)* sono state elaborate esclusivamente per l'idrostruttura della Maiella, e dal confronto dei loro risultati si

nota come tra queste, rispetto alle altre citate precedentemente, la differenza di quota di ricarica è di circa 10 m e 15 m rispettivamente per la sorgente di Capo di Fiume e le sorgenti di San Giustino.

Nelle elaborazioni grafiche successive si è scelto di prendere in considerazione quella più recente, proposta da *Desiderio et alii (2005)*, relativa alla struttura carbonatica della Maiella, la cui quota di ricarica media ottenuta viene di seguito relazionata alla quota di campionamento delle sorgenti (Figura 4.9).

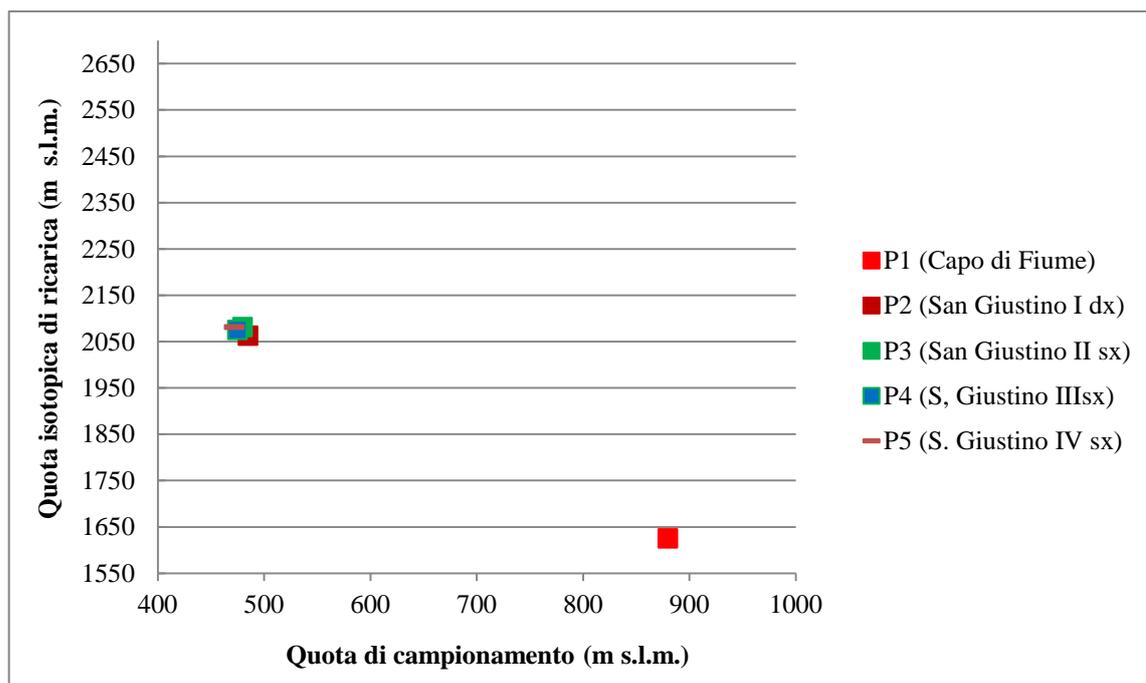


Figura 4.9 – Correlazione quota di campionamento e di ricarica isotopica delle sorgenti del bacino del fiume Aventino.

Da tale correlazione, quota campionamento e quota isotopica di ricarica, è possibile verificare che le acque della sorgente Capo di Fiume hanno origine da un'area di alimentazione diversa da quella del gruppo sorgivo di San Giustino, in quanto le quote isotopiche di ricarica sono rispettivamente 1625 m s.l.m. e 2075 m s.l.m. (valore medio per il gruppo sorgivo).

Per determinare da quale idrostruttura sono alimentate le sorgenti di Capo di Fiume e di San Giustino è necessario confrontare la quota di ricarica media, ottenuta dalle analisi isotopiche, con quelle delle possibili aree di alimentazione.

Per quanto riguarda le aree di ricarica della sorgente Capo di Fiume, discusse anche in letteratura, queste sono identificabili nell'idrostruttura del M. Porrara e nel sistema carsico di Quarto Santa Chiara, aventi quote medie, rispettivamente, di 1500 m s.l.m. e 1250 m s.l.m..

La quota media di ricarica isotopica, pari a 1625 m s.l.m., risulta maggiore di quelle delle possibili aree di alimentazione; questo può essere giustificato con eventuali contributi, nel periodo di magra, delle precipitazioni e/o scioglimento delle nevi a quote maggiori di quella media del M. Porrara (~ 1500 m s.l.m.). Mentre, il contributo delle acque dell'inghiottitoio carsico di Quarto Santa Chiara è considerato limitato, a causa della ridotta quantità d'acqua presente nel periodo di rilevamento. Inoltre, bisogna tener conto che l'equazione di *Desiderio et alii* (2005) è relativa al mese di Giugno, periodo differente da quello di campionamento, ossia fine Luglio.

Celico (2001), mediante prove con traccianti, ha riconosciuto l'esistenza di un collegamento tra l'inghiottitoio di Quarto Santa Chiara e la sorgente Capo di Fiume, poiché i primi arrivi del tracciante sono avvenuti dopo 4,5 ore e il picco di concentrazione dopo 50 ore.

Dalle analisi isotopiche delle sorgenti di San Giustino si è ricavata una quota di ricarica media di 2075 m s.l.m., che risulta ragionevolmente maggiore di quella altimetrica media di tali emergenze, pari a 480 m s.l.m.; dal confronto di tali quote sembra appunto che la provenienza dell'acqua sia imputabile a quelle infiltrate e circolanti nell'idrostruttura della Maiella.

Dall'analisi idrogeologica del bacino del fiume Aventino è possibile notare che le portate misurate sono funzione del periodo di rilevamento, delle attività antropiche, del contributo delle sorgenti e del ruolo svolto dal corpo di frana di Lettopalena.

In tutte le campagne di misura eseguite, si è riscontrato un decremento di portata dalla sezione AV1, che riceve il contributo delle sorgenti di Capo di Fiume, alla sezione AV3. Invece, dalla sezione AV3 ad AV4 si è registrata una totale infiltrazione delle acque per poi riemergere a valle di AV4, dove si aggiungono i contributi del gruppo sorgivo di San Giustino.

Il fiume Aventino in corrispondenza del tratto di fondovalle interessato dal detrito di frana, subisce importanti perdite in alveo, in quanto l'incisione lineare non ha ancora messo a giorno i termini terrigeni impermeabili. Invece, a monte del deposito detritico, in località Ponte Romano, il substrato di scorrimento del corso fluviale è rappresentato dai depositi argillosi (a monte della sezione AV3). Ciò trova riscontro dalle analisi chimiche delle acque che rivelano un maggiore contenuto di sodio, potassio e cloruri, relazionabile ai processi di interazione delle acque del fiume con i termini argillosi (*Bianchi Fasani, 2004*).

Il gruppo sorgivo di San Giustino è formato da quattro sorgenti, una posta in destra idrografica e tre in sinistra idrografica. La prima emerge al contatto tra la successione del Bolognana e l'estremo distale del corpo di frana, ipotizzando un possibile contributo dell'infiltrazione delle acque del fiume Aventino; in realtà, sia quelle in destra che sinistra idrografica non mostrano differenze significative delle concentrazioni ioniche.

Le acque drenate dal corpo di frana, quindi, vengono probabilmente miscelate e diluite all'interno delle acque emergenti a San Giustino, senza influenzare la natura chimica proveniente dalla struttura carbonatica della Maiella. Ciò può essere considerato valido fin quando la portata che si infila all'inizio del corpo di frana (AV4) è circa 1/10 rispetto all'apporto del gruppo di S. Giustino, precisamente 110 L/s (Giugno) rispetto ai 1100 L/s.

4.1.3 Caratterizzazione della frana di Lettopalena

Il campionamento del deposito di frana della *Rock Avalanche* di Lettopalena è stato eseguito durante le attività di campagna svolte a Giugno ed Agosto 2013 ed analizzato mediante attività di laboratorio nei mesi di Ottobre, Novembre 2013 e Gennaio 2014.

I campioni sono stati prelevati sia nella porzione centrale del corpo di frana (LP1 e LP2), sia nel tratto a monte del gruppo sorgivo di San Giustino (LP3 e LP4) (Figura 4.10).



Figura 4.10 - Siti di campionamento della frana di Lettopalena : a) campione LP1; b) campione LP2; c) campione LP3; d) campione LP4.

4.1.3.1 Caratterizzazione fisica ed idraulica

La caratterizzazione fisica ed idraulica del deposito detritico della *Rock Avalanche* di Lettopalena è stata effettuata mediante l'analisi granulometrica, la determinazione del peso unità di volume del solido (γ_s), la prova di compattazione proctor e la prova di permeabilità.

Analisi Granulometrica e determinazione del γ_s

L'analisi granulometrica ha permesso di determinare la distribuzione granulometrica dei terreni campionati e i relativi coefficienti di uniformità e di curvatura (Figura 4.11) (Allegato IV). Mentre la determinazione del peso dell'unità di volume della frazione solida è stata eseguita in quanto necessaria alla valutazione, mediante il sedigrafo, della componente fine (limo-argilla) (Allegato V). I risultati di queste analisi sono riportati nella tabella seguente (Tabella 4.8) (Figura 4.11).

Campione	Zona di campionamento	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	γ_s	C_u	C_c
		%	%	%	%	KN/m^3	ϕ_{60}/ϕ_{10}	$(\phi_{30})^2/(\phi_{60}*\phi_{10})$
LP1	zona centrale	62,3	23,4	9,9	4,4	26,31	169,89	8,10
LP2	zona centrale	70,4	21,1	4,9	3,6	26,30	73,23	4,00
LP3	zona terminale della frana	65,9	22	6,1	6	26,59	360,00	16,68
LP4	zona terminale della frana	71,1	16,2	3,9	8,8	26,77	963,30	50,84

Tabella 4.8- Risultati dell'analisi granulometrica e della determinazione γ_s (KN/m^3) dei campioni della frana di Lettopalena.

I coefficienti di uniformità di tutti i campioni risultano superiori a 20, ad indicare un deposito decisamente ben graduato. Invece, i coefficienti di curvatura sono più bassi per LP1 ed LP2 e più alti per LP3 ed LP4, indice della mancanza di diametri di alcune particelle, evidenziata da variazioni di pendenza della curva granulometrica.

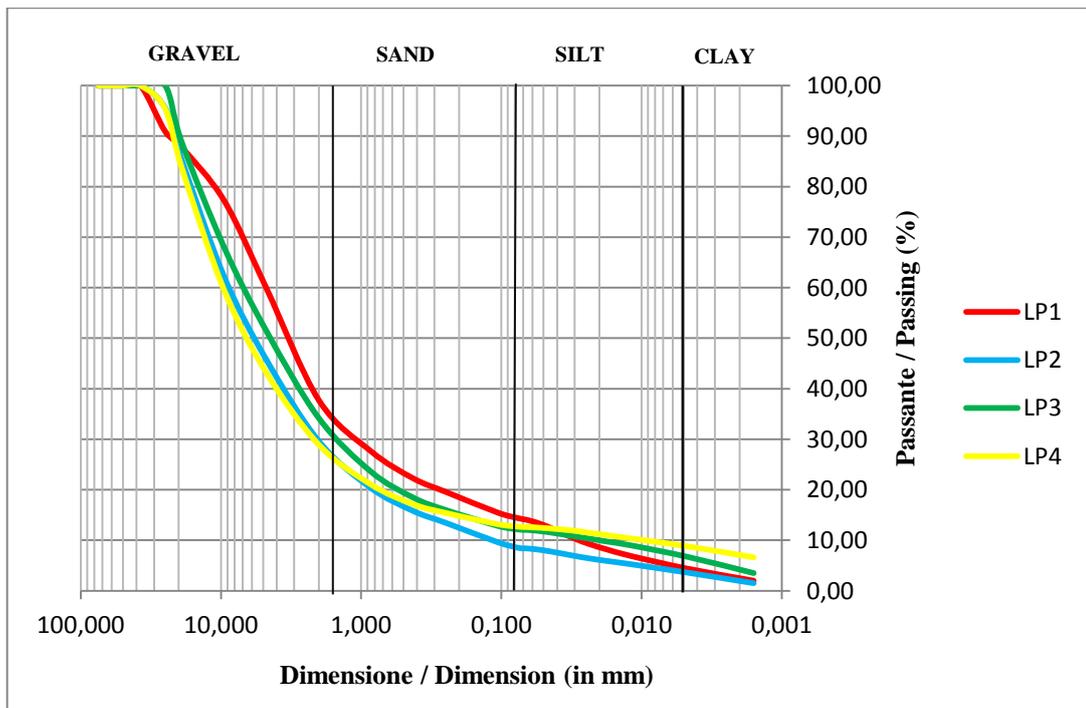


Figura 4.11 – Curve granulometriche dei campioni della frana di Lettopalena.

Da tale grafico si nota che le curve granulometriche risultano molto vicine tra loro e distese lungo l'asse orizzontale, ad indicare una granulometria assortita che giustifica gli alti valori dei coefficienti di uniformità. I campioni mostrano all'incirca la stessa composizione granulometrica, con una variazione percentuale che non supera il 10% per la ghiaia-sabbia e il 6% per limo-argilla.

I valori di γ_s (KN/m^3), determinati in laboratorio, risultano avere una variazione massima di $0,5 \text{ KN/m}^3$ ed un valore medio di $26,49 \text{ KN/m}^3$. Quest'ultimo non si discosta molto da quello tipico della calcite, pari $26,58 \text{ KN/m}^3$, indice di una composizione prevalentemente carbonatica dei granuli. I detriti della frana di Lettopalena sono sostanzialmente clasti calcarei e calcareo-marnosi del Miocene ed Eocene (*Bianchi Fasani et alii, 2014*).

I campioni sono stati classificati con la classificazione USCS sulla base della percentuale di trattenuto e/o passante ai setacci n. 200 e 4 ASTM, della percentuale di fine (limo-argilla) (Tabella 4.9) e dei coefficienti di uniformità e curvatura.

Campione	Trattenuto ASTM 200	Passante ASTM 4	Limo	Argilla	Soil Classification	
	%	%	%	%		
LP1	85,66	59,94	9,9	4,4	SM	Silty sand with gravel
LP2	91,52	45,77	4,9	3,6	GW-GM	Well-graded gravel with silt
LP3	87,87	51,46	6,1	6	SM	Silty sand with gravel
LP4	87,31	43,20	3,9	8,8	GC	Clayey gravel with sand

Tabella 4.9 - Classificazione USCS dei campioni della frana di Lettopalena .

Si nota come i campioni LP1 e LP3 sono definiti come *sabbie limose con ghiaia* (SM), mentre LP2 ed LP4, rispettivamente, come *ghiaie ben graduate con limo* (GW-GM) e *ghiaie argillose con sabbie* (GC). In tutti i campioni c'è una componente maggiore di sabbia e ghiaia, che appunto assegna il nome al gruppo.

Il triangolo tessiturale, invece, ha ai suoi vertici le percentuali di sabbia, limo e argilla, normalizzate rispetto alla ghiaia (Tabella 4.10).

Campione	Triangolo tessiturale		
	Sabbia	Limo	Argilla
	%	%	%
LP1	62,07	26,26	11,67
LP2	71,28	16,55	12,16
LP3	64,52	17,89	17,60
LP4	56,06	13,49	30,45

Tabella 4.10 - Percentuali normalizzate rispetto alla ghiaia dei campioni della frana di Lettopalena.

Tali percentuali sono riportate nel diagramma triangolare, al fine di determinare la matrice del deposito di frana e confrontarla con quelle di *Rock Avalanches* dell'Appennino Centrale (Scanno, Celano, M. Arezzo, Campo di Giove e Lettopalena), le quali sono state oggetto di studio del contributo di *Bianchi Fasani et alii (2014)* (Figura 4.12).

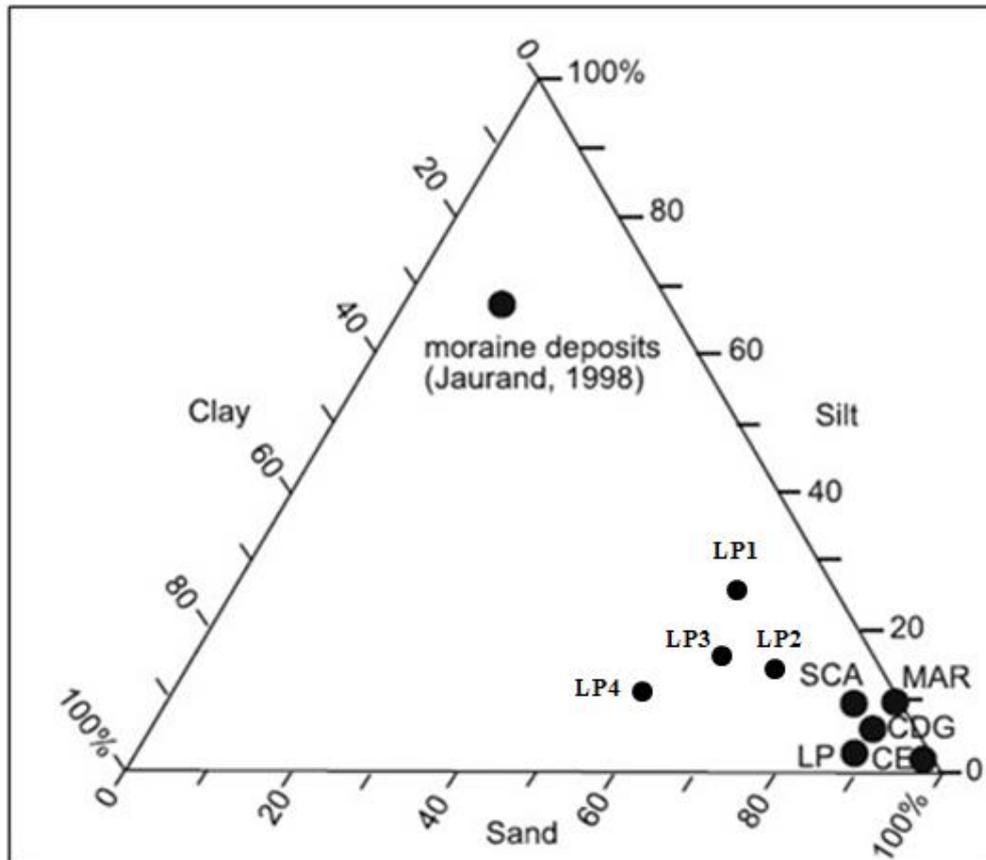


Figura 4.12 - Triangolo tessiturale dei depositi della frana di Lettopalena.

Il detrito della frana di Lettopalena è immerso in una matrice sabbiosa raggiungendo un valore di 71,28% (LP2) ed una percentuale di limo-argilla non superiore al 45%.

L'improbabile origine glaciale di questi depositi è confermata dalla componente fine che non oltrepassa quella del 70% dei depositi morenici di Campo Imperatore (Jaurand, 1998), ma risulta maggiore rispetto a quella ricavata da Bianchi Fasani et alii (2014), pari al 20%.

La componente fine è dovuta prevalentemente ai litotipi calcareo e calcareo-marnosi dell'Eocene e Miocene, mentre solo in parte al processo di frammentazione, in quanto la frana di Lettopalena è stata definita come un evento a bassa mobilità (Bianchi Fasani et alii, 2014).

La differente posizione nel triangolo tessiturale dei campioni di Lettopalena (LP1, LP2, LP3 e LP4), rispetto alle *Rock Avalanches* dell'Appennino Centrale, è dovuta ai differenti litotipi coinvolti nel movimento franoso e al diverso sito di campionamento per la frana di Lettopalena.

Prova di compattazione proctor

La prova Proctor è stata condotta con il fine di ottenere un valore rappresentativo di densità del terreno necessario per la valutazione della permeabilità.

In funzione del peso di terreno a disposizione e di quello necessario per la prova (~ 2-3Kg), si è scelto di unire i campioni LP3 ed LP4, poiché appartenenti alla medesima frana; il quantitativo di terreno utilizzato è stato selezionato mediante l'operazione di quartatura.

La prova è stata condotta mediante una fustella di 4", pertanto, il terreno è stato sottoposto inizialmente ad una vagliatura per via secca al setaccio n. 3/8" ASTM, e successivamente, sono state valutate le percentuali delle classi granulometriche normalizzate rispetto al medesimo setaccio. Sulla base di queste percentuali il campione è stato riclassificato, mediante la classificazione *USCS*, stabilendo un tempo minimo di riposo di tre ore solamente per il primo contenuto d'acqua. In seguito, il terreno è stato inserito nella fustella suddividendolo in tre strati, ad ognuno dei quali sono stati inferti 25 colpi. Tale procedura è stata eseguita per ciascun contenuto d'acqua.

Gli incrementi d'acqua sono stati del 2,5 %, rispetto al peso totale di terreno, per un totale di cinque determinazioni. I risultati sono stati plottati in un grafico *contenuto d'acqua vs densità secca* (g/cm^3) ed hanno permesso di ottenere la curva di compattazione (Allegato VI).

Dalla curva di compattazione si è ottenuto il valore massimo relativo di peso secco per unità di volume di circa $2,012 \text{ g/cm}^3$ (*maximum*) corrispondente ad un contenuto d'acqua pari al 9% (*optimum*).

Prova di permeabilità

Il ruolo di transfer idrico del detrito di frana è stato determinato attraverso la prova di permeabilità con permeametro a carico costante. Il campione, analogamente alla proctor, è stato umidificato e tenuto a riposo per un tempo minimo di tre ore. Successivamente, è stato inserito all'interno della fustella (4") dividendolo in tre strati, ognuno dei quali sottoposto a 25 colpi.

Una volta raggiunta la condizione di saturazione, attraverso l'ausilio di rubinetti, si è dato inizio alla prova mantenendo un carico costante di 137,6 cm ($H_1 - H_2 = 164 - 26,4 = 137,6$) ed effettuando 18 misure. Il tempo di misura di ogni determinazione è stato di circa 600 s, tempo necessario a riempire un contenitore con un volume d'acqua facilmente quantificabile (Allegato VII).

Il valore del coefficiente di permeabilità ottenuto per il deposito detritico di Lettopalena (LP3-LP4) è pari a $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$, ovvero $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

Tale valore, indicativo di una *sabbia limosa con ghiaia* e di una *ghiaia argillosa con sabbia*, pur non essendo eccessivamente alto è in grado di giustificare il ruolo idrico svolto dal detrito rispetto alle acque del fiume Aventino, che si infiltrano totalmente nel corpo di frana.

4.2 Bacino dell'alto Fiume Vella

Nel bacino dell'alto fiume Vella sono state condotte, nei mesi di Giugno ed Agosto 2013, nove sezioni di misura, le quali sono state siglate mediante una V e seguite da un numero progressivo al crescere dei contributi sorgentizi.

Analogamente al fiume Aventino, anche il Vella è alimentato da numerose sorgenti, seppur di portata modesta, ma che nell'insieme garantiscono il suo deflusso.

L'ubicazione delle sezioni di misura è stata scelta con lo scopo di valutare i contributi delle sorgenti per ogni sezione di misura, che alimentano il fiume Vella, ed inoltre di stimare l'entità della captazione d'acqua, destinata a Pacentro.

Il rilevamento di campagna ha interessato il campionamento di otto sorgenti (P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13) e otto del deposito detritico di frana (CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6, CG7, CG8) con lo scopo di caratterizzarlo dalla zona prossimale a quella distale rispetto all'area di distacco.

L'ubicazione delle sezioni di misura delle portate, del campionamento delle sorgenti e del detrito di frana sono rappresentate nella figura seguente (Figura 4.13).

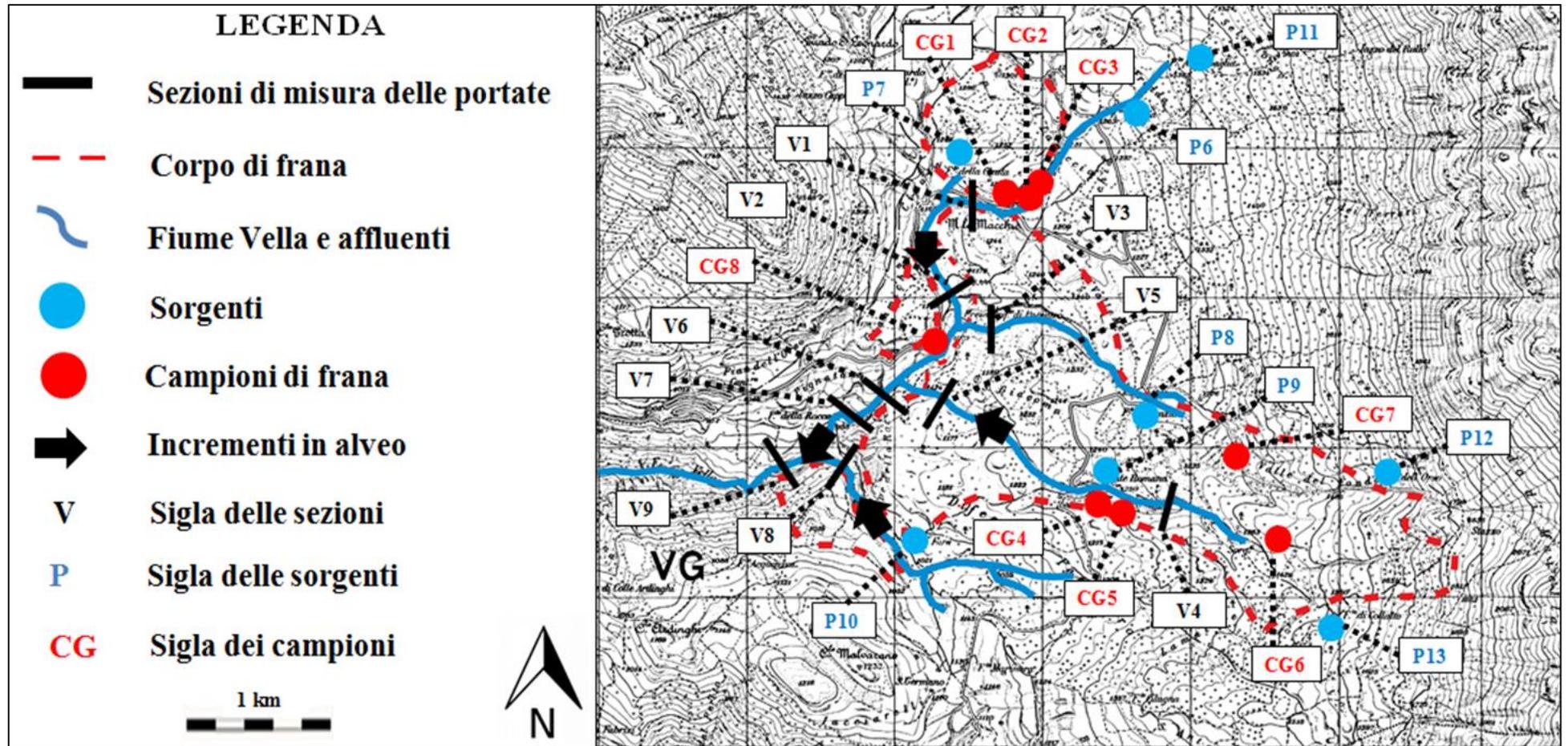


Figura 4.13 – Mappatura delle sezioni di misura delle portate, delle sorgenti e dei campioni di frana.

4.2.1 Analisi idrogeologica

I risultati ottenuti dalle misure di portata effettuate nel bacino dell'alto fiume Vella sono riportati, per ogni campagna di misura, nelle tabelle seguenti (Tabelle 4.11 - 4.12) (Allegati VIII – IX).

Giugno

Sigla	Località	Quota m s.l.m.	Giugno			
			T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Q (L/s)
V1	A valle di F. Fredda	1150	9,5	8,22	378	34
V2	A valle F. Cicuta	1113	12,9	8,01	355	48
V3	A valle F. di Nunzio	1063	8,3	8,13	333	127
V4	A monte di F. Romana	1301	7,2	8,27	299	30
V5	A valle di F. Romana	1108	10,08	8,29	311	22
V6	A monte della captazione	1020	10,1	7,87	328	228
V7	A valle della captazione	927	10,9	8,25	320	104
V8	A valle di F. La Fara	920	n.m.	n.m.	n.m.	72
V9	Confluenza V7 e V8	850	n.m.	n.m.	n.m.	146

Tabella 4.11 - Valori di portata e dei parametri chimico-fisici delle sezioni di misura, eseguite nel mese di Giugno 2013.

La sezione V1 ha permesso di valutare l'apporto della sorgente F. Fredda (P6), pari a circa 34 L/s, mentre la sezione V2 riceve il contributo sia della sezione V1 che di F. Cicuta, per la quale è stata stimata una portata di circa 14 L/s, facendo la differenza tra le sezione V1 e V2.

La sezione V3 con portata di 127 L/s è stata eseguita a valle di Fonte di Nunzio, sorgente per la quale si è avuta difficoltà a localizzarla in campagna.

Le sezioni V4 e V5, eseguite a monte e a valle di F. Romana, hanno consentito di misurare rispettivamente una portata di circa 30 L/s e 22 L/s; nel tratto compreso tra queste due sezioni si nota una perdita in termini di portata, giustificabile dal ruolo svolto dal corpo detritico.

La sezione V6 è collocata a valle delle sezioni V2, V3 e V5, dove sommando i singoli contributi si ottiene una portata di 198 L/s; questo valore è inferiore di circa 30 L/s alla portata realmente misurata in campagna che è invece pari a 228 L/s, indicando ulteriori drenaggi in alveo in tale tratto.

La sezione V7, situata a valle della sezione V6 e della captazione idrica, ha consentito di determinare la portata destinata all'approvvigionamento idrico di Pacentro e il quantitativo d'acqua che prosegue in alveo ad alimentare il fiume Vella. A tal proposito, la portata della sezione V7, pari a 104 L/s, corrisponde al deflusso minimo vitale, ovvero la minima portata

che deve essere rilasciata in alveo, al fine di mantenere vitali le condizioni di funzionalità e di qualità degli ecosistemi. Invece, la captazione preleva una quantità d'acqua, pari a circa 124 L/s, determinata sottraendo i valori di portata delle sezione a monte (V6) e a valle della stessa (V7).

La sezione V8 è ubicata a valle della sorgente F. La Fara ed ha una portata di 72 L/s, mentre la sezione di misura V9, situata a valle della confluenza delle sezioni V7 e V8, riceve il contributo di tutte le sorgenti ubicate nell'area di studio.

L'ultima sezione di misura (V9) ha una portata di circa 146 L/s inferiore di 30 L/s rispetto a quella che si ottiene sommando i singoli contributi delle sezioni V7 e V8.

Le sorgenti F. di Nunzio, F Romana e F. la Fara che in campagna sembrano avere portate ridotte, presentano bensì una portata, a valle delle emergenze, abbastanza elevata, attribuibile al ruolo idrico svolto dai detriti del corpo di frana.

Inoltre, dalle analisi di portata si è riscontrato che tra alcune sezioni c'è una diminuzione e/o incremento di portata rispetto a quelle attese. A tal proposito, risulta esserci un primo decremento (~8 L/s) in alveo nel tratto compreso tra le sezioni V4 e V5, rispettivamente a monte e a valle della sorgente F. Romana ed un secondo in corrispondenza della sezione V9, che ha un valore inferiore di circa 30 L/s rispetto a quello realmente misurato. Invece, la sezione V6 ha una portata maggiore di circa 30 L/s rispetto al valore atteso.

Le variazioni di portata registrate sono principalmente regolate dai rapporti esistenti tra la falda e fiume. Infatti, dove si verificano riduzioni di portata è sostanzialmente il fiume che cede acqua alla falda, come nelle sezioni V5-V9, mentre nel caso di contributi aggiuntivi in alveo è la falda che drena acqua al fiume (V6). Nonostante tali variazioni ed la captazione destinata al paese di Pacentro, si nota che il contributo delle sorgenti è tale da garantire una portata di 374 L/s. Quest'ultima è ottenuta dalla somma della sezione V6, la quale riceve tutta l'acqua a monte della derivazione, e V9 che, invece, considera tutto il contributo ricevuto a valle della captazione.

Dai risultati dei parametri chimico-fisici è possibile notare come la temperatura varia da 8,3°C a 10,9°C, ad eccezione della sezione V2 avente una T di 12,5°C, misurata nelle ore più calde, e V4 invece che è l'unica con temperatura più bassa, poiché valutata di sera.

In generale, la conducibilità elettrica mostra una relazione inversa con la portata, infatti ha valori più alti dove la portata è bassa, ad esempio V1, ed invece nella sezione V4, nonostante ci sia una portata limitata ha valori più bassi, funzione del minore percorso idrico sotterraneo, essendo tale sezione ubicata ad una quota maggiore (1301 m s.l.m.).

Analogamente alla conducibilità, il pH mostra un andamento inverso a quello della portata, infatti il valore più alto è nella sezione V5 (8,29), corrispondente alla portata minore, mentre quello più basso (7,87) è relativo alla sezione che ha portata maggiore (V6).

Agosto

Sigla	Località	Quota m s.l.m.	AGOSTO			
			T (° C)	pH	CE (μ S/cm)	Q (L/s)
V1	A valle di F. Fredda	1150	10,3	8,1	379	14
V2	A valle F. Cicuta	1113	12,9	8,25	331	23
V3	A valle F. di Nunzio	1063	8,6	8,08	327	79
V4	A monte di F. Romana	1301	8,1	7,96	300	27
V5	A valle di F. Romana	1108	12,5	8,12	318	10
V6	A monte della presa	1020	8,7	8,18	329	121
V7	A valle della captazione	927	13,5	7,77	409	Stimata: < 2
V8	A valle di F. La Fara	920	11,4	8,18	343	35
V9	Confluenza V7 e V8	850	11,8	8,25	344	43

Tabella 4.12 - Valori di portata e dei parametri chimico-fisici delle sezioni di misura, eseguite nel mese di Agosto 2013.

Le nove sezioni effettuate in Agosto sono sostanzialmente le stesse eseguite a Giugno, ad eccezione della sezione V7, per la quale in questa campagna non è stato possibile misurare la portata, in quanto la lama d'acqua era limitata, e pertanto è stata soltanto stimata.

In questa campagna, analogamente a quella di Giugno, sono state misurate le portate delle sezioni a valle delle sorgenti, la quantità d'acqua destinata a Pacentro e la portata totale erogata a valle di tutte le sezioni.

Le sorgenti poste a monte delle sezioni V1 e V2, ossia F. Fredda e F. Cicuta, si presentano asciutte, ad indicare una diminuzione delle portate delle sezioni ubicate a valle delle stesse.

Infatti, la sezione V1 che riceve l'apporto di F. Fredda ha una portata di 14 L/s, meno della metà di quella di Giugno, mentre la sezione V2 ha una portata di 23 L/s, dove 9 L/s provengono da F. Cicuta e la restante parte da F. Fredda.

La sezione V3 è alimentata dalla sorgente F. di Nunzio che anche in questa campagna ha mostrato una portata modesta. Nonostante ciò la portata valutata è di circa 79 L/s, inferiore di circa 48 L/s a quella di Giugno.

In particolare, si nota nella sezione V4 una portata pressoché identica a quella di Giugno, con un decremento di soli 2 L/s, mentre la sezione V5 mostra un valore di portata inferiore sia alla sezione V4 sia a quella di Giugno. In entrambi i rilevamenti di campagna si è riscontrato, nel

tratto compreso tra V4 e V5, una perdita in alveo anziché un atteso aumento nella sezione posta a valle.

La sezione V6 riceve i contributi delle sezioni poste a monte (V2, V3 e V5), le quali contribuiscono con una portata di 112 L/s, ma la portata realmente misurata, seppur di soli 9 L/s, è maggiore (~ 121 L/s).

Per la sezione V7, posta a valle della captazione, non è stato possibile effettuare la misura, ma solamente una stima di portata inferiore ai 2 L/s. A tal proposito, è evidente come la captazione preleva quasi tutta l'acqua lasciando parzialmente asciutto l'alveo a valle della stessa. In tale campagna la captazione non garantisce assolutamente un deflusso minimo vitale.

La sezione V8 è ubicata nella zona distale del corpo di frana, precisamente, nella zona di run-out E-W, in corrispondenza del contatto tra detrito di frana e depositi di flysch. Essa ha una portata di circa 35 L/s e contribuisce alla portata della sezione V9.

Dalla portata di quest'ultima sezione, pari a 43 L/s, si evince che oltre all'apporto della sezione V8 sono presenti ulteriori drenaggi in alveo di circa 10 L/S, nonostante l'apporto della sezione V7 sia nullo.

Anche in questa campagna le tre sorgenti F. di Nunzio, F Romana e F. La Fara mostrano delle portate piuttosto modeste, ciò avvalorato quanto detto nella campagna di Giugno, dove la presenza di portate cospicue a valle di tali sorgenti è spiegabile, appunto, mediante i rapporti reciproci tra falda e fiume. Il drenaggio della falda si verifica nelle sezioni V3, V6, V8 e V9, mentre quello del fiume nella sezione V5.

Sulla base delle portate misurate nel mese di Agosto, è stato possibile stimare la portata totale erogata, prevalentemente, dalla sorgenti, pari a circa 164 L/s, sommando gli apporti delle sezioni V6 e V9, rispettivamente a monte e valle della captazione.

La temperatura aumenta dalla sezione V1 a V2, mentre diminuisce di circa 3°C nelle sezioni V3 e V4 per poi aumentare, nuovamente, in quelle poste più a valle. L'aumento della temperatura è dovuto al maggiore percorso idrico sotterraneo compiuto dall'acqua e subisce variazioni in funzione dell'ora in cui è misurata.

La conducibilità elettrica mostra, invece, un andamento opposto a quello delle portate. Infatti, è più bassa dove le portate sono maggiori, mentre quando quest'ultime sono minori si verifica esattamente il contrario. Ad esempio, nella sezione V7 la conducibilità elettrica di 409 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corrisponde ad una portata di 2 L/s. Il pH risulta essere in tutte le sezioni alcalino e mostra valore minimo di 7,77 per la sezione avente portata minore (V7).

I risultati delle misure di portata dei mesi di Giugno ed Agosto sono rappresentati nel grafico seguente (Figura 4.14).

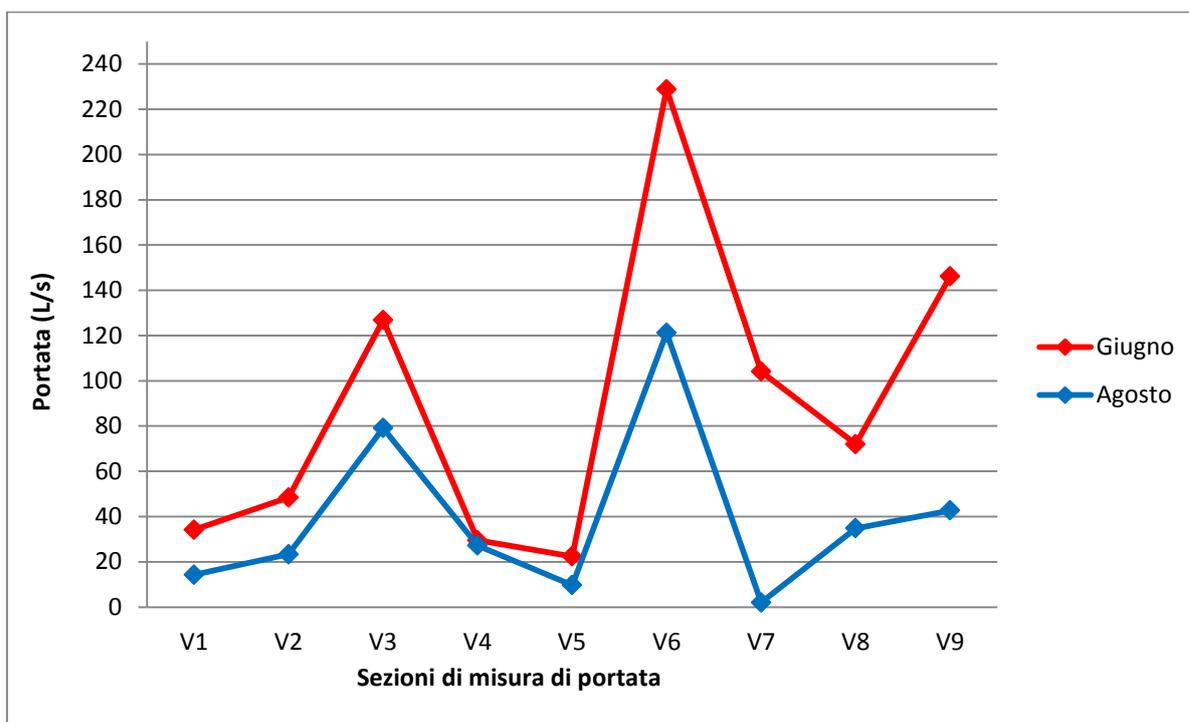


Figura 4.14. – Confronto delle misure di portata dei mesi Giugno ed Agosto 2013 del bacino del fiume Vella.

Dal confronto dei risultati dell'analisi idrogeologica del bacino dell'alto fiume Vella, si evince che le portate di Agosto sono inferiori a quelle di Giugno, imputabili al periodo di magra.

In entrambe le campagne si verifica un aumento della portata dalla sezione V1 ad V3, seguito da una diminuzione nella sezione V5, la quale riceve il modesto contributo della sorgente F. Romana. La sezione V6 è quella che ha portata maggiore, in quanto riceve le acque delle sezioni poste a monte (V2-V3-V5), ma a valle della stessa si verifica un decremento, giustificato dalla presenza della captazione destinata a Pacentro, che garantisce un deflusso minimo vitale di circa 104 L/s a Giugno (V7) rispetto ai soli 2 L/s di Agosto.

Infine, la sezione V9, a valle della captazione, ha una portata più alta poiché situata alla confluenza dei contributi delle sezioni V7 e V8 (Figura 4.15).

In funzione dell'ubicazione delle sezioni e delle sorgenti è stato possibile valutare la portata totale erogata nell'area di studio, pari a circa 164 L/s.

La portata determinata è di 374 L/s a Giugno e di circa 164 L/s ad Agosto, mentre quella calcolata nell'Agosto del 2003 è variabile tra i 150 L/s e i 250 L/s (*Bianchi Fasani, 2006*).

Prendendo in considerazione tali portate, risulta ragionevole esaminare il ruolo svolto dal corpo di frana di Campo di Giove, il quale ha la funzionalità, all'interno del graben di Caramanico, di erogare un flusso di base sostenuto sia dalle numerosi sorgenti sia dalle acque

provenienti dall'idrostruttura della Maiella. In assenza di tale corpo detritico, è probabile che le sorgenti ubicate a quote maggiori sarebbero emerse più a valle.

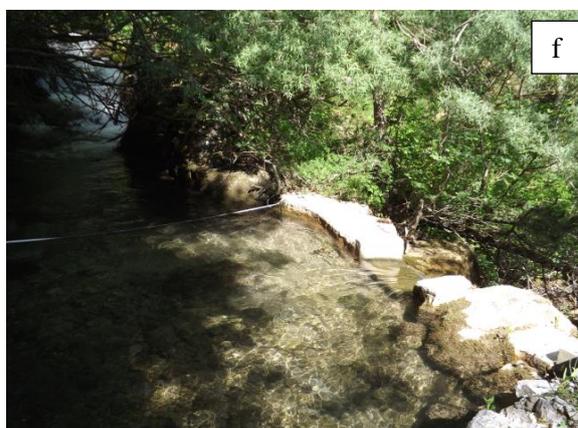




Figura 4.15 - Sezioni di misura delle portate nell'alto bacino del fiume Vella: a) V1; b) V2; c) V3; d) V4; e) V5; f) V6, a monte della captazione; g) captazione di Pacentro; h) V7; i) depositi di flysch in prossimità della sezione V8; l) V8; m) confluenza V7 e V8; n) V9.

4.2.2 Analisi geochemica ed isotopica

Nella campagna di Luglio, nel bacino dell'alto fiume Vella, sono state campionate otto sorgenti e misurati i relativi parametri chimico-fisici, con il fine di determinare la caratterizzazione geochemica ed isotopica delle stesse acque (Figura 4.16). I risultati della valutazione dei parametri chimico-fisici delle sorgenti sono riportati nella Tabella 4.13.



Sigla	Sorgente	Quota m s.l.m.	Giugno			Luglio			Agosto		
			T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)
P6	F. Fredda	1288	8,2	7,91	257	8,2	7,62	250	9,5	8	248
P7	F. Cicuta	1196	n.m.	n.m.	n.m.	8,5	7,96	390	8,4	8,06	391
P8	F. di Nunzio	1237	n.m.	n.m.	n.m.	7,9	7,63	380	8	7,51	387
P9	F. Romana	1245	7,2	8,27	299	7,2	7,79	270	6,6	7,82	272
P10	F. La Fara	1060	7,7	7,74	353	7,8	7,55	350	7,6	7,66	352
P11	F. Azziquaglia	1372	n.m.	n.m.	n.m.	6,2	7,53	260	6,1	7,67	255
P12	F. dell'Orso	1727	n.m.	n.m.	n.m.	5,1	8,16	180	n.m.	n.m.	n.m.
P13	F. Collalto	1517	n.m.	n.m.	n.m.	6,1	7,71	310	n.m.	n.m.	n.m.

Tabella 4.13 – Parametri chimico-fisici delle sorgenti ubicate nel bacino dell'alto fiume Vella.

In generale, le otto sorgenti ubicate nell'area di Campo di Giove, hanno una temperatura con variazione massima di 1,3 °C (P6) e minima di 0,1°C (P7, P8, P10 e P11), mentre si nota che quelle ubicate a quote maggiori (P11, P12 e P13), hanno temperature più basse, legate probabilmente ad un minor percorso idrico sotterraneo. Per quest'ultimo motivo anche la conducibilità elettrica risulta essere più bassa per le sorgenti in quota (P6, P9, P11, P12 e P13) con un valore minimo di 180 $\mu\text{S/cm}$ per la sorgente F. dell'Orso, situata a quota 1727 m s.l.m..

Le concentrazioni degli ioni maggiori, determinate mediante le analisi chimiche ed espresse in meq/l, sono riportate nella tabella seguente (Tabella 4.14):

Sigla (Sorgente)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	NO ₃ ²⁻	PO ₄ ²⁻
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
P6 (F. Fredda)	1,84	0,05	0,26	0,00	0,09	0,08	2,40	0,00	0,000
P7 (F. Cicuta)	2,60	0,09	0,30	0,00	0,17	0,06	2,60	0,00	0,000
P8 (F. di Nunzio)	2,45	0,10	0,56	0,00	0,49	0,07	2,80	0,00	0,000
P9 (F. Romana)	1,94	0,06	0,15	0,00	0,09	0,08	2,45	0,01	0,000
P10 (F. La Fara)	2,46	0,09	0,31	0,00	0,17	0,10	2,50	0,00	0,000
P11 (Azziquaglia)	1,92	0,05	0,25	0,01	0,09	0,09	2,35	0,00	0,000
P12 (F. Dell'Orso)	1,57	0,03	0,09	0,00	0,04	0,04	1,95	0,00	0,006
P13 (F. Collalto)	2,09	0,12	0,18	0,06	0,15	0,08	2,60	0,00	0,000

Tabella 4.14 - Concentrazioni degli ioni maggiori, espresse in meq/l, delle sorgenti ubicate nell'alto bacino del fiume Vella.

Analogamente al bacino del Fiume Aventino, i risultati delle analisi chimiche sono stati elaborati mediante le rappresentazioni grafiche di Chebotarev e Schoeller, che hanno permesso di valutare la facies e la matrice chimica. Nella figura seguente viene riportato il diagramma di Chebotarev (Figura 4.17):

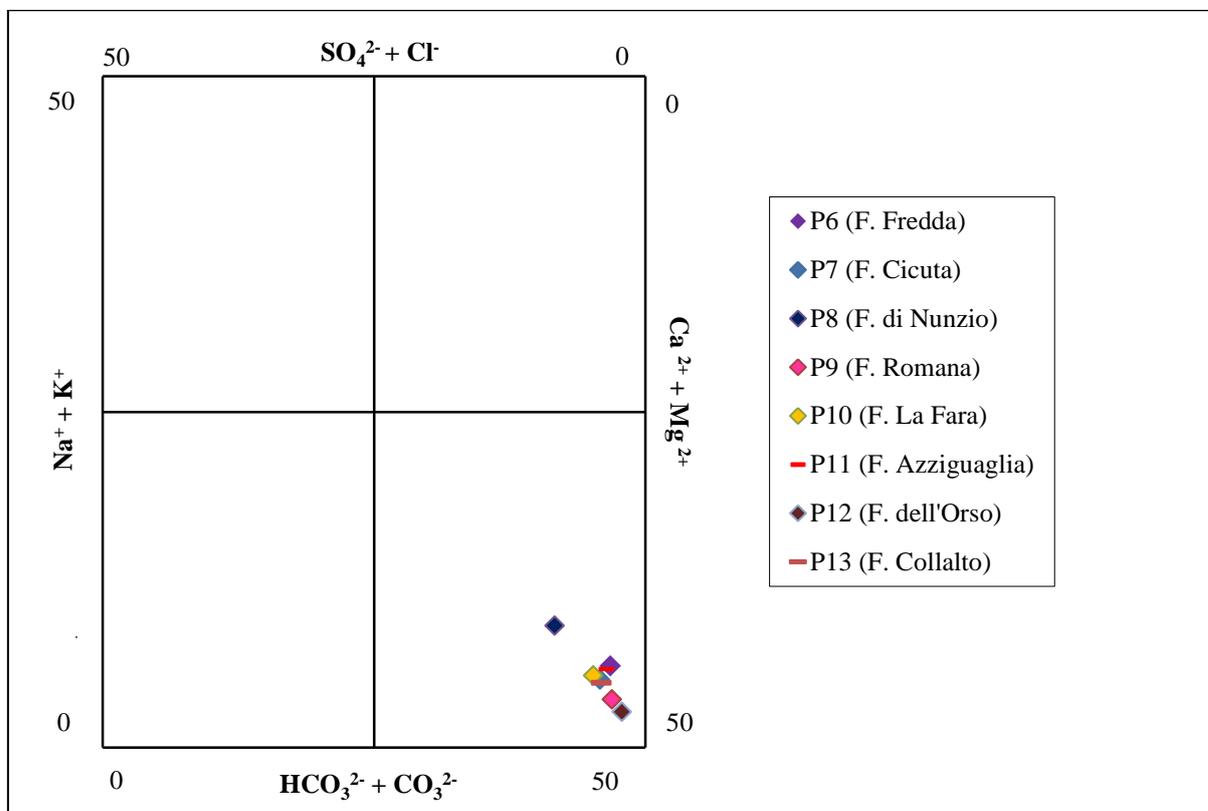


Figura 4.17 - Classificazione delle sorgenti P7, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13.

Da tale grafico è possibile raggruppare le otto sorgenti campionate in un unico gruppo le cui acque sono classificate bicarbonato-calciche. All'interno del medesimo gruppo, le acque sono caratterizzate da un elevato contenuto di elementi alcalino-terrosi Ca^{2+} e Mg^{2+} , mentre l'unica sorgente che risulta avere un contenuto maggiore di sodio e potassio è quella di F. di Nunzio. Il grado di mineralizzazione delle acque e la loro matrice chimica sono stati valutati dall'andamento delle spezzate rappresentate nel diagramma di Schoeller (Figura 4.18).

Diagramma di Schoeller

LUGLIO 2013

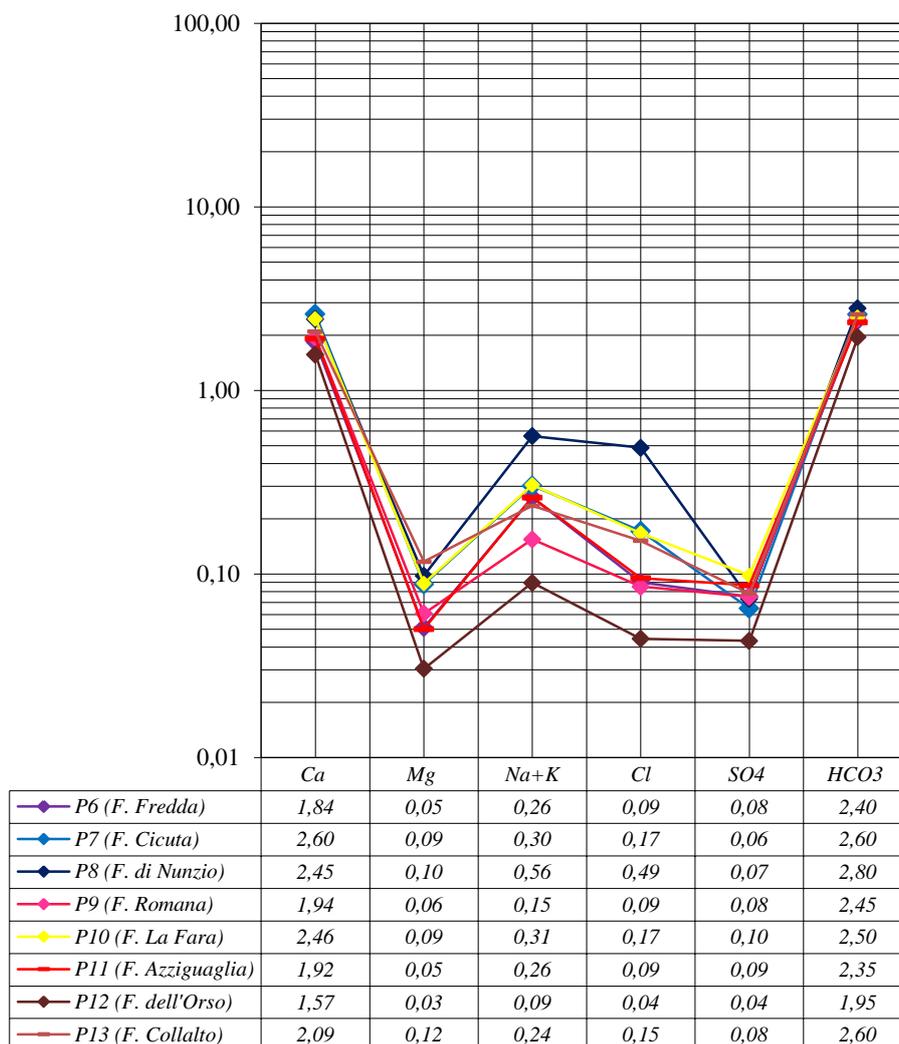


Figura 4.18 - Diagramma di comparazione degli ioni maggiori delle sorgenti campionate.

Tutte le sorgenti mostrano un elevato contenuto di ioni calcio e bicarbonati, ad indicare una stessa matrice chimica che risulta essere prevalentemente carbonatica. Ciò che differenzia la natura chimica delle diverse sorgenti in esame è il contenuto degli ioni sodio-potassio e cloruri.

A tal proposito, è evidente come F. dell'Orso (P12), ubicata a quota maggiore, presenta una facies carbonato-calcica tipica di acque provenienti, esclusivamente, dal dominio carbonatico della Maiella. Mentre le altre sorgenti (P6, P7, P9, P10, P11, P13), ubicate via via a quote più basse, sono caratterizzate da un incremento degli elementi alcalini e cloruri, fino a raggiungere le concentrazioni più alte con la sorgente F. di Nunzio (P8). Ciò è ipotizzabile

possa essere funzione dell'entità del percorso idrico sotterraneo compiuto dalle acque e dalla maggiore interazione e, quindi, circolazione delle stesse nei depositi detritici. Nel caso della sorgente F. di Nunzio, l'aumento di sodio-potassio e cloruri, oltre a quanto detto sopra, è dovuto anche alla lisciviazione dei depositi lacustri, formati in seguito allo sbarramento del paleodrenaggio, essendo tale emergenza ubicata al confine tra questi depositi e quelli del detrito di frana.

La prevalente facies bicarbonato-calcica di tutte le sorgenti conferma la veicolazione delle acque dalla struttura carbonatica della Maiella, mentre l'incremento di alcuni ioni caratteristici è funzione della miscelazione di tali acque con quelle infiltrate direttamente nel corpo detritico.

Per definire le aree di alimentazione delle sorgenti sono state campionate le relative acque, e successivamente, nel mese di Luglio 2013, eseguite le analisi isotopiche aventi lo scopo di verificare quali sono le acque provenienti dall'idrostruttura carbonatica della Maiella e quali invece, eventualmente, alimentate dal detrito della *Rock Avalanche* di Campo di Giove.

I risultati delle analisi isotopiche sono riportati e rappresentati nella tabella (Tabella 4.15) e nel grafico (Figura 4.19) seguenti:

<i>Sigla (Sorgente)</i>	<i>Quota m s.l.m.</i>	<i>δD ‰ (vs. V-SMOW)</i>	<i>$\delta^{18}O$ ‰ (vs. V-SMOW)</i>
<i>P6 (F. Fredda)</i>	1288	-77,3	-11,55
<i>P7 (F. Cicuta)</i>	1196	-71,9	-10,95
<i>P8 (F. Di Nunzio)</i>	1237	-75,2	-11,26
<i>P9 (F. Romana)</i>	1245	-77,4	-11,5
<i>P10 (F. La Fara)</i>	1060	-74,6	-11,33
<i>P11 (F. Azziaguaglia)</i>	1372	-78,6	-11,66
<i>P12 (F. dell'Orso)</i>	1727	-80,7	-12,05
<i>P13 (F. Collalto)</i>	1517	-74,7	-11,09

Tabella 4.15 - Valori di δD e $\delta^{18}O$ delle sorgenti ubicate nel bacino dell'alto fiume Vella.

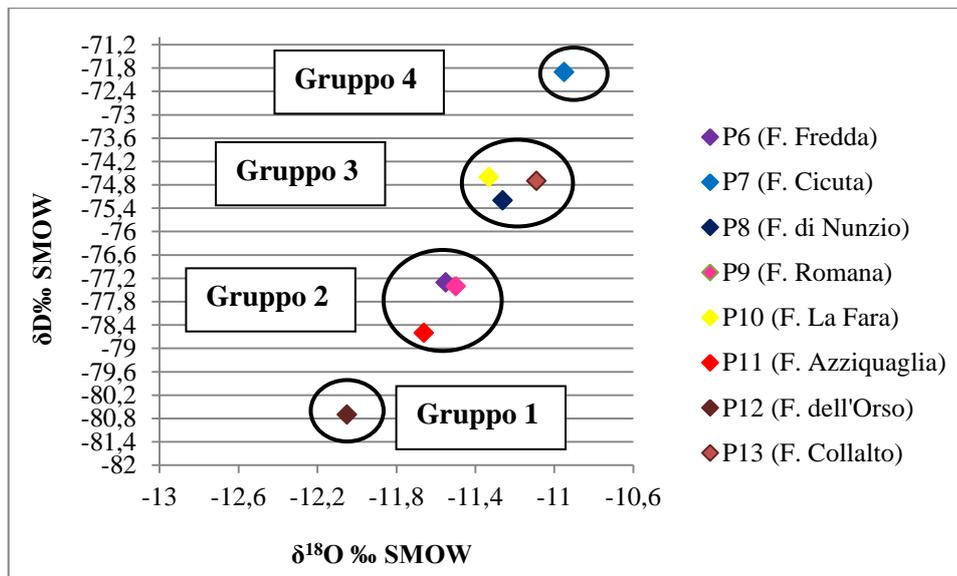


Figura 4.19 - Correlazione δD e $\delta^{18}\text{O}$ delle sorgenti del bacino dell'alto fiume Vella.

Da tale grafico, si nota che i campioni si dispongono in quattro gruppi con segnali isotopici diversi a segnalare l'eventuale ipotesi di aree di ricarica diverse, nonostante comunque le acque siano tutte bicarbonato-calciche, sebbene con qualche differenza.

Il primo gruppo è costituito da F. dell'Orso che è quella che ha valori più negativi di δD e $\delta^{18}\text{O}$, segue poi il secondo gruppo (P6–P9–P11) e il terzo gruppo (P8-P10-P13) che mostrano valori negativi intermedi, ed infine l'ultimo gruppo formato dalla sola sorgente F. Cicuta (P7), la quale ha valori di δ più positivi.

La sorgente F. dell'Orso è quella che avendo valori più negativi ha quota isotopica di ricarica più elevata (frazionamento isotopico maggiore con l'altitudine), mentre F. Cicuta, avente valori di $\delta^{18}\text{O}$ più positivi, ha una quota di alimentazione più bassa.

In generale, si nota come passando dal primo gruppo al quarto gruppo i valori di δD e $\delta^{18}\text{O}$ diventano sempre più positivi, indice di un minore frazionamento isotopico con l'altitudine e, quindi, quote di ricarica isotopica più basse.

I dati sperimentali isotopici sono stati poi confrontati con le principali rette meteoriche, valide a scala mondiale, per l'Italia centrale e a livello regionale (Figura 4.20):

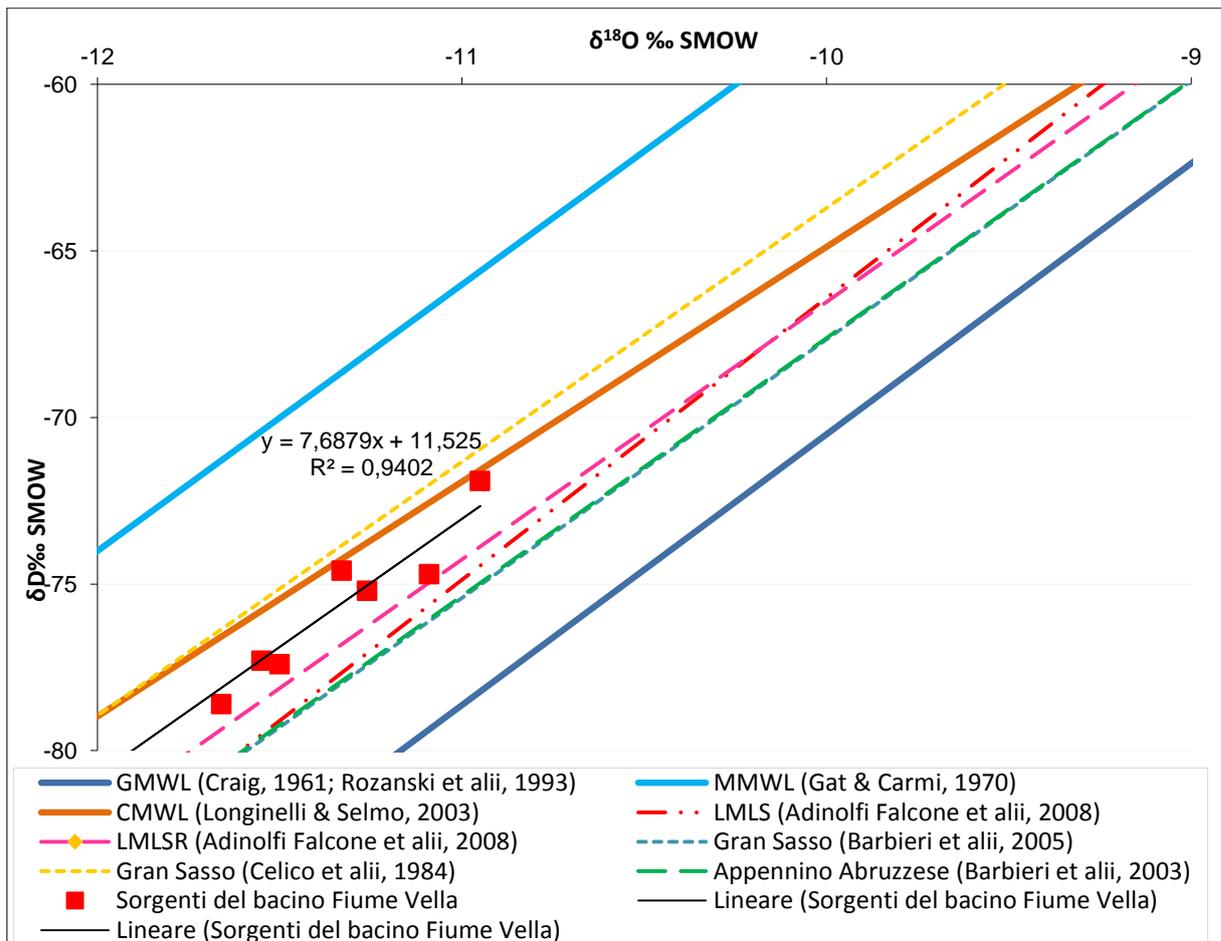


Figura 4.20 - Confronto del segnale isotopico delle sorgenti campionate nel bacino dell'alto fiume Vella con le principali rette meteoriche.

Le sorgenti dell'alto bacino del fiume Vella sono correlate da una retta di regressione lineare, avente coefficiente di determinazione prossimo ad uno. Tale retta si avvicina sia a quella proposta per l'Italia Centrale CMWL (Longinelli & Selmo, 2003), valida a livello regionale, sia a quella relativa all'acquifero carbonatico del Gran Sasso LMLSR (Adinolfi Falcone et alii, 2008), valida a livello locale.

Per la definizione delle quote medie di alimentazione del bacino dell'alto fiume Vella sono state prese in considerazione le equazioni già esplicitate per il bacino del fiume Aventino, precisamente quelle di Barbieri et alii, (2003), Barbieri et alii,(2005), Desiderio et alii, (2005) e Nanni & Rusi, (2003). Mediante l'applicazione di tali equazioni sono state determinate le quote medie di ricarica delle sorgenti campionate, esposte nella tabella seguente (Tabella 4.16):

		<i>App. Abruzzese Barbieri et al., 2003</i>	<i>Gran Sasso Barbieri et al., 2005</i>	<i>Maiella Desiderio et al., 2005</i>	<i>Maiella Nanni & Rusi, 2003</i>
<i>Sigla</i>	<i>Quota m s.l.m.</i>	$\delta^{18}\text{O} = -0,0013h - 8,4$	$\delta^{18}\text{O} = -0,0024h - 6,35$	$\delta_{18}\text{O} = -0,0016h - 7,9$	$\delta_{18}\text{O} = -0,0017h - 7,71$
<i>P6</i>	1288	2423	2167	2281	2259
<i>P7</i>	1196	1962	1917	1906	1906
<i>P8</i>	1237	2200	2046	2100	2088
<i>P9</i>	1245	2385	2146	2250	2229
<i>P10</i>	1060	2254	2075	2144	2129
<i>P11</i>	1372	2508	2213	2350	2324
<i>P12</i>	1727	2808	2375	2594	2553
<i>P13</i>	1517	2069	1975	1994	1988

Tabella 4.16 - Quote medie di ricarica, secondo diversi gradienti proposti in letteratura, delle sorgenti emergenti nel bacino dell'alto fiume Vella.

Le quote medie di ricarica isotopica ottenute con l'equazione relativa all'Appennino Abruzzese (*Barbieri et alii, 2003*) mostrano valori più alti rispetto a quella del Gran Sasso (*Barbieri et alii, 2005*). Le altre due equazioni, esclusivamente elaborate per l'idrostruttura della Maiella di *Nanni e Rusi (2003)* e *Desiderio et alii (2005)*, hanno restituito valori molto più simili tra loro o praticamente identici, come nel caso di F. Cicuta (1906 m s.l.m.).

Tra le quattro equazioni utilizzate si è scelto di far riferimento per le elaborazioni grafiche successive a quella di *Desiderio et alii 2005*. La quota di ricarica ottenuta con tale equazione è stata relazionata alla quota di campionamento delle acque sorgive nel grafico seguente (Figura 4.21):

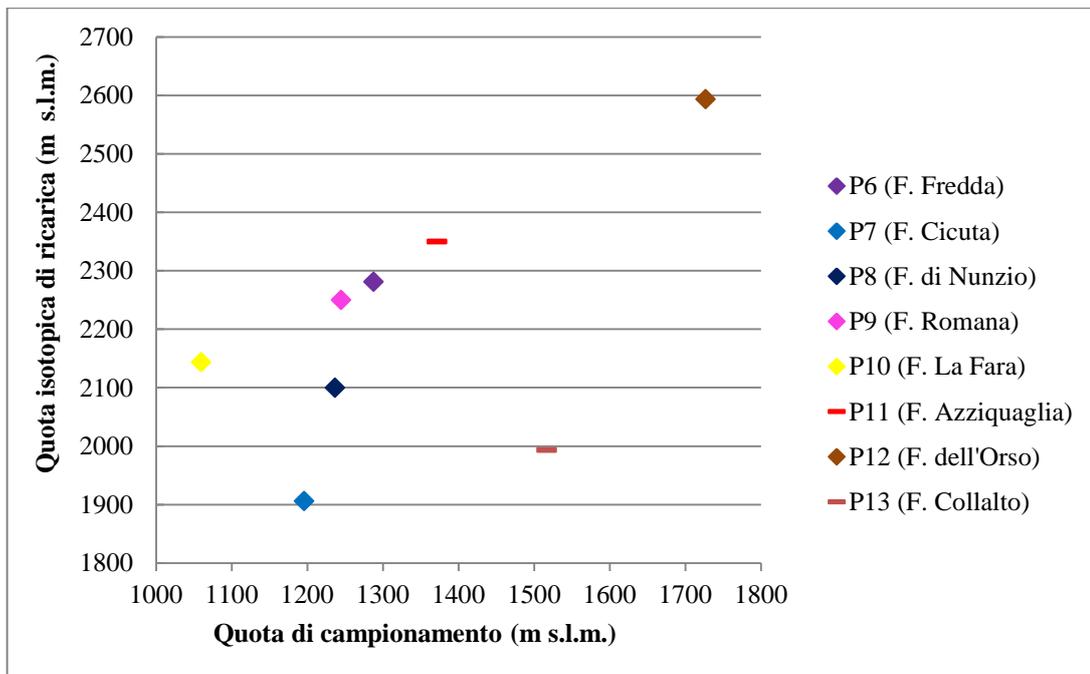


Figura 4.21 - Correlazione quota di campionamento e di ricarica isotopica delle sorgenti del bacino dell'alto fiume Vella.

Da tale correlazione si nota come le sorgenti dell'alto bacino del fiume Vella hanno quote di ricarica isotopica comprese tra 1900 (P7) m s.l.m. e 2600 (P12) m s.l.m..

Per determinare le aree di alimentazione delle sorgenti in esame è necessario confrontare la quota di ricarica media di ogni sorgente, ottenuta dalle analisi isotopiche, con quelle delle possibili aree di alimentazione. Quest'ultime sono identificate nell'idrostruttura della Maiella e nel corpo detritico di frana. Le quote di ricarica isotopica di tutte le sorgenti sono maggiori rispetto alla quota alla quale comincia ad essere presente il corpo detritico di frana, pari a circa 1830 m s.l.m.. Tuttavia, alcune sorgenti analizzate sono ubicate al di fuori del corpo di frana, come F. Fredda (P6), F. Azziquaglia (P11), F. dell'Orso (P12), e F. Collalto (P13), escludendo quindi una possibile alimentazione di queste dal cumulo di frana. Invece, altre sorgenti, come P7, P8, P9, P10, sono ubicate sia all'interno che alle estremità laterali del corpo detrito, ad indicare una circolazione attiva nel medesimo corpo, il quale veicola le acque provenienti dall'idrostruttura della Maiella e svolge il ruolo di acquifero superficiale.

Dall'analisi idrogeologica del bacino dell'alto fiume Vella, è possibile notare che le portate misurate, analogamente a quelle del bacino del fiume Aventino, sono funzione del periodo di rilevamento, delle attività antropiche, del contributo delle sorgenti e del ruolo svolto dal corpo di frana di Campo di Giove.

In generale, si nota sia nella campagna di Giugno che in quella di Agosto, un aumento della portata dalla sezione V1 alla sezione V9, ad eccezione della sezione V7, ubicata a valle della

captazione destinata a Pacentro. Le analisi chimiche delle sorgenti evidenziano una correlazione tra queste, che segnala una circolazione idrica sotterranea comune, dove le più distali mostrano un aumento degli elementi alcalini e cloro con un maggior percorso idrico sotterraneo. Il censimento delle diverse sorgenti presenti nel cumulo di frana e la loro dettagliata ubicazione permette di definire i punti in cui il corpo di frana è appoggiato sul substrato terrigeno. Tra queste, F. di Nunzio e F. Romana, poste nel tratto prossimale al versante, si mostrano scarsamente influenzate dalle precipitazioni, con parametri chimici e portate costanti, evidenziando un ruolo di bypass idrogeologico svolto dai depositi rispetto alla struttura carbonatica. I valori dei tempi di rinnovamento di queste due sorgenti sono di circa 14-16 mesi (Nanni & Rusi, 2003).

Dal bilancio delle misure di portata, condotte nel bacino del fiume Vella, si è riscontrato che il corpo di frana svolge il ruolo di serbatoio idrico, erogante un flusso di base di 374 L/s e 164 L/s, rispettivamente, nei mesi di Giugno ed Agosto 2013. Nel contempo, è noto che tale corpo funge da *by pass* idrogeologico per le acque provenienti dall'idrostruttura della Maiella, come si può notare dallo schema della probabile alimentazione proposto da Nanni & Rusi (2003) (Figura 4.22).

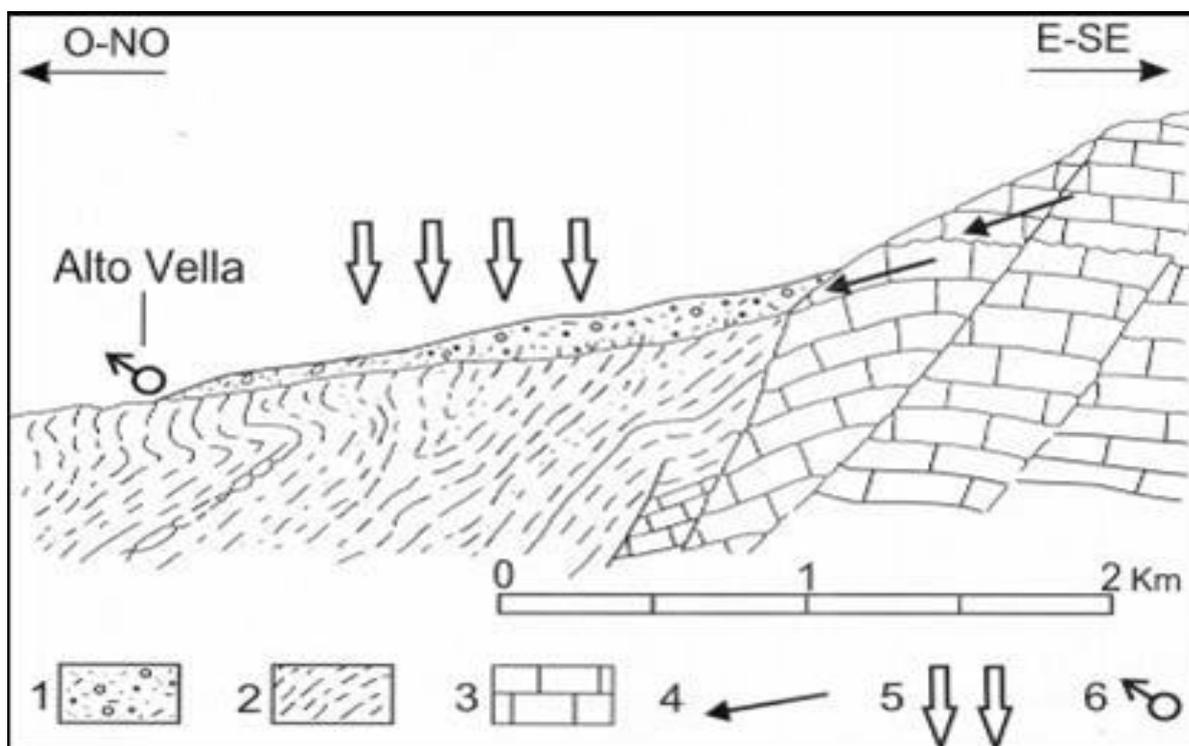


Figura 4.22 - Schema della probabile alimentazione delle sorgenti presenti nel corpo di frana di Campo di Giove. 1) complesso idrogeologico del corpo di frana; 2) depositi terrigeni; 3) struttura carbonatica; 4) probabile alimentazione attiva; 5) precipitazioni; 6) sorgenti (da Nanni & Rusi, 2003).

Ciò fa ipotizzare che non tutta la portata valutata, in campagna, è drenata dal corpo di frana, ma che parte di questa deriva dall'acquifero carbonatico della Maiella. A tal proposito, viene di seguito svolto un calcolo indicativo dei due eventuali contributi.

Prendendo in considerazione da *Bianchi Fasani et alii (2014)* la superficie planimetrica del cumulo detritico, pari a $5,7 \cdot 10^6 \text{ m}^2$, e disponendo di una portata media di Giugno ed Agosto 2013 pari a 270 L/s, è possibile stimare un valore orientativo dell'infiltrazione efficace:

$$I_e = Q / A = \text{mm/anno}$$

$$I_e = [0,27 \text{ m}^3/\text{s} * (31,5 * 10^6) \text{ s/anno}] / [5,7 * 10^6 \text{ m}^2]$$

$$I_e = 1492 \text{ mm/anno.}$$

Il valore di infiltrazione efficace calcolato è talmente elevato tanto da risultare improbabile se confrontato con valori di infiltrazione efficace tipici dell'idrostruttura della Maiella, pari a 962 mm/anno (*Rusi, 2005*), che ha valori di permeabilità e precipitazioni, sicuramente, maggiori rispetto al detrito di frana.

Se, invece, si utilizza un valore di infiltrazione efficace indicativo dei depositi detritici di *Rock Avalanches*, pari a 300 mm/anno, e la medesima area di $5,7 \cdot 10^6 \text{ m}^2$, è possibile calcolare il seguente valore di portata:

$$Q (\text{m}^3/\text{s}) = I_e * A$$

$$Q = [(300) \text{ mm/anno} * (5,7 * 10^6) \text{ mm}^2] / [(31,5 * 10^6) \text{ s/anno}]$$

$$Q = 0,054 \text{ m}^3/\text{s} = 54 \text{ L/s.}$$

Tale valore, è attribuibile alla portata effettivamente erogata dal corpo di frana, mentre la parte mancante, rispetto ai 270 L/s, pari a circa 215 L/s, è imputabile al contributo proveniente dall'idrostruttura della Maiella. Ciò conferma la probabile alimentazione al complesso idrogeologico del corpo di frana da parte della struttura carbonatica. A tal proposito, è chiaro che il quantitativo d'acqua attribuito alla ricarica del corpo di frana è circa 1/6-1/5 di quello che transita al suo interno (270 L/s).

Ciò trova conferma dal confronto delle analisi chimiche delle sorgenti provenienti dalla Maiella (F. dell'Orso) e quelle prevalentemente alimentate dal detrito di frana (F. di Nunzio,

F. La Fara e F. Cicuta). Infatti, è possibile notare la presenza di una miscelazione chimica degli ioni caratteristici quali cloruro, sodio e in parte solfati, dove le concentrazioni ioniche (meq/L) delle sorgenti alimentate dall'idrostruttura della Maiella risultano essere circa 1/6-1/5 di quelle alimentate dal corpo detritico.

4.2.3. Caratterizzazione della frana di Campo di Giove

Il campionamento del deposito di frana della *Rock Avalanche* di Campo di Giove è stato eseguito durante le attività di campagna svolte a Giugno, Luglio ed Agosto 2013. Successivamente, nei mesi di Ottobre, Novembre 2013 e Gennaio 2014, si è proceduto con analisi di laboratorio che hanno avuto come scopo principale quello di valutare la permeabilità del detrito di frana.

L'ubicazione dei siti di campionamento è ricaduta nelle zone definite prossimale, intermedia, distale e di run-up, rispetto all'area di distacco di Fondo Maiella. La scelta della suddivisione in zone del corpo detritico è stata effettuata in modo tale da avere campioni che siano rappresentativi dell'intera frana di Campo di Giove

A tal proposito, sono stati prelevati tre campioni (CG1, CG2 e CG3) nella zona distale, due nella zona intermedia (CG4 e CG5), due nella zona prossimale (CG6 e CG7) ed un ultimo nella zona più distale, ovvero quella di run-up (Figura 4.23).

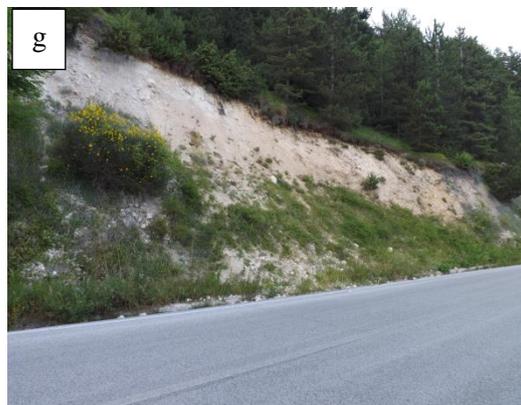


Figura 4.23 - Siti di campionamento della frana di Campo di Giove:
a) campioni CG1-CG2; b) campione CG3;
c) campione CG4; d) campione CG5; e) campione CG6; f) campione CG7;
g) campione CG8;

4.2.3.1 Caratterizzazione fisica ed idraulica

La caratterizzazione fisica ed idraulica del deposito detritico della *Rock Avalanche* di Campo di Giove è stata effettuata mediante l'analisi granulometrica, la determinazione del peso unità di volume del solido (γ_s), la prova di compattazione proctor e la prova di permeabilità.

Analisi Granulometrica e determinazione del γ_s

L'analisi granulometrica ha permesso di determinare la percentuale in peso di trattenuto e di passante delle frazioni granulometriche (Figura 4.24), ad ogni setaccio, il coefficiente di uniformità e di curvatura (Allegato X); mentre la determinazione del γ_s è risultata necessaria per la seconda fase dell'analisi granulometrica, ovvero quella del sedigrafo (Allegato XI). I risultati di queste prove sono riportati nella tabella seguente (Tabella 4.17):

Campione	Zona di campionamento	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	γ_s	C_u	C_c
		%	%	%	%	kN/m^3	ϕ_{60}/ϕ_{10}	$(\phi_{30})^2 / (\phi_{60} * \phi_{10})$
CG1	zona distale	58,50	28,02	9,90	3,60	25,79	216,42	8,80
CG2	zona distale	60,32	30,98	7,70	1,00	25,71	45,92	2,22
CG3	zona distale	77,76	16,74	3,80	1,70	26,11	37,61	3,24
CG4	zona intermedia	60,53	29,78	9,00	0,70	25,80	68,41	2,56
CG5	zona intermedia	58,69	26,48	8,50	6,30	25,55	307,46	5,98
CG6	vicino al cuneo	57,09	27,53	6,10	9,30	26,47	773,51	18,40
CG7	vicino al cuneo	61,80	29,50	5,20	3,50	25,85	38,36	3,35
CG8	molto distale	43,06	34,28	20,10	2,50	25,86	312,11	2,14

Tabella 4.17 – Risultati dell'analisi granulometrica e della determinazione γ_s (KN/m^3) dei campioni della frana di Campo di Giove.

I valori dei coefficienti di uniformità risultano essere molto elevati per i campioni CG1, CG5, CG6, CG8 e minori per gli altri, ma comunque tutti superiori a 20, ad indicare un materiale non uniforme e ben graduato. I coefficienti di curvatura dei campioni CG2, CG4 e CG8 sono compresi nell'intervallo 1-3, mentre i restanti (CG1, CG3, CG5, CG6 e CG7) sono superiori a 3, segnalando che le rispettive curve granulometriche sono caratterizzate da variazioni di pendenza dovute alla mancanza di alcuni diametri.

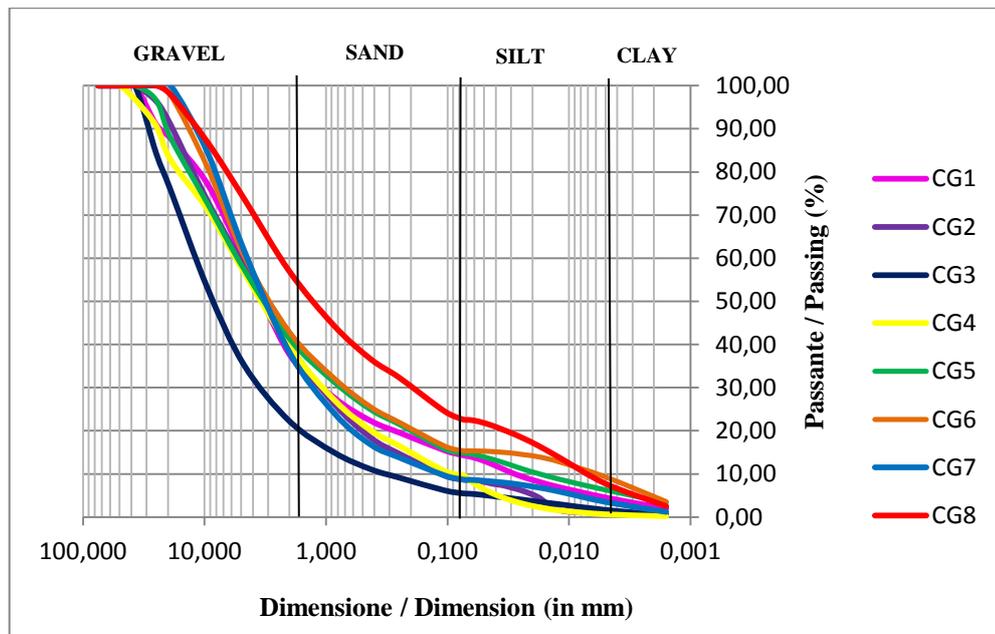


Figura 4.24 – Curve granulometriche dei campioni della frana di Campo di Giove.

Da tale grafico si nota che le curve granulometriche rappresentano un fuso granulometrico, delimitato dai campioni CG3 e CG8, il quale contiene variazioni percentuali delle frazioni granulometriche.

Il campione CG3 è costituito dal più alto contenuto di ghiaia pari al 77,76%, mentre il CG8 dal più alto contenuto di limo-argilla pari al 22,6 %. Quest'ultimo campione è stato prelevato nella zona di run-up, dove il flusso detritico ha subito un percorso maggiore con frammentazione più intensa, giustificando l'elevata percentuale della componente fine (~ 23%).

Inoltre, è possibile notare come i campioni ubicati nella zona vicina all'area di distacco (CG6 e CG7) e nella zona intermedia (CG4 e CG5) non mostrano tra loro elevate variazioni di percentuale: massimo il 5% per la ghiaia, il 4% per la sabbia e il 7 % per limo-argilla.

La configurazione delle curve granulometriche come fuso granulometrico è indice di un coinvolgimento nella frana di litotipi differenti, nella fattispecie, di calcari, calcari micritici e detritici del Cretaceo-Eocene (*Bianchi Fasani et alii, 2014*). Un'ulteriore spiegazione plausibile è quella che la massa detritica in movimento della frana di Campo di Giove, rispetto a quella di Lettopalena, ha interessato un'area più estesa raggiungendo distanze maggiori. Di conseguenza, i campioni sono stati prelevati in zone differenti, presentando distribuzioni granulometriche diverse da far assumere alle curve granulometriche la forma di un fuso.

Il campionamento di CG1, CG2 e CG3 è stato eseguito per analizzare la porzione distale del corpo di frana, ma soprattutto per interpretare e verificare le modalità di messa in posto del

flusso granulare. Infatti, i siti di campionamento in analisi, sono ubicati a diverse altezze di un taglio stradale sub-verticale, trasversalmente alla direzione di flusso; il primo nella porzione più bassa dell'affioramento, il secondo e il terzo via via in quella più alta (Figura 4.25).

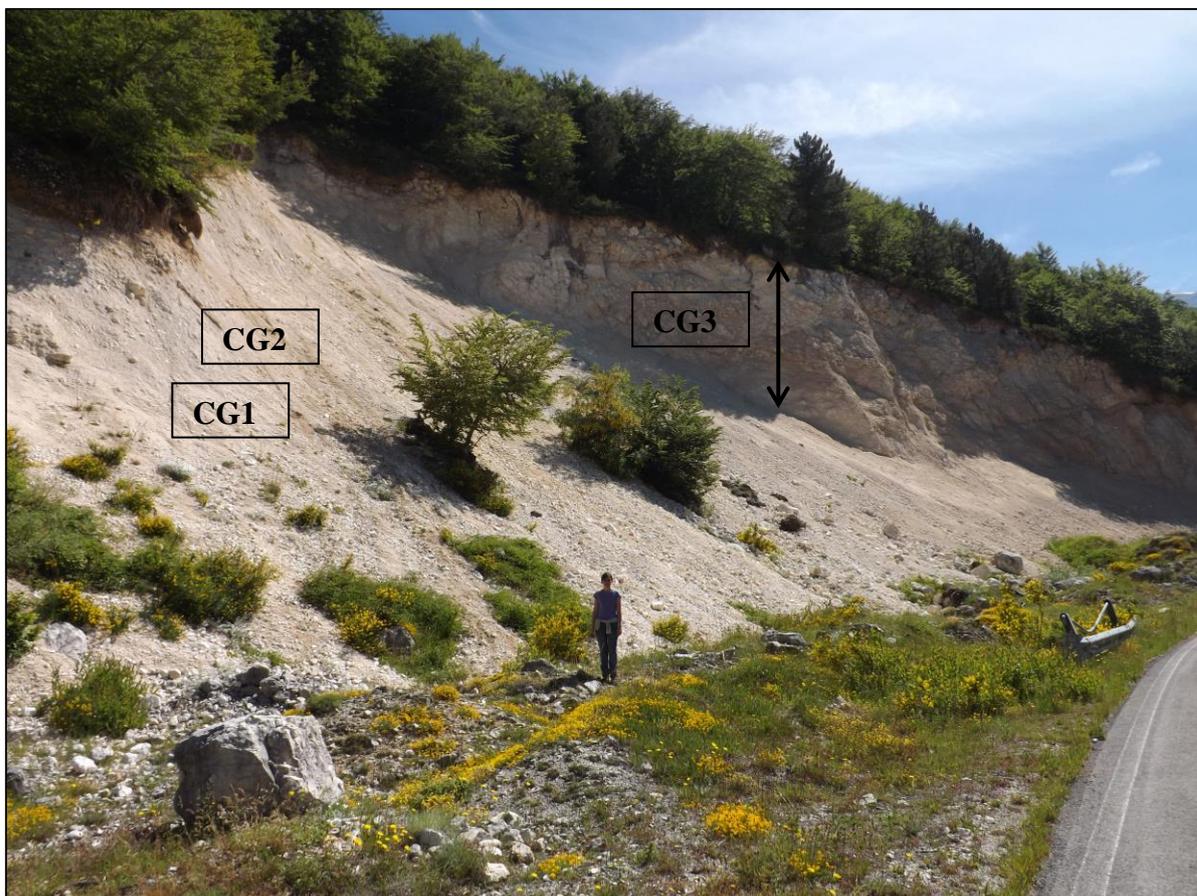


Figura 4.25 – Ubicazione dei campioni CG1, CG2 e CG3 nella zona distale del corpo di frana.

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi granulometriche, esclusivamente, dei campioni CG1, CG2 e CG3 (Figura 4.26):

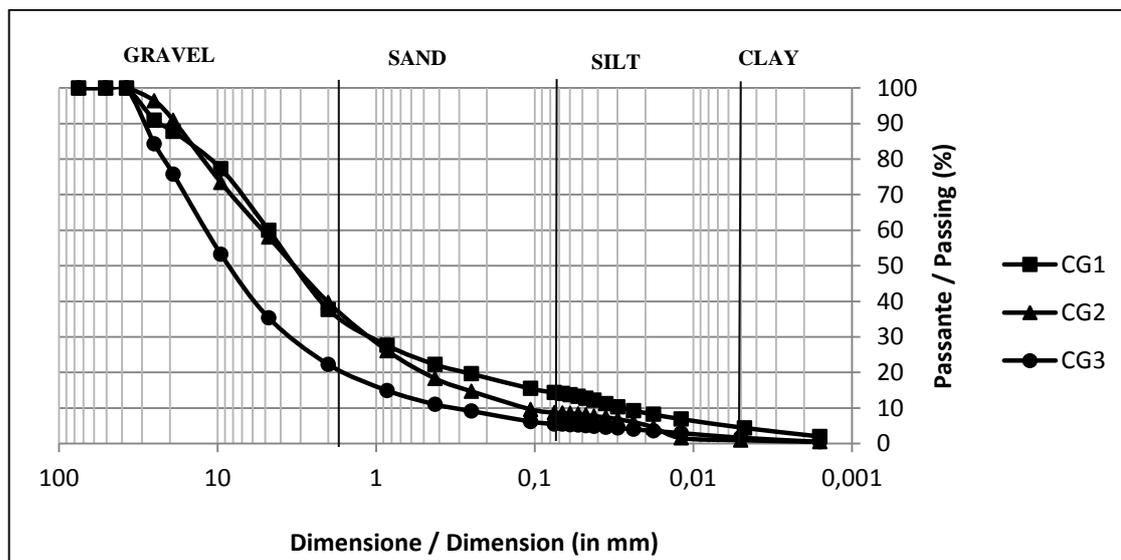


Figura 4.26 – Curve granulometriche dei campioni CG1, CG2 e CG3.

Si può notare che passando dalla porzione più bassa (CG1) a quella più alta (CG3) dell'affioramento si verifica un aumento della percentuale di ghiaia da 58,5% a 77,76%, mentre la percentuale di limo-argilla diminuisce da 13,5% a 5,5%. Tale trend rivela una gradazione inversa del deposito di *Rock Avalanche*, ovvero un aumento della componente grossolana verso l'alto.

I valori di γ_s (KN/m^3), ottenuti in laboratorio, mostrano una variazione massima di 1 KN/m^3 ed hanno un valore medio di $25,89 \text{ KN/m}^3$. Tali valori, analogamente a quelli di Lettopalena, risultano essere circa uguali a quello della calcite, pari a $26,58 \text{ KN/m}^3$, confermando una composizione del detrito in prevalenza carbonatica.

La classificazione dei terreni è stata eseguita con la *Unified Soil Classification System* e il diagramma triangolare sabbia-limo-argilla. La prima si basa sulle percentuali di trattenuto e/o passante ai setacci n. 200 e 4 ASTM, e sui coefficienti di uniformità e curvatura; mentre il triangolo tessiturale si basa sulle percentuali delle classi granulometriche normalizzate rispetto alla ghiaia, essendo quest'ultima trascurata nel triangolo.

Di seguito sono riportati i dati necessari alla classificazione USCS (Tabella 4.18):

Campione	Trattenuto	Passante	Limo	Argilla	Soil Classification	
	ASTM 200	ASTM 4				
	%	%				
CG1	86,5	63,4	9,9	3,6	SM	Silty sand with gravel
CG2	91,3	58	7,7	1	SW-SM	Well graded sand with silt and gravel
CG3	94,5	35,3	3,8	1,7	GW-GM	Well graded gravel with silt and sand
CG4	90,3	56,8	9	0,7	SW-SM	Well-graded sand with silt and gravel
CG5	85,2	57,5	8,5	6,3	SM	Silty sand with gravel
CG6	84,6	60,7	6,1	9,3	SC	Clayey sand with gravel
CG7	91,3	62	5,2	3,5	SW-SM	Well-graded sand with silt and gravel
CG8	77,3	73,9	20,1	2,5	SM	Silty sand with gravel

Tabella 4.18 – Classificazione USCS dei campioni della frana di Campo di Giove.

Da tale classificazione risulta che alcuni campioni sono definiti *sabbie limose con ghiaia* (CG1, CG5 e CG8) e *sabbie argillose con ghiaia* (CG6), mentre altri come *sabbie ben graduate con limo e ghiaia* (CG2, CG4 e CG7) e *ghiaia ben graduata con limo e sabbia* (CG3). Ciò conferma l'elevata percentuale di sabbia, che appunto assegna il nome al gruppo, ad eccezione del campione CG3, il cui nome al gruppo è conferito dal maggior contenuto di ghiaia.

Nella tabella seguente sono riportate le percentuali normalizzate di sabbia-limo-argilla rispetto alla ghiaia (Tabella 4.19).

Campione	Triangolo tessiturale		
	Sabbia	Limo	Argilla
	%	%	%
CG1	67,5	23,8	8,7
CG2	78,1	19,4	2,5
CG3	75,3	17,1	7,6
CG4	75,4	22,8	1,8
CG5	64,1	20,6	15,3
CG6	64,1	14,2	21,7
CG7	77,2	13,6	9,2
CG8	60,3	35,3	4,4

Tabella 4.19 – Percentuali normalizzate rispetto alla ghiaia dei campioni della frana di Campo di Giove.

Tali percentuali sono raffigurate nel triangolo tessiturale e confrontate con quelle riportate nel contributo di *Bianchi Fasani (2014)*, relative ad alcune *Rock Avalanches* storiche dell'Appennino centrale: Lettopalena, Scanno, Celano, M. Arezzo e la stessa Campo di Giove (Figura 4.27).

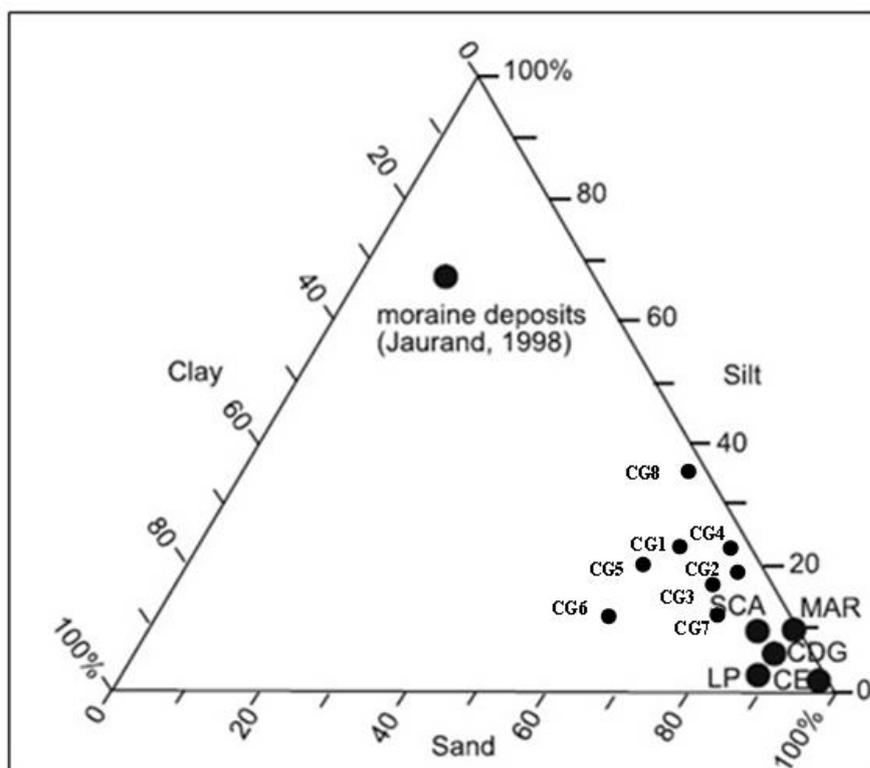


Figura 4.27 – Triangolo tessiturale relativo ai depositi di frana di Campo di Giove.

Da tale triangolo è evidente che i campioni sono caratterizzati da una componente sabbiosa maggiore. Infatti, il detrito di frana è immerso in una matrice calcarea prevalentemente sabbiosa con valori che variano da circa il 60% (CG8) al 78% (CG2) ed una percentuale di materiale fine (frazione limosa-argillosa) non superiore al 40%. Quest'ultima percentuale risulta più alta rispetto a quella di *Bianchi Fasani et alii (2014)* che è pari al 20%, tale disparità, analogamente alla frana di Lettopalena, è funzione del diverso sito di campionamento, e quindi, della diversa distanza compiuta dal flusso detritico rispetto all'area di distacco di Fondo Maiella. Per lo stesso motivo e per le differenti litologie interessate, risulta esserci una dispersione dei dati rispetto a quelli di Scanno, Lettopalena, Celano e M. Arezzo.

La percentuale di materiale fine, massima del 40%, se confrontata con il 70% di limo, presente nella tessitura dei depositi morenici di Campo Imperatore (massiccio del Gran Sasso, AQ) (*Jaurand, 1998*), è indicativa dell'improbabile origine glaciale dei depositi.

Prova di compattazione proctor

La prova Proctor è stata condotta con lo scopo di ricavare la densità del terreno necessaria all'esecuzione della successiva prova di permeabilità. I campioni sono stati scelti sulla base della loro ubicazione nei diversi settori del corpo di frana. A tal proposito, sono stati selezionati tre campioni: CG1 nella zona distale, CG6 nella zona prossimale e CG8 nella zona di run-up, orientata N-S.

A causa della disponibilità in laboratorio della sola fustella di diametro 4", le percentuali delle frazioni granulometriche sono state normalizzate rispetto ai 3/8". Sulla base delle nuove percentuali, i terreni sono stati riclassificati per definire il tempo minimo di riposo al quale il campione deve essere mantenuto in umido. Tale tempo è stato di 3 ore per CG1 e CG6, mentre per CG8 di 16 ore data la maggiore componente fine.

In assenza di un quantitativo minimo di materiale necessario per la prova, si è deciso di incrementare CG1 con CG3, che è ubicato nella medesima zona; mentre il CG8 è stato implementato con la componente fine (limo-argilla) degli altri campioni. Il quantitativo di terreno aggiunto è stato determinato, sulla base del nuovo peso totale di terreno, ricalcolando le percentuali di ogni classe granulometrica; la percentuale mancante, rispetto al campione di partenza, è stata colmata con i campioni sopra menzionati.

Il campione CG1 è stato inumidito con un primo contenuto d'acqua pari al 7% e con incrementi successivi del 2,5%, per un totale di quattro determinazioni; mentre il CG6 con il 7% di acqua e con valori aggiuntivi dell'1,5% e dell'1%. Ed infine, il CG8 è stato sottoposto a tre determinazioni con contenuti d'acqua pari a 9 - 11,5 e 14%.

I risultati di tale prova sono stati rappresentati in grafici, dove in ascissa è riportato il *contenuto d'acqua* e in ordinata *la densità secca (g/cm^3)*, ottenendo la cosiddetta curva di compattazione (Allegato XII). Da queste curve sono stati individuati i valori del peso del secco per unità di volume (*maximum*) corrispondenti ad un determinato contenuto d'acqua (*optimum*) (Tabella 4.20).

<i>Campione</i>	<i>Maximum</i>	<i>Optimum</i>
	$\gamma_d (g/cm^3)$	w (%)
CG1	2,12	8,8
CG6	2,04	10,6
CG8	2,005	11,4

Tabella 4.20 – Risultati della prova proctor dei campioni CG1, CG6 e CG8.

Prova di permeabilità

La prova di permeabilità per la frana di Campo di Giove è stata eseguita per giustificare il ruolo di transfer idrico, nei confronti delle acque provenienti dall'idrostruttura della Maiella, e quello di acquifero superficiale. Tale prova è stata condotta riproducendo, in laboratorio, le condizioni di *maximum* e *optimum* ottenute dalla prova di compattazione.

La condizione di *optimum* è stata mantenuta per un tempo minimo di 3 ore per CG1 e CG6 e di 16 ore per CG8. In seguito, il terreno è stato inserito all'interno della fustella, suddividendolo in tre strati, ognuno dei quali sottoposto a 25 colpi.

Prima dell'esecuzione della prova, i campioni sono stati portati a saturazione sottoponendoli ad un carico idraulico costante: 136,7 cm ($H_1-H_2= 164-27,3$ cm) per CG1; 150,7cm ($H_1-H_2= 164,3-13,6$) per CG6; 150,1 cm ($H_1-H_2= 164,4-14,3$ cm) per CG8. Una volta raggiunta tale condizione si è dato inizio alla prova con rubinetti aperti.

Il numero di determinazioni, per ogni campione, sono dipese dal tempo necessario alla k (m/s) di tendere ad un valore costante: 18 e 14 rispettivamente per CG1 e CG3 e 10 per CG8; il tempo di misura per ogni determinazione è stato di circa 10 minuti (Allegato XIII).

I valori medi dei coefficienti di permeabilità k (m/s) dei campioni del detrito di frana di Campo di Giove sono riportati nella tabella seguente (Tabella 4.21):

<i>Campione</i>	<i>Zona di campionamento</i>	<i>k medio (m/s)</i>
<i>CG6</i>	<i>zona prossimale</i>	$9,05 \cdot 10^{-7}$
<i>CG1</i>	<i>zona distale</i>	$4,83 \cdot 10^{-7}$
<i>CG8</i>	<i>zona di run-up (N-S)</i>	$1,41 \cdot 10^{-8}$

Tabella 4.21 – Valori del coefficiente di permeabilità k (m/s) del detrito di frana di Campo di Giove.

Si notano valori di permeabilità media sia nella zona prossimale che in quella distale, mentre nella zona di run-up un valore di permeabilità medio-basso, giustificato dalla maggiore percentuale di limo-argilla.

CONCLUSIONI

Lo studio condotto nei bacini dei fiumi Aventino e Vella si è basato sull'applicazione di metodologie multidisciplinari, il cui confronto ha permesso di esaminare e validare i risultati ottenuti mediante le diverse tecniche d'indagine. La finalità principale di questo lavoro è stata quella di analizzare i rapporti tra alimentazione, circolazione idrica superficiale/sotterranea e i depositi di *Rock Avalanches* di Lettopalena e Campo di Giove. Infatti, i versanti orientale e occidentale della Maiella sono interessati da estesi corpi detritici che modificano l'assetto idrogeologico dell'area in esame, favorendo lo sviluppo di percorsi preferenziali di veicolazione e stoccaggio della risorsa idrica sotterranea.

È stato possibile verificare un modello di circolazione idrica sotterranea e superficiale, proposto da precedenti autori (*Celico, 2001; Nanni & Rusi, 2003*), sulla base della raccolta di dati relativi all'idrogeologia quantitativa e alle caratteristiche idrogeochimiche ed isotopiche delle acque delle principali sorgenti riconosciute. A tal proposito, l'interpretazione dei dati idrogeochimici ed isotopici forniscono un contributo basilare alla conoscenza idrogeologica e, in particolare, alla ricostruzione delle modalità di alimentazione e circolazione delle acque, purché sia noto un modello idrogeologico di riferimento, basato su dati quantitativi e sull'assetto geologico-strutturale.

La realizzazione diretta delle misure di portata in diverse sezioni lungo i corsi d'acqua, ha permesso di determinare come variano nel tempo e nello spazio i rapporti d'interazione fiume-falda e di riconoscere eventuali settori drenanti e/o in perdita. Le analisi chimiche, invece, hanno consentito di ottenere informazioni sulla miscelazione e sul percorso idrico delle acque sotterranee, mentre le analisi isotopiche hanno permesso di avanzare ipotesi sulle possibili aree di alimentazione.

Ulteriori metodi di studio dell'area in esame hanno interessato i corpi detritici di frana, al fine giustificare il ruolo idrogeologico svolto da tali corpi nei confronti delle acque provenienti dalle idrostrutture limitrofe. Le prove di laboratorio che hanno permesso la caratterizzazione fisica e meccanica dei depositi di frana sono: l'analisi granulometrica, la determinazione del peso per unità di volume del solido, la prova di compattazione proctor e la prova di permeabilità.

La presente tesi, quindi, propone due esempi dei risultati delle diverse metodologie d'indagine adottate per l'analisi dei bacini esaminati, ovvero quelli dei fiumi Aventino e Vella.

Bacino del Fiume Aventino

Nel bacino del fiume Aventino, le misure di portata hanno evidenziato una infiltrazione totale delle acque del corso fluviale nel detrito di frana di Lettopalena, nel tratto compreso tra Ponte Romano e l'emergenza del gruppo sorgivo di San Giustino. Il contributo di quest'ultimo risulta essere preponderante a tal punto da far incrementare la portata del fiume, a valle del deposito detritico, di circa 1000 L/s.

Le concentrazioni ioniche delle emergenze hanno permesso di classificare le acque della sorgente Capo di Fiume e San Giustino come bicarbonato-calciche. Quest'ultime mostrano un elevato contenuto di solfati, relazionabile al miscelamento, in prossimità dell'emergenza, con le acque circolanti nella formazione Gessoso-Solfifera.

Dalle analisi isotopiche risulta che l'area di ricarica della sorgente Capo di Fiume è prevalentemente attribuibile all'idrostruttura del M. Porrara e solo in parte all'inghiottitoio carsico di Quarto Santa Chiara. Invece, i risultati delle analisi isotopiche per le sorgenti di San Giustino evidenziano come area di alimentazione l'idrostruttura della Maiella.

Le analisi granulometriche, condotte sulla tessitura dei depositi della *Rock Avalanche* di Lettopalena, hanno evidenziato come il contenuto della frazione siltosa-argillosa si attesti intorno a valori non superiori al 45%, rispetto a valori più elevati di depositi morenici e/o fluvio-glaciali, come ad esempio 70% di limo presente nei depositi morenici di Campo Imperatore (AQ) (*Jaraund, 1998*). La prova di permeabilità, condotta sul campione LP3-LP4, ha restituito un coefficiente di permeabilità k (m/s) pari a $1,4 \cdot 10^{-6}$ m/s. Tale valore di permeabilità, considerato medio, è indicativo di una *sabbia/ghiaiosa limosa*.

Bacino del Fiume Vella

Nel bacino del Fiume Vella, invece, le misure di portata hanno permesso di valutare i contributi delle numerosi sorgenti emergenti sia nel cumulo detritico sia esternamente a tale corpo. Dall'analisi idrogeologica, si è riscontrato che nonostante il contributo delle sorgenti sia modesto, le portate misurate a valle di queste sembrano essere piuttosto cospicue, a segnalare, quindi, una interazione tra la falda e il fiume. A tal proposito, tra alcune sezioni si sono verificati ulteriori drenaggi in alveo (V9) e in altre, invece, delle perdite (V4 e V6).

Le sorgenti campionate, classificate come acque bicarbonato-calciche, sono caratterizzate da un aumento delle concentrazioni ioniche di sodio, potassio e cloruri, il quale si evidenzia nelle emergenze ubicate a quote più basse (F. di Nunzio). Infatti, tale incremento è imputabile prevalentemente al percorso idrico sotterraneo compiuto, ossia all'entità di interazione delle acque con i depositi detritici della frana di Campo di Giove.

I risultati delle analisi isotopiche evidenziano come area di ricarica l'idrostruttura della Maiella, poiché le sorgenti in esame hanno valori di quota di ricarica isotopica maggiori rispetto a quella di ubicazione del corpo di frana.

Le analisi granulometriche condotte sui depositi di tali corpi, analogamente a quelli di Lettopalena, mostrano una matrice prevalentemente sabbiosa ed una percentuale di limo-argilla inferiore al 40%, escludendo una ipotetica origine glaciale, che invece si verifica con percentuali di limo superiori al 70% (*Jaraund, 1998*). Inoltre, a confermare la natura detritica del deposito, dovuta all'evento di *Rock Avalanche*, c'è la distribuzione granulometrica dei campioni CG1, CG2, CG3. Tali campioni, ubicati a quote via via maggiori in un taglio antropico, trasversale alla direzione di flusso, mostrano un aumento ed una diminuzione, verso l'alto, rispettivamente, della percentuale di ghiaia-sabbia e limo-argilla, ad indicare una locale gradazione inversa del deposito.

Le prove di permeabilità sono state condotte per i campioni CG1, CG6 e CG8, dove i primi sono ubicati nella zona distale e prossimale, mentre il terzo nella zona di run-up, orientata N-S. I coefficienti di permeabilità valutati sono stati definiti medi per le zone prossimale e distale e, rispettivamente, pari a $9,05 \cdot 10^{-7}$ m/s e $4,83 \cdot 10^{-7}$ m/s. Invece, un valore medio-basso per il campione situato nella zona più distale, pari a $1,41 \cdot 10^{-8}$ m/s, ascrivibile ad una percentuale di fine maggiore.

Tali valori, seppur non molto alti, giustificano il ruolo idrico di bypass svolto dal corpo di frana di Campo di Giove, nei confronti delle acque provenienti dalla struttura carbonatica della Maiella, ma anche quello proprio di acquifero superficiale. A tal proposito, dalle misure di portata, si è riscontrato che tale corpo funge da serbatoio idrico, erogante un flusso di base medio (Giugno-Agosto) di circa 270 L/s. In realtà, non tutta questa portata è attribuibile al corpo di frana.

Infatti, considerando un valore di infiltrazione efficace di 300 mm/anno, indicativo di un deposito detritico, si è stimata una portata, erogata dal corpo di frana, pari a 54 L/s. La parte mancante, rispetto ai 270 L/s, invece, è imputabile al contributo dell'acquifero carbonatico della Maiella, la cui veicolazione è garantita dal ruolo di transfer idrico svolto dal deposito della *Rock Avalanche* di Campo di Giove.

I risultati ottenuti nello studio condotto nei bacini dei fiumi Aventino e Vella, hanno permesso di evidenziare come l'integrazione di differenti metodologie d'indagine e la validazione dei risultati ottenuti possano essere determinanti per chiarire il ruolo dei depositi di *Rock Avalanche*, diffusi nell'Appennino carbonatico Laziale-Abruzzese.

BIBLIOGRAFIA

ACCORDI G. & CARBONE F. (1988) - *Carta delle litofacies Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe*. Quaderni la ricerca scientifica, 114 (5).

ADINOLFI FALCONE R., FALGIANI A., PARISSÉ B., PETITTA M., SPIZZICO M. & TALLINI M. (2008) – *Chemical and isotopic ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$, $\delta^2\text{H}\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$, ^{222}Rn) multi-tracing for groundwater conceptual model of carbonate aquifer (Gran Sasso INFN underground laboratori – central Italy)*. Journal of Hydrology, **357**, 368-388.

AGOSTINI S. & ROSSI M.A. (1992) – *Il carsismo della Majella (Abruzzo)*. Legrotte d'Italia, 16, 31-40.

BAKALOWICZ M. (1995) – *La zone d'infiltration des aquifers karstiques. Méthodes d'étude*. Structure et fonctionnement. Hydrogéologie, 4, 3-21.

BARBIERI M., PETITTA M., D'AMELIO L., DESIDERIO G., RUSI S., MARCHETTI A., NANNI T. & TALLINI M. (2003) – *Gli isotopi ambientali (^{18}O , ^2H , e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) nelle acque sorgive dell'appennino Abruzzese: considerazioni sui circuiti sotterranei negli acquiferi carbonatici*. Atti I° Convegno Nazionale AIGA, 69-81.

BARBIERI M., PETITTA M. & TALLINI M. (2005) - *Stable isotopes (^2H , ^{18}O and $^{87}/^{86}\text{Sr}$) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy)*. Applied Geochemistry, **20 (11)**, 2063-2081.

BIANCHI FASANI G. (2004) – *Grandi frane in roccia: fenomenologia ed evidenze di terreno*. Tesi di Dottorato, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi di Roma “La Sapienza”.

BIANCHI FASANI G., ESPOSITO C., PETITTA M., RUSI S. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2006) – *Influenza dei depositi di frana sulla circolazione idrica sotterranea della Maiella (Abruzzo)* – Atti della 83° riunione estiva della SGI, 187-191.

BIANCHI FASANI G., DI LUZIO E., ESPOSITO C., MARTINO S. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2011) – *Numerical modelling of Plio-Quaternary slope evolution based on geological constraints: a case study from the Caramanico Valley (Central Apennines, Italy)*. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 351, 201–214.

BIANCHI FASANI G., DI LUZIO E., ESPOSITO C., EVANS S.G. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2014) - *Quaternary, catastrophic rock avalanches in the Central Apennines (Italy): Relationships with inherited tectonic features, gravity-driven deformations and the geodynamic frame*. Geomorphology 211, 22–42

BONI C. (1973) – *Lineamenti idrogeologici dell'Appennino carbonatico laziale-abruzzese (primi risultati della campagna 1970-72)*. Atti del II Convegno Internazionale sulle acque sotterranee, Palermo.

BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell' Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, Roma.

BORTOLAMI G. (1977) – *Utilizzazione degli isotopi ambientali in idrogeologia, PARTE 1: Gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno*. Boll. della Associazione Mineraria Subalpina, A14, n.1, 33-52.

CATENACCI V. (1974) – *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000, foglio 147 – Lanciano*. Serv. Geol. It.

CAVINATO G.P. & DE CELLES P.G. (1999) – *Extensional basins in the tectonically bimodal central Apennines fold-thrust belt, Italy: response to corner flow above a subducting slab in retrograde motion*. Geology, 27, 955-958.

CELARDI M. (2006) – *Cartografia idrogeologica ed assetto idrostrutturale delle dorsali carbonatiche dell'Abruzzo orientale*. Tesi di laurea, inedita, a.a. 2005-2006, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi di Roma “La Sapienza”.

CELICO F. (2001) - *Interventi di captazione e di protezione di acquiferi carsici dell'Italia centro-meridionale: il bacino campione del Monte Porrara (Abruzzo)*. Università degli Studi del Molise. Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'ambiente e il territorio.

CELICO P. (1978) – *Schema idrogeologico dell' Appennino carbonatico centro-meridionale*. Memorie e Note dell' Istituto di Geologia Applicata, 14, Napoli.

CELICO P. (1979) – *Idrogeologia di alcune zone dell' Italia centro-meridionale*. Memorie e note dell' Istituto di Geologia Applicata, 15, Napoli.

CELICO P., BARTOLOMEI C. & PECORARO A. (1980) – *Rapporti tra la struttura ed idrogeologia in alcuni massicci carsici dell' Abruzzo: risultati di alcune indagini geognostiche*. Boll. Soc. Natur. Di Napoli, 89, 219-231.

CELICO P. (1983) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell' Italia centro-meridionale*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, 4(2), Roma.

CELICO P. (1986) - *Prospezioni idrogeologiche*. Liguori Editore, vol. 1 e vol.2, Napoli.

CELICO P. (2003) – *Elementi di idrogeologia*. Liguori Editore, Napoli.

CELICO P., GONFIANTINI R., KOIZUMI M. & MANGANO F. (1984) – *Environmental isotope studies of limestone aquifers in central Italy*. IAEA SM 270-84.

CENTAMORE E., ADAMOLI L., BERTI D., BIGI G., BIGI S., CASNEDI R., CANTALAMESSA G., FUMANTI F., MORELLI C., MICARELLI A., RIDOLFI M. & SALVUCCI R. con la collaborazione di CHIOCCHINI M., MANCINELLI A., POTETTI M. & CHIOCCHINI U. (1992) – *Carta geologica dei bacini della Laga e del Cellino e dei rilievi carbonatici circostanti (Marche meridionali, Lazio nord orientale, Abruzzo settentrionale, S.EL.CA., Firenze, Italy*.

CINTI G., DONATI A. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2001) - *La grande frana di Monte Arezzo (Abruzzo)*. Mem. Soc. Geol. It. 56, pp. 41-50.

CIPOLLARI P., COSENTINO D., DI BELLA L., GLIOZZI E. & PIPPONZI G. (2001) - *La sezione di Fonte dei Pulcini (Maiella meridionale): sezione di riferimento per il limite Miocene-Pliocene nella successione preorogena dell'avampaese adriatico*. Final proc. Geitalia 2001, 3° Forum Italiano di Scienze della Terra. Chieti, Italy, pp. 237-239.

CIVITA M. (1972) – *Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Univ. Napoli, 12, 2-33.

CLARK I. & FRITZ P. (1997) – *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, New York, 328 pp.

CONESE M., NANNI T., PEILA C., RUSI S. & SALVATI R. (2001) – *Idrogeologia delle montagna del Morrone (Appennino Abruzzese): dati preliminari*. Mem. Soc. Geol. It., 56, 181 – 196.

COSENTINO D., CIPOLLARI P., MARSILI P. & SCROCCA D. (2010) - *Geology of the central Apennines: a regional review*. In: Beltrando, M., Peccerillo, A., Mattei, M., Ponticelli, S., Dogliosi, C. (Eds.), *The Geology of Italy*, Electronic Edition. Journal of the Virtual Explorer, 36.

CRAIG H. (1961) - *Isotopic variation in meteoric waters*. Science, 133, 1702-1703.

CRESCENTI U. (1969 a) – *Biostratigrafia delle facies mesozoiche dell'Appennino centrale: correlazioni*. Geologica romana, 8, pp. 15 – 40.

CRESCENTI U. (1969 b) – *Stratigrafia della serie calcarea dal Lias al Miocene nella regione marchigiano – abruzzese (Parte I. Descrizione delle serie stratigrafiche)*. Mem. Soc. Geol. It., 8, pp. 155 – 204.

CRESCENTI U. (1971) – *Sul limite Miocene – Pliocene in Italia*. Geolog. Rom., Vol. X, 1-22.

CROSTELLA A. (1967) – *Rapporti fra serie autoctona e serie alloctona nell'Alto Aventino (Abruzzi sud-orientali)*. Mem. Soc. Geol. It., 6, 121-136.

CROSTELLA A. & LANZAVECCHIA S. (1962) – *La distribuzione del Paleogene sulla Montagna della Maiella*. Mem. Soc. Geol. It., 3, 447-460.

DANESE. E. (1999) – *Upper Miocene carbonate ramp deposits from the southernmost part of the Maiella mountain (Abruzzo, central Italy)*. Facies, 41, pp. 41 – 54.

D'AMICO G. (1991) – *Idrogeologia del massiccio carsico della Maiella con particolare riguardo ai bacini idrogeologici delle principali sorgenti carsiche*. Tesi di laurea inedita, Università di Bologna.

D'ANDREA M., MICCADEI E. & PRATURLON A. (1992) - *Rapporto tra il margine orientale della piattaforma Laziale-abruzzese e quello occidentale della piattaforma Morrone-Rotella*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1991/2, pp. 389-395.

DE CELLES P.G. & GILES K.A. (1996) - *Foreland basin system*. Basin research 8, pp. 105-123.

DEMANGEOT J. (1965) – *Gèomorphologie des Abruzzes adriatiques*. Thèse, Paris, C.N.R.S. (coll. “Memories et Documents”, numéro hors-série), 403 pp.

DESIDERIO G., RUSI S. & NANNI T. (2002) – *Idrogeologia e qualità delle acque degli acquiferi della conca intramontana di Sulmona (Abruzzo)*. Atti I Congresso Nazionale AIGA, Chieti, 19-20 Febbraio 2003, 315-342.

DESIDERIO G., FERRACUTI L., RUSI S. & TATANGELO F. (2005) – *Il contributo degli isotopi naturali ^{18}O e 2H nello studio delle idrostrutture carbonatiche abruzzesi e delle acque mineralizzate nell'area abruzzese e molisana*. Giornale di Geologia Applicata, 2, 453-458.

DI LUZIO E., BIANCHI FASANI G., ESPOSITO C., SAROLI M., CAVINATO G.P. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2003) - *Massive rock-slope failure in the Central Apennines (Italy): the case of the Campo di Giove rock avalanche*. Bull. Eng. Geol. Env. 63:1–12.

DI LUZIO E., SAROLI M., ESPOSITO C., BIANCHI FASANI G., CAVINATO G.P. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2004) - *The influence of inherited structural framework on deep-seated gravity deformation phenomena: the fault-bounded Majella anticline (central Apennines, Italy)*. Geomorphology 60, 417–432.

DOGLIONI C. (1991) - *A proposal of kinematic modelling for W-dipping subductions: possible applications to the Tyrrhenian-Apennines system*. Terra Nova 3, pp. 423-434.

DONZELLI G. (1969) – *Studio geologico della Maiella*. Edited by Crescenti U., (1997). Università degli Studi G. D' Annunzio, Chieti, Italy, 49 pp.

DONZELLI G. (1998) – *Studio geologico della Maiella*. Dipartimento di Scienze della Terra, Chieti.

GAT J.R. & CARMI I. (1970) - *Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area*. J. Geoph. Res., 75, 3039-3048.

GAT J. R., MOOK W.G. & MEIJER H.A.J. (2001) - *Atmospheric waters*. In: “Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. Principles and Applications”. Vol. II. IAEA e UNESCO.

GHISETTI F., FOLLADOR U., CASNEDI R. & VEZZANI L. (1994) – *Assetto tettonico delle zone esterne dell' Appennino abruzzese: elementi di analisi stratigrafico – strutturali*. Atti Tic. Sc. Terra (Serie Speciale) **2**, 5-43.

GHISETTI F. & VEZZANI L. (1997) – *Geometrie deformative ed evoluzione cinematica dell' appennino centrale*. Studi Geologici Camerti, XIV (1996-97), 127-154.

GHISETTI F. & VEZZANI L. (1999) - *Depth and modes of Pliocene-Pleistocene crustal extension of the Apennines (Italy)*. Terra Nova, 11, pp. 67-72.

GHISETTI, F. & VEZZANI L. (2002) - *Normal faulting, extension and uplift in the outer thrust belt of the central Apennine (Italy): role of the Caramanico fault*. Basin Research 14, pp. 225-236.

GIRAUDI C. (1998) – *Nuovi dati sul glacialismo della Montagna della Maiella (Abruzzo – Italia centrale)*. Il Quaternario 11(2), pp. 256-271.

JAUROUD E.M. (1998) - *Les glaciers disparus de l' Apennin*. PhD Thesis, Publications de La Sorbonne, Paris (France), 382 pp.

LONGINELLI A. & SELMO E. (2003) – *Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map*. Journal of Hydrology, 270, 75-88.

LONGINELLI A. & SELMO E. (2010) – *Isotope geochemistry and the water cycle: a short review*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It., XC, 153-164.

MALINVERNO A. & RYAN W.B.F. (1986) - *Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics 5, pp. 227 - 245.

MANFREDINI M. (1974) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, foglio 153 Agnone*. Serv. Geol. It., Roma.

MICCADEI E., BARBIERI R. & CAVINATO G.P. (1998) - *La geologia quaternaria della conca di Sulmona (Abruzzo, Italia Centrale)* - Geologica Romana, 34, pp. 59-86.

MORSILI M., RUSCIADELLI G. & BOSELLINI A. (2002) - *Large-scale gravity driven structures: control on margin architecture and related deposits of a Cretaceous carbonate platform (Montagna della Majella, Central Apennines, Italy)*. Boll Soc Geol Ital 1:619 – 628.

MOSTARDINI G. & MERLINI S. (1986) – *Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 177-202.

NANNI T. & RUSI S. (2003) – *Idrogeologia del massiccio carbonatico della montagna della Majella (Appennino centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., 122, pag. 173-202.

NICHOL L., HUNGR O. & EVANS S.G. (2002) - *Large-scale brittle and ductile toppling of rock slopes*. Can. Geotech. J., 39, pp. 773-788.

NICOLETTI P.G., PARISE M. & MICCADEI E. (1993) - *The Scanno rock avalanche (Abruzzi, South- Central Italy)*. Boll. Soc. Geol. It. 112, pp. 523-535.

NICOLETTI P.G. & SORRISO-VALVO M. (1991) - *Geomorphic controls of the shape and mobility o rock avalanches*, G.S.A. Bulletin 103, pp. 1365-1373.

PAOLUCCI G., PIZZI R. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2001) – *Analisi preliminare della frana di Lettopalena (Abruzzo)*. Mem. Soc. Geol.It., 56, pag. 131-137.

PARATORE E. (1972) – Tipi morfologici carsici sulla Maiella(Abruzzo). Rivista dell’Istituto di Studi Abruzzesi, 10-1, 73-94.

PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*. In: Boriani, A., Bonafede, M., Piccardo, G.B., Vai, G.B. (Eds), *The lithosphere in Italy. Advances in Earth Sciences Research. It. Nat. Comm. Int. Lith. Progr., Mid-term Conf., Rome 5-6 May 1987, Atti Conv. Lincei*, 80, pp. 157-176.

PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1991) - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geologici Camerti special volume CROP 11, 2, pp. 417-441.

PETITTA M. & TALLINI M. (2003) - *Groundwater resources and human impacts in a Quaternary intramontane basin: the case study of the L’Aquila Plain (Central Italy)*. Water International 28: 57–69.

REGIONE ABRUZZO (2008) – *Il Piano di Tutela delle Acque. Allegato A 1.3, Bilancio idrologico e idrogeologico*. Regione Abruzzo. Servizio acque e demanio idrico.

ROZANSKI K., ARAGUÁS L. & GONFIANTINI R. (1993) – *Isotopic patterns in modern global precipitation*. In: *Climate Change in Continental Isotopic Records*, ed. by P. K. Swart, K. C. Lohman, J. McKenzie & S. Savin, 1-37. Geophysical Monograph 78, American Geophysical Union.

RUSI S. (1999) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici dell’ Appennino centrale : l’ esempio della Maiella. Caratteri idrodinamici, idrochimici, idrologici e influenze dell’ assetto lito-strutturale sulla circolazione idrica*. Tesi del dottorato di ricerca in “Geologia Applicata, Geomorfologia e Idrogeologia”, XII Ciclo, Università degli Studi di Perugia.

RUSI S. (2005) – *Influenza chimico fisica dello scioglimento delle nevi sulle acque delle grandi sorgenti del Massiccio della Majella (Italia Centrale) e suo contributo nella valutazione della vulnerabilità*. Dipartimento di Scienze della Terra, Università G. D’Annunzio, Chieti-Pescara.

SCARASCIA MUGNOZZA G., BIANCHI FASANI G., ESPOSITO C., MARTINO S. & SAROLI M. (2006) – *Rock avalanche and mountain slope deformation in a convex dip-slope: the case of the Maiella Massif, Central Italy*. *Landslides from Massive Rock Slope Failure*, 357-376.

SCHOELLER H. (1935) – *Utilité de la notion des échanges de bases pour la comparaison des eaux souterraines*. *Bull. Soc. Geol. De France*, 5.

SCISCIANI V., CALAMITA F., BIGI S., DE GIROLAMO C. & PALTRINIERI W. (2000) – *The influence of syn-orogenic normal faults on Pliocene thrust system development: the Maiella structure (central Apennines, Italy)*. *Mem. Soc. Geol. It.* 55, pp. 193 – 204.

SOCIETA' GEOLOGICA ITALIANA (2003) – *Guida Geologica Regionale (Abruzzo)*.

VARNES D. J., RADBRUCH-HALL D., VARNES K.L., SMITH W.K. & SAVAGE W.Z. (1990) - *Measurements of ridge-spreading movements (“Sackungen”) at Bald Eagle Mountain, Lake County, Colorado, 1975-1989*. U.S. Geological Survey Open-File Report, pp 90-543, 13 pp.

VECSEI A. (1991) - *Aggradation und Progradation eines Karbonatplattform-Randes: Kreide bis Mittleres Tertiär der Montagna della Maiella, Abruzzo*. *Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule und der Universität Zürich, Neue Folge*, 294 pp.

VEZZANI L. & GHISSETTI F. (1998) – *Carta Geologica dell’Abruzzo, scala 1:100.000*. S.EL.CA. Firenze.

YURTSEVER Y. & GAT G.R. (1981) – *Atmospheric waters*. In: Gat J.R., Gonfiantini R. (Eds). “Stable isotope hydrology: deuterium and oxygen-18 in the water cycle”. *Technical Report Series*, 210, 103-142, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

Allegati
Bacino del Fiume Aventino

Allegato I- Schede di portata (Giugno 2013)

TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua		Data		Località sezione				Sigla		Quota sez. (m)		Tempo di misura								
Aventino		13/06/2013		Sorgenti Capo di Fiume				AV1		880		30								
Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	25	50	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031				0,031	0,10625	0,003
	50	40	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031							0,031	0,10313	0,003
	75	40	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031							0,031	0,1	0,003
	100	40	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031							0,031	0,10438	0,003
	125	54	10	0	0,031	20	0	0,031	30	2	0,04572	40	0	0,031	50	6	0,07516	0,04278	0,13031	0,006
	150	53	10	0	0,031	20	1	0,03836	30	0	0,031	40	0	0,031	50	22	0,19543	0,06536	0,13281	0,009
	175	53	10	2	0,04572	20	3	0,05308	30	14	0,13404	40	15	0,1414	50	20	0,17893	0,11063	0,13219	0,015
	200	52	10	10	0,1046	20	11	0,11196	30	8	0,08988	40	51	0,43458	50	59	0,50055	0,24831	0,12688	0,032
	225	41	10	55	0,46757	20	65	0,55003	30	80	0,67373	40	88	0,73971				0,60776	0,10813	0,066
	250	48	10	0	0,031	20	33	0,28614	30	65	0,55003	40	110	0,92113				0,44708	0,11719	0,052
	275	46	10	0	0,031	20	5	0,0678	30	81	0,68198	40	96	0,80568				0,39662	0,11531	0,046
	300	45	10	35	0,30263	20	33	0,28614	30	66	0,55828	40	115	0,96237				0,52736	0,11188	0,059
	325	42	10	95	0,79743	20	104	0,87165	30	114	0,95412	40	100	0,83867				0,86547	0,10406	0,090
	350	36	10	98	0,82217	20	98	0,82217	30	105	0,8799							0,84142	0,09156	0,077
	375	35	10	74	0,62425	20	81	0,68198	30	90	0,7562							0,68748	0,08719	0,060
	400	33	10	64	0,54179	20	78	0,65724	30	77	0,64899							0,61601	0,08469	0,052
	425	38	10	30	0,2614	20	61	0,51705	30	64	0,54179							0,44008	0,09594	0,042
	450	46	10	0	0,031	20	44	0,37685	30	43	0,36861	40	41	0,35211				0,28214	0,11469	0,032
	475	53	10	0	0,031	20	3	0,05308	30	17	0,15612	40	28	0,24491	50	25	0,22017	0,14105	0,13125	0,019
	500	56	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031	50	1	0,03836	0,03247	0,13875	0,005
	525	55	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031	50	0	0,031	0,031	0,13844	0,004
	550	57	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	1	0,03836	50	0	0,031	0,03247	0,14	0,005
	575	51	10	4	0,06044	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031				0,03836	0,13031	0,005
	600	54	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031	50	0	0,031	0,031	0,13219	0,004
625	48	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031				0,031	0,12219	0,004	
650	49	10	0	0,031	20	0	0,031	30	0	0,031	40	0	0,031				0,031	0,11875	0,004	
675	38	10	0	0,031	20	2	0,04572	30	0	0,031							0,03591	0,1	0,004	
700	43	10	1	0,03836	20	12	0,11932	30	5	0,0678	40	21	0,18718				0,10317	0,10406	0,011	
725	37	10	2	0,04572	20	15	0,1414	30	35	0,30263							0,16325	0,09281	0,015	
750	32	10	0	0,031	20	1	0,03836	30	14	0,13404							0,0678	0,08125	0,006	
775	31	10	0	0,031	20	0	0,031										0,031	0,075	0,002	
800	22	10	0	0,031	19	1	0,03836										0,03468	0,05531	0,002	
825	14	10	0	0,031													0,031	0,03125	0,001	
840	18																0	0,01613	0,000	
845	0																0	0	0	

N° misure / m² 34,7 T (°C): 8,1 pH: 7,47 Conducibilità: 384 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 738,5

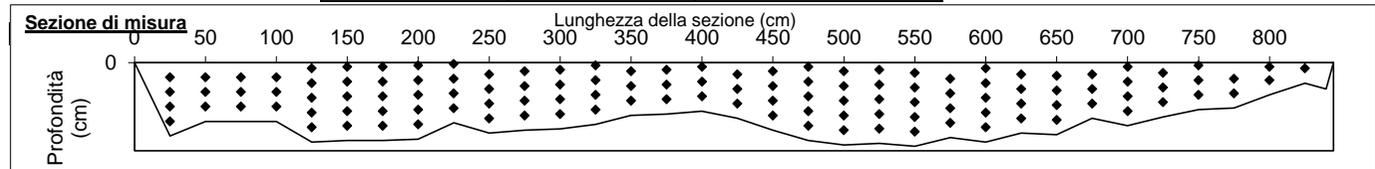


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	13/06/2013	Ponte Romano	AV3	600	30

Riva SX	Misure di Profondità																Riepilogo			
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	55	7	5		0,5													0,5	0,02319	0,012
	80	7	5		0,6													0,6	0,01875	0,011
	105	11	5		0,64													0,64	0,02875	0,018
	130	19	5		0,41	10		0,52	15		0,62							0,51667	0,04469	0,023
	155	18	5		0,21	10		0,37	15		0,41							0,33	0,04438	0,015
	180	15	5		0,06	10		0,11	15		0,18							0,11667	0,0375	0,004
	205	12	5		0,16	10		0,17										0,165	0,03063	0,005
	230	11	5		0,26	10		0,23										0,245	0,02906	0,007
	255	15	5		0,09	10		0,11										0,1	0,03594	0,004
	280	14	5		0,13	10		0,17										0,15	0,03375	0,005
	305	9	5		0,1													0,1	0,02313	0,002
	330	6	5		0,45													0,45	0,00994	0,004
	335	6																0	0,00263	0,000
	340	0																0	0	0
																		0,111		

N° misure / m ²	60,7	T (°C): 14,4	pH: 8,14	Conducibilità: 445 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	111,0
----------------------------	------	--------------	----------	--------------------------	--------------------	-------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

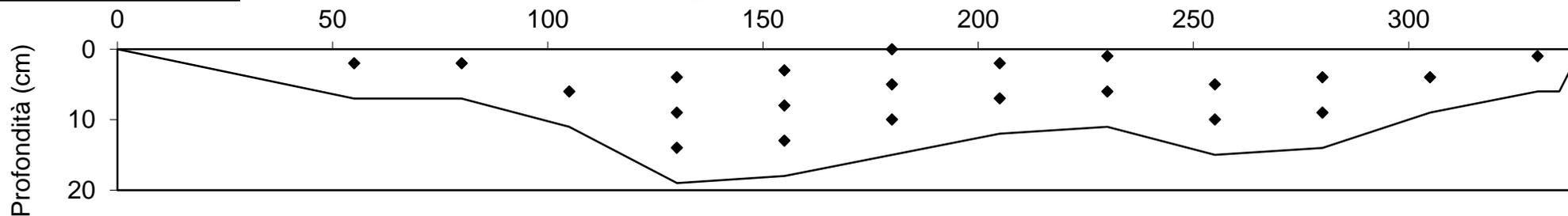


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	13/06/2013	A monte di San Giustino III sx	AV5	477	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
																					0
100	78	10			0,08	30			0,11	50			0,1	65				0,0975	0,68	0,066	
200	75	10			0,03	30			0,04	50			0,06	65				0,0475	0,75375	0,036	
300	75	10			0,06	30			0,03	50			0,04	65				0,05	0,74125	0,037	
400	68	10			0,06	30			0,04	50			0,11	65				0,0775	0,6825	0,053	
500	63	10			0,02	30			0,07	50			0,11					0,06667	0,61125	0,041	
600	43	10			0,07	30			0,13									0,1	0,46875	0,047	
700	54	10			0,1	30			0,17	50			0,126					0,132	0,53375	0,070	
800	60	10			0,19	30			0,19	50			0,21					0,19667	0,59375	0,117	
900	61	10			0,06	30			0,08	50			0,04					0,06	0,5975	0,036	
1000	52	10			0	30			0	50			0					0	0,27905	0,000	
1003	52																	0	0,02145	0,000	
1010	0																	0	0	0	
																					0,503

N° misure / m ²	5,5	T (°C): n.m.	pH: n.m.	Conducibilità: n.m.	PORTATA TOTALE L/s	502,8
----------------------------	-----	--------------	----------	---------------------	--------------------	-------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

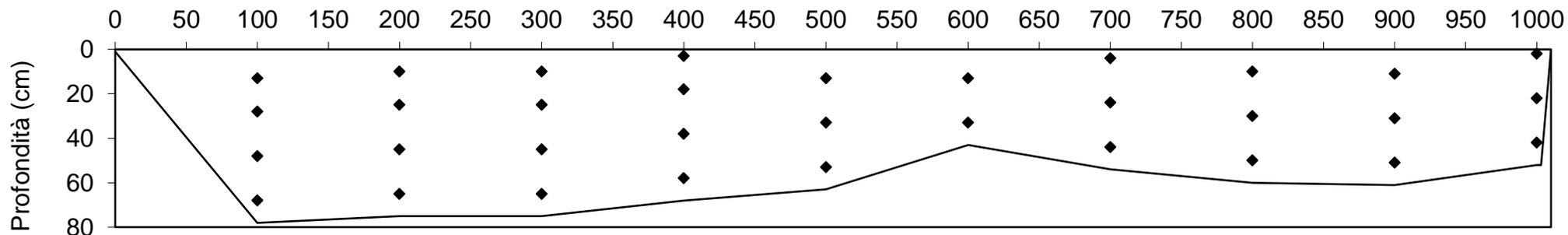


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	11/06/2013	A valle del gruppo San Giustino	AV6	470	30

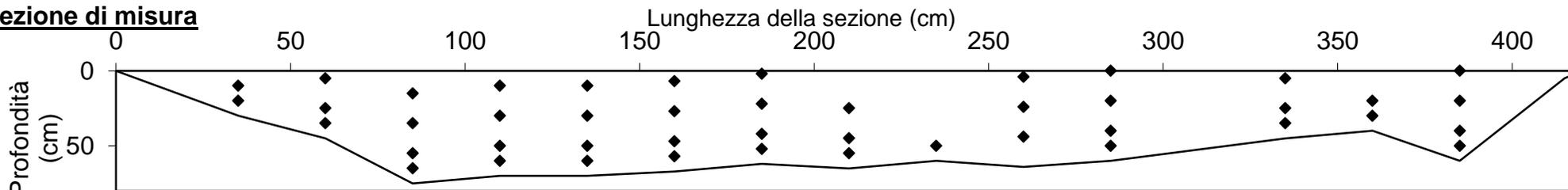
Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s
		0	0														
	35	30	10		0,64	20		0,88									
	60	45	10		0,68	20		1,27	40		1,11						
	85	75	10		0,58	20		0,82	40		1,4	60		1,34			
	110	70	10		0,13	20		0,51	40		1,13	60		1,33			
	135	70	10		0,39	20		0,46	40		1	60		0,95			
	160	67	10		0,58	20		0,88	40		0,24	60		0,21			
	185	62	10		0,52	20		0,47	40		0,07	60		0,01			
	210	65	10		0,03	20		0,17	40		0,03						
	235	60	10		0,1												
	260	64				20		0,21	40		0,79	60		0,65			
	285	60	10		0,44	20		0,73	40		0,24	60		0,01			
	335	45	10		0,04	20		0,043	40		0,22						
	360	40	10		0,66	20		0,45									
	385	60	10		0,33	20		0,63	40		0,76	60		0,64			
	415	5	10														
	420	0															

Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
0	0	0
0,76	0,08156	0,062
1,02	0,11719	0,120
1,035	0,17656	0,183
0,775	0,17656	0,137
0,7	0,17406	0,122
0,4775	0,16688	0,080
0,2675	0,1575	0,042
0,07667	0,16	0,012
0,1	0,15281	0,015
0,55	0,1575	0,087
0,355	0,21688	0,077
0,101	0,17656	0,018
0,555	0,10781	0,060
0,59	0,13813	0,081
0	0,02906	0,000
0	0	0

1,095

N° misure / m ²	21,0	T (°C): 9	pH: 7,59	Conducibilità: 337 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	1095,1
----------------------------	------	-----------	----------	--------------------------	---------------------------	---------------

Sezione di misura



Allegato II- Schede di portata (Luglio 2013)

TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	27/07/2013	Sorgenti Capo di Fiume	AV1	880	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
110	44	10	0	0,039	20	1	0,04226	30	10	0,0716	40	40	0,1694					0,08057	0,23038	0,019
130	47	10	0	0,039	20	4	0,05204	30	3	0,04878	40	7	0,06182					0,05041	0,16438	0,008
180	48	10	3	0,04878	20	3	0,04878	30	31	0,14006	40	36	0,15636					0,0985	0,24188	0,024
230	52	10	8	0,06508	20	45	0,1857	35	73	0,28107	45	110	0,40933					0,2353	0,25563	0,060
280	49	10	82	0,31227	20	103	0,38507	30	134	0,49253	40	154	0,56187					0,43793	0,23688	0,104
330	33	10	14	0,08464	20	22	0,11072	30	101	0,37813								0,19116	0,175	0,033
380	33	10	116	0,43013	20	144	0,5272	30	152	0,55493								0,50409	0,24625	0,124
480	32	10	108	0,4024	20	132	0,4856	30	142	0,52027								0,46942	0,34625	0,163
580	52	10	7	0,06182	20	12	0,07812	35	26	0,12376	50	42	0,17592					0,10991	0,36375	0,040
630	50	10	23	0,11398	20	23	0,11398	30	38	0,16288	40	46	0,18896					0,14495	0,24875	0,036
680	46	10	6	0,05856	20	6	0,05856	30	13	0,08138	40	20	0,1042					0,07568	0,22438	0,017
730	33	10	7	0,06182	20	46	0,18896	30	76	0,29147								0,18075	0,1725	0,031
780	32	10	8	0,06508	20	28	0,13028	30	77	0,29493								0,16343	0,11781	0,019
805	23	10	7	0,06182	20	19	0,10094											0,08138	0,05688	0,005
830	12	10	1	0,04226														0,04226	0,03063	0,001
855	3																	0	0	0
																		0,684		

N° misure / m ²	16,1	T (°C): 8,3	pH: 7,49	Conducibilità: 360 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	684,0
----------------------------	------	-------------	----------	--------------------------	---------------------------	--------------

Sezione di misura

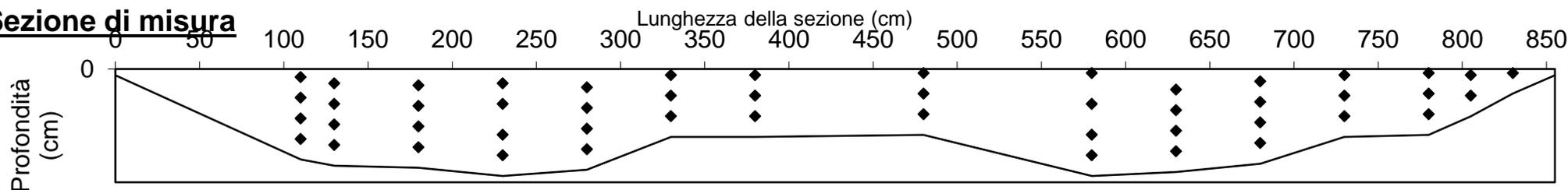


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	27/07/2013	Palena	AV2	798	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	0																0	0
	40	23	5		0	10		0	15		0	20		0				0	0,05625	0,000
	60	18	5		0,024				15		0,032							0,028	0,037	0,001
	80	17	5		0,08				15		0,087							0,0835	0,035	0,003
	100	20	5		0,18	10		0,21	15		0,21	20		0,2				0,2	0,03975	0,008
	120	22	5		0,19	10		0,27	15		0,29	20		0,31				0,265	0,0545	0,014
	150	22	5		0,18				15		0,32	20		0,34				0,28	0,0645	0,018
	180	18	5		0,09	10		0,23	15		0,3							0,20667	0,0475	0,010
	200	22	5		0,1	10		0,14	15		0,14	20		0,19				0,1425	0,04175	0,006
	220	17	5		0,15	10		0,15	15		0,16							0,15333	0,02913	0,004
	235	7	5		0,15													0,15	0,00844	0,001
	240	0																0	0	0
																				0,066

N° misure / m ²	72,5	T (°C): 13	pH: 7,86	Conducibilità: 390 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	65,9
----------------------------	------	------------	----------	--------------------------	---------------------------	-------------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

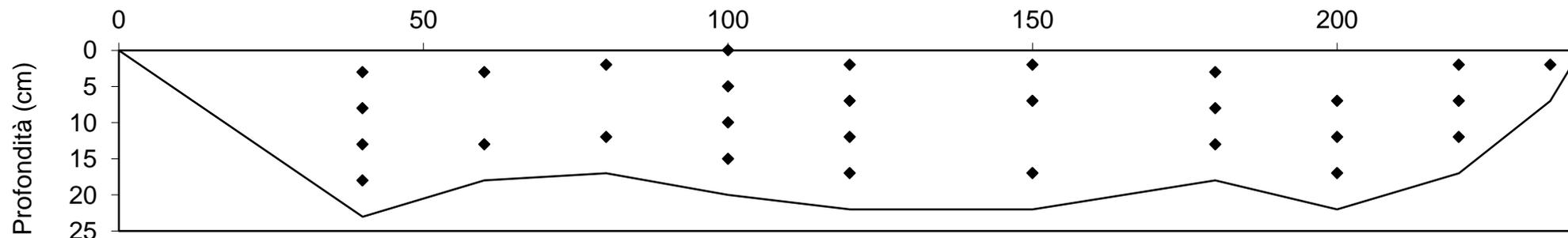


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	26/07/2013	Ponte Romano	AV3	600	30

Riva SX	Sviluppo della sezione																Riepilogo			
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	40	2	2		0													0	0,006	0,000
	60	6	5		0,34												0,34	0,0135	0,005	
	80	16	5		0,19	10		0,18	15		0,18						0,18333	0,02875	0,005	
	100	13	5		0,19	10		0,22									0,205	0,02938	0,006	
	125	11	5		0												0	0,02206	0,000	
	140	8	5		0												0	0,01406	0,000	
	160	6	5		0,01												0,01	0,0125	0,000	
	180	6	5		0,04												0,04	0,012	0,000	
	200	6	5		0,024												0,024	0,01225	0,000	
	220	7	5		0,13												0,13	0,01275	0,002	
	240	3			0												0	0,00663	0,000	
	260	1,5			0												0	0,003	0,000	
	280	0															0	0	0	
																		0,018		

N° misure / m ²	75,2	T (°C): 9,8	pH: 8,12	Conducibilità: 430 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	18,4
----------------------------	------	-------------	----------	--------------------------	--------------------	------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

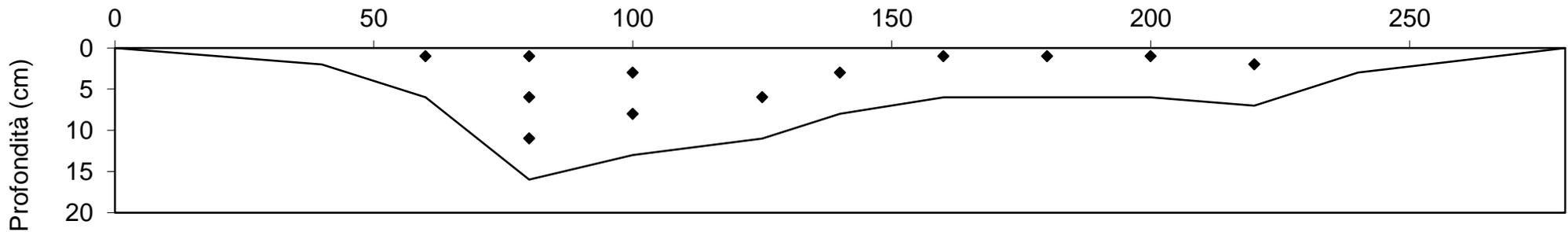


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	26/07/2013	A monte di San Giustino III sx	AV5	477	30

Riva SX	Misure di Velocità e Profondità																Riepilogo			
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	1																0	0	0
	50	32	10		0,17	20		0,17	30		0,14							0,16	0,25813	0,041
	150	62	10		0,1	20		0,11	40		0,12	60						0,1225	0,58375	0,072
	250	63	10		0,04	20		0,08	40		0,1	60						0,085	0,79	0,067
	400	65	10		0,12	20		0,1	40		0,12	60						0,1125	0,95625	0,108
	550	57	10		0,07	20		0,17	40		0,18							0,14	0,71625	0,100
	650	48	10		0,15	20		0,17	40		0,22							0,18	0,50875	0,092
	750	62	10		0,17	20		0,22	40		0,25	60						0,225	0,6025	0,136
	850	62	10		0,18	20		0,2	40		0,27	60						0,1925	0,46688	0,090
	900	65	10		0,09	20		0,1	40		0,1	60						0,0925	0,31375	0,029
	950	50	10		0,03	20		0,02	40		0,01							0,02	0,2675	0,005
	1000	63	10		0,004	20		0,07	40		0,071	60						0,05125	0,29938	0,015
	1050	51	10		0	20		0	30		0	40						0	0,15413	0,000
	1060	0																0	0	0
																				0,755

N° misure / m² 7,4 T (°C): 9,2 pH: 7,82 Conducibilità: 310 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 754,5

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

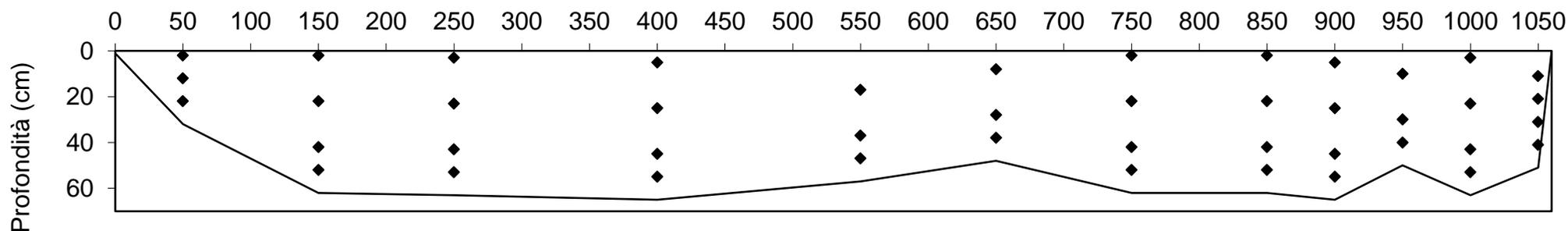


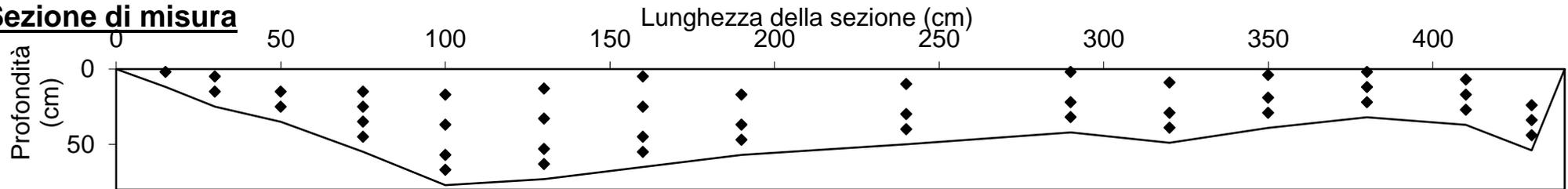
TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	26/07/2013	A valle del gruppo San Giustino	AV6	470	30

Riva SX	Sviluppo della misura																	Riepilogo		
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	15	12	10		0,01													0,01	0,01819	0,000
	30	25	10		0,66	20		0,66									0,66	0,04381	0,029	
	50	35	10		0,98	20		1,14									1,06	0,0825	0,087	
	75	55	10		0,99	20		1,16	30		1,24	40		1,24			1,1575	0,13813	0,160	
	100	77	10		0,09	20		0,34	40		1,15	60		1,3			0,72	0,20338	0,146	
	130	73	10		0,26	20		0,47	40		0,88	60		0,91			0,63	0,2175	0,137	
	160	65	10		0,37	20		0,42	40		0,35	60		0,24			0,345	0,195	0,067	
	190	57	10		0,14	20		0,14	40		0,15						0,14333	0,22663	0,032	
	240	50	10		0,05	20		0,05	40		0,05						0,05	0,24938	0,012	
	290	42	10		0,53	20		0,46	40		0,47						0,48667	0,17563	0,085	
	320	49	10		0,03	20		0,08	40		0,12						0,07667	0,14063	0,011	
	350	39	10		0,74	20		0,85	35		0,96						0,85	0,11813	0,100	
	380	32	10		0,94	20		0,88	30		0,86						0,89333	0,1005	0,090	
	410	37	10		0,81	20		0,63	30		0,63						0,69	0,09488	0,065	
	430	54	10		0	20		0	30		0						0	0,07	0,000	
	440	0															0	0	0	
																	1,024			

N° misure / m ²	21,7	T (°C): 9,1	pH: 7,65	Conducibilità: 320 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	1024,0
----------------------------	------	-------------	----------	--------------------------	---------------------------	---------------

Sezione di misura



Allegato III- Schede di portata (Agosto 2013)

TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua		Data		Località sezione				Sigla		Quota sez. (m)		Tempo di misura	
Aventino		31/08/2013		Sorgenti Capo di Fiume				AV1		880		30	

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	2																0	0
	20	40	10	0	0,039	20	0	0,039	30	0	0,039							0,039	0,068	0,003
	40	30	10	0	0,039	20	0	0,039	30	0	0,039							0,039	0,06375	0,002
	60	35	10	0	0,039	20	0	0,039	30	0	0,039							0,039	0,07844	0,003
	85	38	10	0	0,039	20	0	0,039	30	0	0,039							0,039	0,09406	0,004
	110	38	10	0	0,039	20	0	0,039	30	1	0,04226							0,04009	0,14438	0,006
	160	41	10	25	0,1205	20	25	0,1205	30	26	0,12376	40	39	0,16614				0,13273	0,20375	0,027
	210	42	10	25	0,1205	20	41	0,17266	30	53	0,21173	40	68	0,26373				0,19216	0,20938	0,040
	260	42	10	94	0,35387	20	112	0,41627	30	132	0,4856	40	134	0,49253				0,43707	0,20375	0,089
	310	32	10	45	0,1857	20	47	0,19222	30	74	0,28453							0,22082	0,16375	0,036
	360	28	10	43	0,17918	15	43	0,17918	20	58	0,22907							0,19581	0,205	0,040
	460	22	10	89	0,33653	20	105	0,392										0,36427	0,24375	0,089
	560	35	10	25	0,1205	20	36	0,15636	30	65	0,25333							0,17673	0,24625	0,044
	610	35	10	31	0,14006	20	35	0,1531	30	37	0,15962							0,15093	0,17375	0,026
	660	33	10	31	0,14006	20	35	0,1531	30	49	0,19874							0,16397	0,12438	0,020
	685	31	10	31	0,14006	20	43	0,17918	30	67	0,26027							0,19317	0,06813	0,013
	705	22	10	49	0,19874	20	51	0,20526										0,202	0,04475	0,009
	725	16	10	27	0,12702	15	59	0,23253										0,17978	0,03175	0,006
	745	9	5	44	0,18244													0,18244	0,01825	0,003
	765	3																0	0	0
																				0,460

N° misure / m ²	21,8	T (°C): 7,9	pH: 7,9	Conducibilità: 368 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	460,4
----------------------------	------	-------------	---------	--------------------------	--------------------	-------

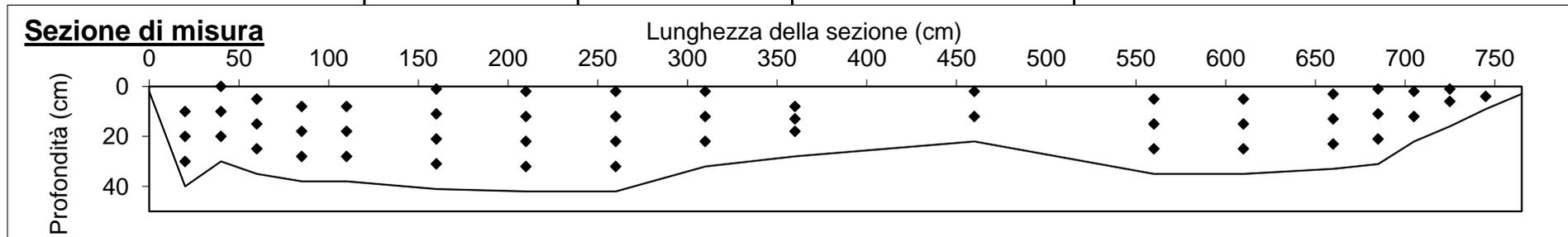


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	31/08/2013	Palena	AV2	798	30

Riva SX	Misure di portata																		Riepilogo		
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
	0	2																0	0	0	
	5	22	5		0,03	10		0,002	15		0,002	20		0,004				0,0095	0,04275	0,000	
	40	22	5		0,01	10		0,01	15		0,01	20		0,009				0,00975	0,055	0,001	
	55	22	5		0,11	10		0,11	15		0,16	20		0,16				0,135	0,03319	0,004	
	70	23	5		0,13	10		0,15	15		0,14	20		0,15				0,1425	0,03981	0,006	
	90	22	5		0,17	10		0,23	15		0,29	20		0,29				0,245	0,04425	0,011	
	110	22	5		0,12	10		0,23	15		0,28	20		0,31				0,235	0,044	0,010	
	130	22	5		0,21	10		0,25	15		0,28	20		0,3				0,26	0,04325	0,011	
	150	19	5		0,14	10		0,17	15		0,18							0,16333	0,03875	0,006	
	170	19	5		0,1	10		0,1	15		0,1							0,1	0,03775	0,004	
	190	18	5		0,1	10		0,1	15		0,1							0,1	0,04075	0,004	
	215	18	5		0,07	10		0,08	15		0,1							0,08333	0,03506	0,003	
	230	13	5		0,02	10		0,03										0,025	0,01706	0,000	
	240	12	5		0,01	10		0,01										0,01	0,0085	0,000	
	245	2																0	0	0	
																			0,061		

N° misure / m ²	91,6	T (°C): 13,1	pH: 8,28	Conducibilità: 385 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	61,1
----------------------------	------	--------------	----------	--------------------------	--------------------	------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

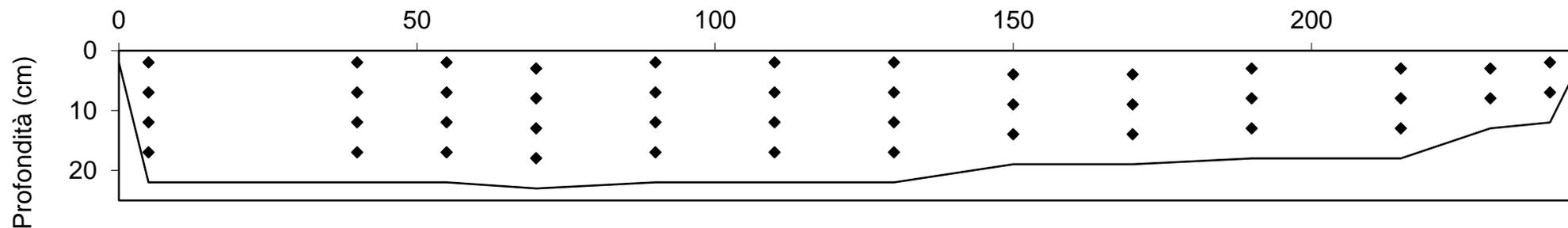


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	01/09/2013	Ponte Romano	AV3	600	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
		0	0																0	0	0
	20	3	2	74	0,28453													0,28453	0,00525	0,001	
	40	3	2	61	0,23947													0,23947	0,00675	0,002	
	60	6	2	63	0,2464	5	71	0,27413										0,26027	0,01225	0,003	
	80	10	2	107	0,39893	5	120	0,444	8	120	0,444							0,42898	0,02275	0,010	
	105	14	2	37	0,15962	5	55	0,21867	8	73	0,28107	13	87	0,3296				0,24724	0,03078	0,008	
	130	4,5	2	41	0,17266													0,17266	0,01391	0,002	
	155	3,5	2	43	0,17918													0,17918	0,00819	0,001	
	175	3,5	2	27	0,12702													0,12702	0,00788	0,001	
	195	7	2	15	0,0879	5	22	0,11072										0,09931	0,01338	0,001	
	215	8	2	0	0,039	5	9	0,06834										0,05367	0,01525	0,001	
	235	6	2	1	0,04226	5	1	0,04226										0,04226	0,01175	0,000	
	255	3	2	21	0,10746													0,10746	0,0065	0,001	
	275	2	1	31	0,14006													0,14006	0,00375	0,001	
	290	2	1	30	0,1368													0,1368	0,00188	0,000	
	295	0																0	0	0	
																					0,033

N° misure / m ²	143,5	T (°C): 17,3	pH: 8,06	Conducibilità: 443 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	32,7
----------------------------	-------	--------------	----------	--------------------------	---------------------------	-------------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

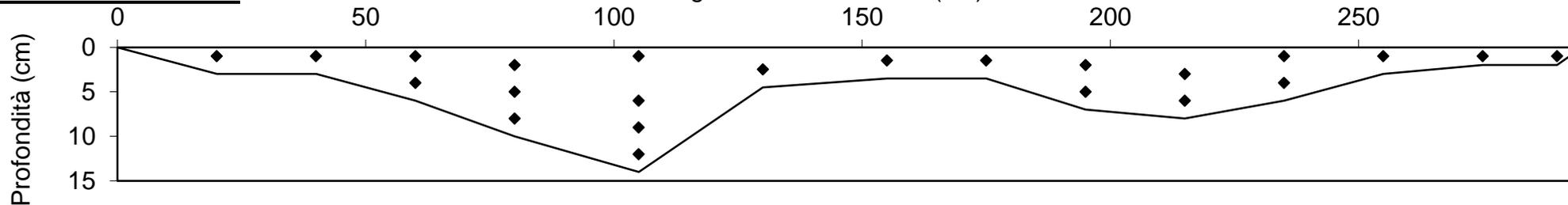


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	01/09/2013	A monte di San Giustino III	AV5	477	30

Riva SX	Sviluppo misure																Riepilogo				
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
	0	0																0	0	0	
	40	32	10		0,18	20		0,21	30		0,21							0,2	0,14238	0,028	
	90	55	10		0,19				30		0,2	50		0,19				0,19333	0,26188	0,051	
	140	57	10		0,15				30		0,15	50		0,17				0,15667	0,4275	0,067	
	240	58	10		0,08	20		0,09	35		0,09	50		0,09				0,0875	0,58625	0,051	
	340	64	10		0,05	20		0,05				50		0,06	60		0,06	0,055	0,62	0,034	
	440	54	10		0,05				30		0,05	50		0,08				0,06	0,55	0,033	
	540	52	10		0,04	20		0,11	30		0,12	50		0,12				0,0975	0,515	0,050	
	640	46	10		0,07	20		0,08	30		0,09	50		0,11				0,0875	0,48	0,042	
	740	56	10		0,15				35		0,15	50		0,14				0,14667	0,55	0,081	
	840	58	10		0,11				30		0,12	50		0,12				0,11667	0,57875	0,068	
	940	59	10		0,003				30		0,003	50		0,01				0,00533	0,44	0,002	
	990	57	10		0				30		0	50		0				0	0,28563	0,000	
	1040	56	10		0				30		0	50		0				0	0,24563	0,000	
	1090	0																0	0	0	
																			0,507		

N° misure / m² 7,6 T (°C): 9,2 pH: 7,83 Conducibilità: 320 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 507,2

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

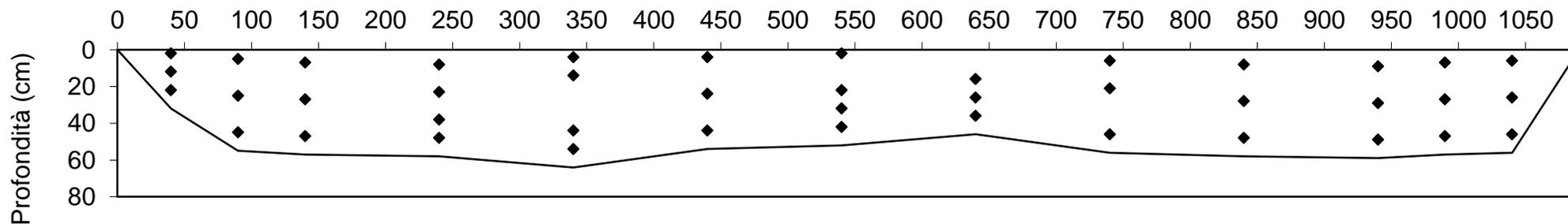


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

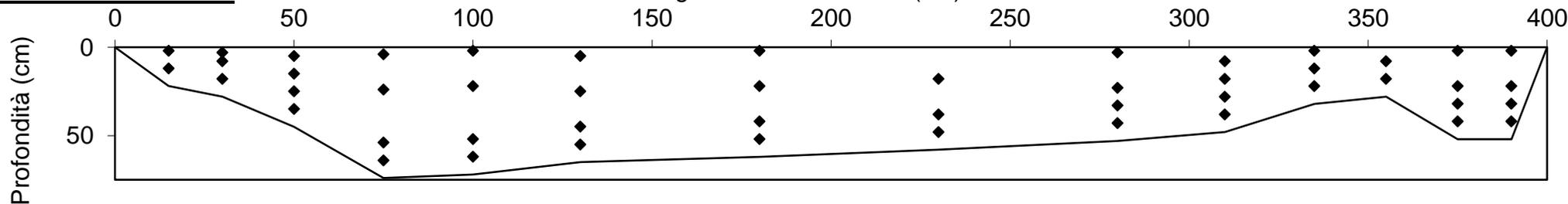
Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Aventino	01/09/2013	A valle del gruppo San Giustino	Av6	470	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	0																0	0
	15	22	10		0,87	20		0,87										0,87	0,03	0,026
	30	28	10		1,22	20		1,06	25		1,06							1,11333	0,05213	0,058
	50	45	10		1,15	20		1,34	30		1,38	40		1,34				1,3025	0,10606	0,138
	75	74	10		0,11	20		0,97	50		1,32	70		1,07				0,8675	0,17531	0,152
	100	72	10		0,06	20		0,58	50		1,09	70		1,09				0,705	0,196	0,138
	130	65	10		0,24	20		0,38	40		0,71	60		0,7				0,5075	0,26075	0,132
	180	62	10		0,11	20		0,19	40		0,19	60		0,07				0,14	0,30938	0,043
	230	58	10		0,06	20		0,06	40		0,07							0,06333	0,28938	0,018
	280	53	10		0,014	20		0,29	30		0,73	50		1				0,5085	0,21325	0,108
	310	48	10		0,04	20		0,04	30		0,11	40		0,76				0,2375	0,12888	0,031
	335	32	10		0,94	20		1,16	30		1,24							1,11333	0,076	0,085
	355	28	10		1,01	20		1,02										1,015	0,063	0,064
	375	52	10		0,67	20			30		1,06	50		1,05				0,92667	0,085	0,079
	390	52	10		0,6	20			30		0,8	50		0,8				0,73333	0,0585	0,043
	400	0																0	0	0
																		1,116		

N° misure / m ²	24,0	T (°C): 9,1	pH: 7,82	Conducibilità: 321 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	1115,8
----------------------------	------	-------------	----------	--------------------------	--------------------	--------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)



Allegato IV- Schede analisi granulometrica



Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ LP1

Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

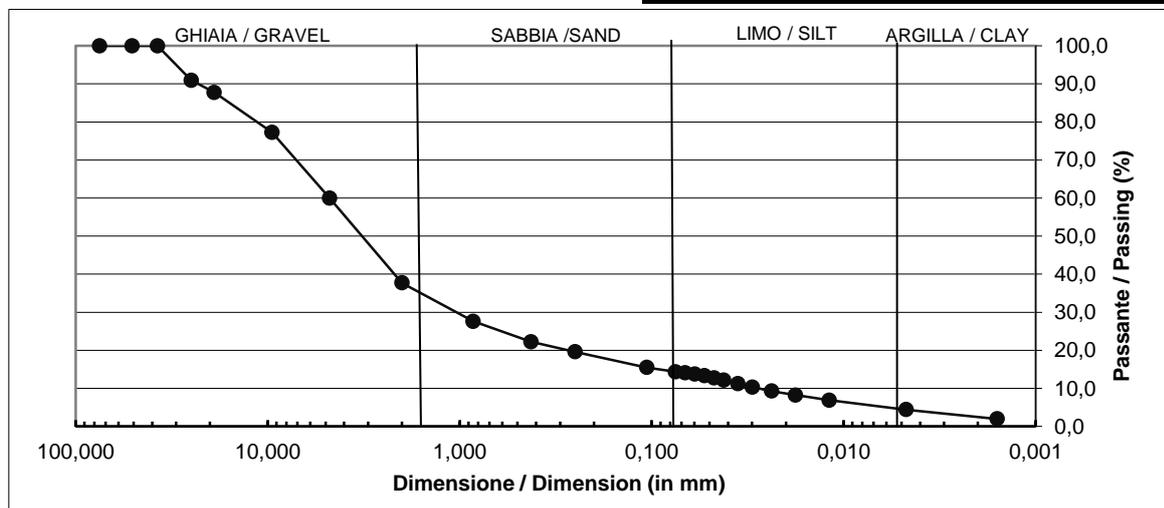
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	2.160,00 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	62,3 %
SABBIA / SAND	23,4 %
LIMO / SILT	9,9 %
ARGILLA / CLAY	4,4 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia limosa con ghiaia</i>
USCS Classification
<i>SM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ	Passante / Passing	Trattenuto / Retained
	(mm)	(%)	(%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	90,94	9,06
3/4 inch	19,000	87,75	12,25
3/8 inch	9,500	77,25	22,75
4	4,750	59,94	40,06
10	2,000	37,70	62,30
20	0,850	27,61	72,39
40	0,425	22,25	77,75
60	0,250	19,59	80,41
140	0,106	15,47	84,53
200	0,075	14,34	85,66
AEROMETRIA	0,067	14,08	85,92
	0,060	13,72	86,28
	0,053	13,28	86,72
	0,047	12,76	87,24
	0,042	12,16	87,84
	0,035	11,23	88,77
	0,030	10,31	89,69
	0,024	9,27	90,73
	0,018	8,20	91,80
	0,012	6,88	93,12
0,005	4,39	95,61	
0,002	1,99	98,01	





Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ LP2 _____ Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

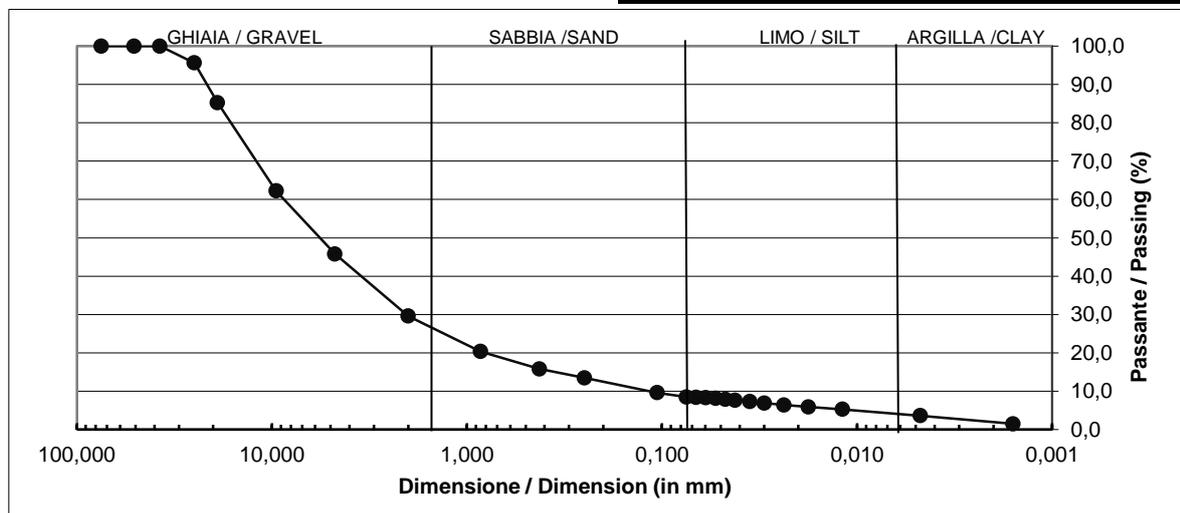
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	2.105,90 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	70,4 %
SABBIA / SAND	21,1 %
LIMO / SILT	4,9 %
ARGILLA / CLAY	3,6 %

Classificazione AGI
<i>Ghiaia ben graduata con limo</i>
USCS Classification
<i>GW-GM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ	Passante / Passing	Trattenuto / Retained
	(mm)	(%)	(%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	95,61	4,39
3/4 inch	19,000	85,26	14,74
3/8 inch	9,500	62,21	37,79
4	4,750	45,77	54,23
10	2,000	29,58	70,42
20	0,850	20,33	79,67
40	0,425	15,79	84,21
60	0,250	13,46	86,54
140	0,106	9,61	90,39
200	0,075	8,48	91,52
AEROMETRIA	0,067	8,39	91,61
	0,060	8,27	91,73
	0,053	8,11	91,89
	0,047	7,90	92,10
	0,042	7,66	92,34
	0,035	7,28	92,72
	0,030	6,89	93,11
	0,024	6,42	93,58
	0,018	5,91	94,09
	0,012	5,25	94,75
	0,005	3,61	96,39
0,002	1,50	98,50	





Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ LP3 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo/Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA

GRAIN SIZE ANALYSIS

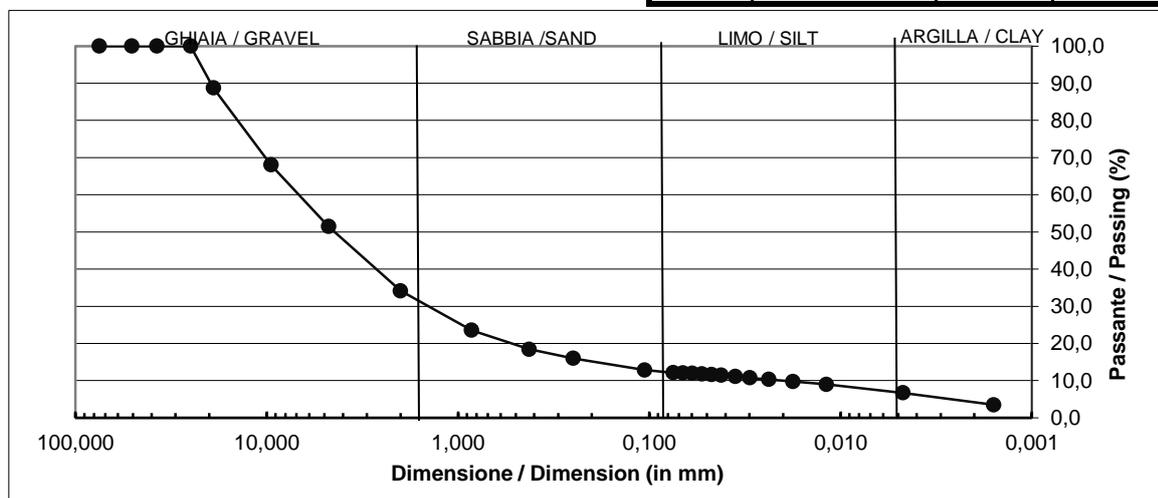
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	1.113,00 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	65,9 %
SABBIA / SAND	22,0 %
LIMO / SILT	12,1 %
ARGILLA / CLAY	0,0 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia limosa con ghiaia</i>
USCS Classification
<i>SM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	100,00	0,00
3/4 inch	19,000	88,73	11,27
3/8 inch	9,500	68,01	31,99
4	4,750	51,46	48,54
10	2,000	34,14	65,86
20	0,850	23,57	76,43
40	0,425	18,45	81,55
60	0,250	16,00	84,00
140	0,106	12,85	87,15
200	0,075	12,13	87,87
AEROMETRIA	0,067	12,056	87,94
	0,060	11,959	88,04
	0,053	11,812	88,19
	0,047	11,641	88,36
	0,042	11,434	88,57
	0,035	11,104	88,90
	0,030	10,763	89,24
	0,024	10,323	89,68
	0,018	9,762	90,24
	0,012	8,981	91,02
	0,005	6,736	93,26
0,002	3,502	96,50	





Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ LP4 _____ Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo

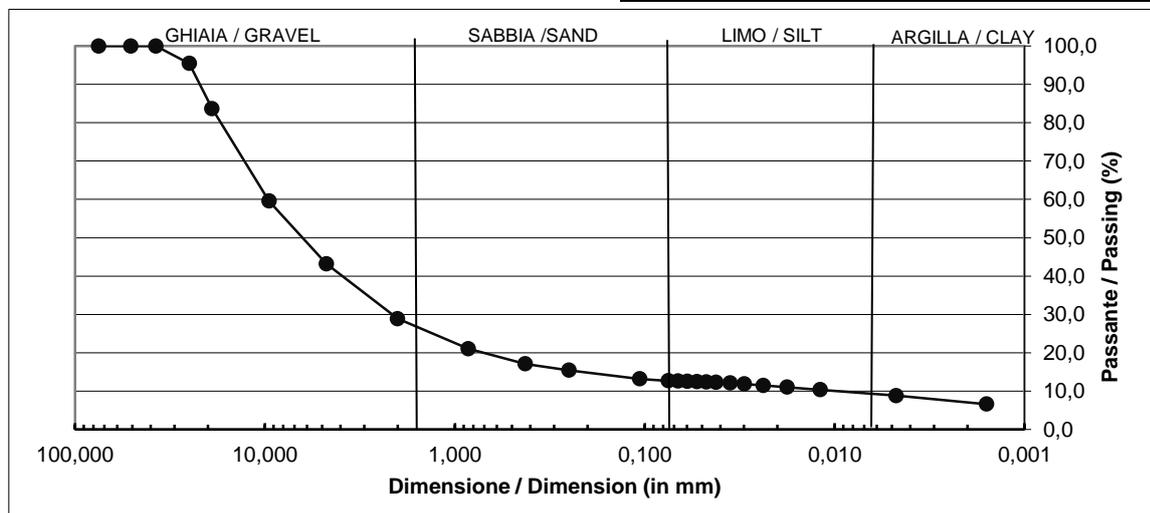
ANALISI GRANULOMETRICA

GRAIN SIZE ANALYSIS

Standard utilizzato nell'analisi	ASTM	Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
Peso campione secco Weight of dry soil	2.238,9 g	3 inches	75,000	100,00	0,00
		2 inches	50,800	100,00	0,00
		1.5 inch	37,500	100,00	0,00
		1 inch	25,000	95,46	4,54
		3/4 inch	19,000	83,68	16,32
		3/8 inch	9,500	59,54	40,46
		4	4,750	43,20	56,80
		10	2,000	28,89	71,11
		20	0,850	21,04	78,96
		40	0,425	17,12	82,88
		60	0,250	15,41	84,59
		140	0,106	13,17	86,83
		200	0,075	12,69	87,31
			0,067	12,63	87,37
			0,060	12,55	87,45
			0,053	12,49	87,51
			0,047	12,39	87,61
			0,042	12,27	87,73
			0,035	12,08	87,92
			0,030	11,87	88,13
			0,024	11,49	88,51
			0,018	11,03	88,97
			0,012	10,35	89,65
			0,005	8,81	91,19
			0,002	6,61	93,39

GHIAIA / GRAVEL	71,1 %
SABBIA / SAND	16,2 %
LIMO / SILT	3,9 %
ARGILLA / CLAY	8,8 %

Classificazione AGI	
<i>Ghiaia argillosa con sabbia</i>	
USCS Classification	
<i>GC</i>	



Allegato V- Schede determinazione γ_s (KN/m³)

Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. LP1 Profondità/ Depth of sample _____

Analista: Crognale Jacopo/Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PycNOMETER

data della determinazione / date of testing 27/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 27/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.	1	2	3	2	3	1
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml					
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,83 g	59,23 g	57,80 g	59,23 g	57,80 g	58,91 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,99 g	84,27 g	82,93 g	84,25 g	82,80 g	83,94 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	174,09 g	174,69 g	173,07 g	174,72 g	173,32 g	174,31 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,54 g	159,13 g	157,62 g	158,91 g	157,61 g	158,61 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,16 g	25,04 g	25,13 g	25,02 g	25,00 g	25,03 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,618 g/cm ³	2,611 g/cm ³	2,596 g/cm ³	2,717 g/cm ³	2,691 g/cm ³	2,683 g/cm ³
	25,68 kN/m ³	25,90 kN/m ³	25,46 kN/m ³	26,64 kN/m ³	26,39 kN/m ³	26,31 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,683 g/cm ³	26,31 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,018					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/
Sample No. LP2 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo

DETERMINAZIONE DEL g_s
STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PycNOMETER

data della determinazione / date of testing 27/11/2013
data dell'operazione di peso / date of weighting 27/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4
Picnometro n. Flask no.	1	2	3	8
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,94 g	59,60 g	57,88 g	59,30 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,96 g	84,60 g	82,93 g	84,34 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	174,31 g	174,63 g	173,24 g	174,94 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,60 g	159,98 g	157,59 g	159,20 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,02 g	25,00 g	25,05 g	25,04 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,687 g/cm ³	2,415 g/cm ³	2,665 g/cm ³	2,692 g/cm ³
	26,36 kN/m ³	23,69 kN/m ³	26,13 kN/m ³	26,41 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,682 g/cm ³	26,30 kN/m ³		
Deviazione standard Standard deviation	0,015			

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. LP3 Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PICNOMETER

data della determinazione / date of testing 29/11/2013
data dell'operazione di peso / date of weighting 29/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.	1	2	3	8	3	1
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	59,10 g	59,54 g	57,86 g	58,01 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	84,14 g	84,60 g	82,91 g	83,07 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	174,29 g	174,79 g	174,35 g	173,48 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,55 g	158,98 g	157,65 g	157,59 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,04 g	25,06 g	25,05 g	25,06 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,692 g/cm ³ 26,41 kN/m ³	2,709 g/cm ³ 26,57 kN/m ³	3,000 g/cm ³ 29,42 kN/m ³	2,733 g/cm ³ 26,80 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ⁴ 0,00 kN/m ⁴
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,711 g/cm ³	26,59 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,020					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. LP4 Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PICNOMETER

data della determinazione / date of testing 29/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 29/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.	1	2	3	8	3	1
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml					
(a) Peso del picnometro Weight of flask	59,01 g	59,34 g	57,92 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	84,01 g	84,34 g	82,93 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	174,36 g	174,86 g	173,34 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,51 g	158,99 g	157,53 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,00 g	25,00 g	25,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,732 g/cm ³	2,738 g/cm ³	2,718 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³
	26,80 kN/m ³	26,85 kN/m ³	26,66 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,730 g/cm ³	26,77 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,010					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100

Allegato VI - Schede prova di compattazione proctor

Provenienza campione
Provenance of sample **Lettopalena (CH)**

Descrizione campione/
description of sample **LP3-LP4**

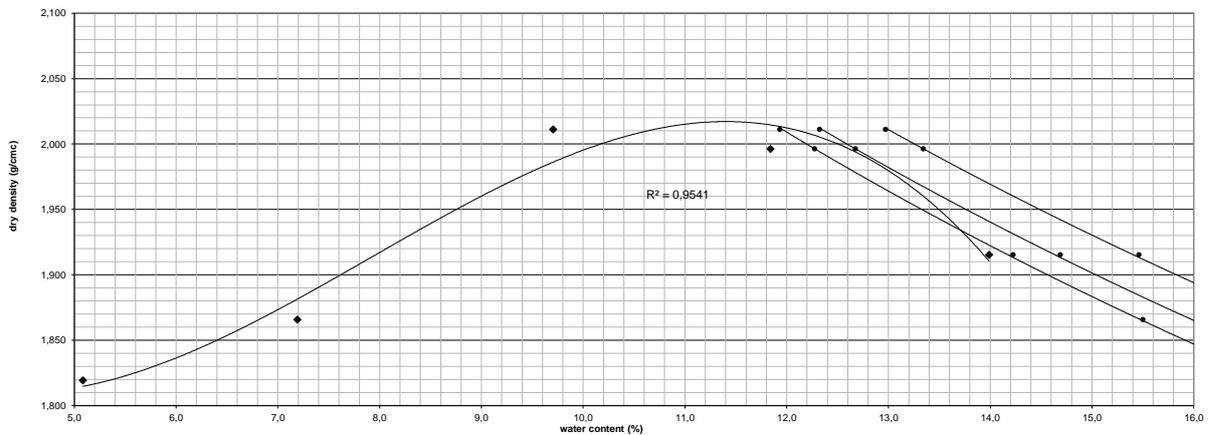
Sperimentatore / tested by **Pizzarelli Paola/Crognale Jacopo** data della prova / date of testing **14 gen 14**

γ_s **2,721** g/cm³ Curve al grado di saturazione **0,92 0,95 1,00**

STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOIL USING STANDARD EFFORT
[12 400 ft-lbf/cu ft (600 kN-m/mq)]

X	proctor standard (with rammer 2.49 kg and 305 mm drop)	X	4.0-in. mold (diameter 10.16 cm; height 11.64 cm; capacity 944 cm ³)		Method A	Mold 4" - Passing No 4 - Layers 3 - Blows 25
	proctor modified (with rammer 4.54 kg and 457 mm drop)		6.0-in. mold (diameter 15.24 cm; height 11.64 cm; capacity 2124 cm ³)	X	Method B	Mold 4" - Passing 3/8" - Layers 3 - Blows 25
					Method C	Mold 6" - Passing 3/4" - Layers 3 - Blows 56

Determinazione n. Test n°	1	2	3	4	5										
Peso terreno utilizzato Prepared soil weight (g)	2750,0														
Contenuto d'acqua nominale (%)	5,00	7,50	10,00	12,50	14,50										
Aggiunta di acqua (g)	137,5	68,8	68,8	68,8	68,8										
Diametro Diameter (cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16										
Altezza Height (cm)	11,64	11,64	11,64	11,64	11,64										
Volume Capacity (cm ³)	943,69	943,69	943,69	943,69	943,69										
Peso Weight (a) (g)	4693,0	4693,0	4693,0	4693,0	4693,0										
Peso suolo + fustella Soil + mold weight (b) (g)	6497,1	6580,2	6775,1	6799,9	6753,2										
Peso suolo compattato (a-b) Compacted soil weight (g)	1804,1	1887,2	2082,1	2106,9	2060,2										
Densità umida Wet density (g/cm ³)	1,912	2,000	2,206	2,233	2,183										
Capsula N.	41W	70W	75W	50W	12W	47W	21W	10W	73W	36W	69W	56W	29W	33W	79W
Peso capsula (g)	28,12	28,10	28,57	28,50	27,90	28,60	28,71	28,49	28,23	28,53	28,09	28,06	28,08	28,55	28,62
Peso terreno umido + capsula (g)	105,40	86,90	97,30	90,62	90,47	90,15	92,31	90,46	92,14	84,97	84,31	71,69	88,49	100,67	92,42
Peso terreno umido (g)	77,28	58,80	68,73	62,1	62,6	61,55	63,6	62,0	63,9	56,4	56,2	43,6	60,4	72,1	63,8
Peso terreno secco + capsula (g)	101,68	83,90	94,14	86,43	86,48	85,84	86,50	85,33	86,31	79,03	78,22	67,15	80,99	91,90	84,61
Peso terreno secco (g)	73,56	55,80	65,57	57,93	58,58	57,24	57,79	56,84	58,08	50,50	50,13	39,09	52,91	63,35	55,99
Peso acqua (g)	3,72	3,00	3,16	4,19	3,99	4,31	5,81	5,13	5,83	5,94	6,09	4,54	7,50	8,77	7,81
Contenuto d'acqua (%)	5,1	5,4	4,8	7,2	6,8	7,5	10,1	9,0	10,0	11,8	12,1	11,6	14,2	13,8	13,9
Contenuto medio (%)	5,1		7,2			9,7			11,8			14,0			
Densità secca Dry density (g/cm ³)	1,819		1,866			2,011			1,996			1,915			



REFERENCES

- ASTM D698-07 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)]
- ASTM D1557-09 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56 000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³)]
- EN 13286-2

Allegato VII - Schede prova di permeabilità



Provenienza del campione
Provenance of sample Lettopalena (CH)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/
Sample No. LP3-LP4 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE
STANDARD TEST METHOD FOR PERMEABILITY OF GRANULAR SOILS (CONSTANT HEAD)

Permeometro N° 1
Diametro / Diameter 10,16 cm
Area 81,073 cm²
Lunghezza / Length 11,643 cm

Prova n. Test no.	Manometri		Carico / head h cm	Volume		Tempo / Time s	Q / At cm/s	h/L	Temperature °C	k cm/s
	H ₁	H ₂		cm ³	g					
1	164	26,4	137,6	108	107,7	600	2,21E-03	11,82	20,0	1,9E-04
2	164	26,4	137,6	102	101,6	600	2,09E-03	11,82	20,0	1,8E-04
3	164	26,4	137,6	96,8	96,79	600	1,99E-03	11,82	20,0	1,7E-04
4	164	26,4	137,6	96,5	96,47	600	1,98E-03	11,82	20,0	1,7E-04
5	164	26,4	137,6	91,8	91,82	600	1,89E-03	11,82	20,0	1,6E-04
6	164	26,4	137,6	85,7	85,71	600	1,76E-03	11,82	20,0	1,5E-04
7	164	26,4	137,6	82	81,97	600	1,69E-03	11,82	20,0	1,4E-04
8	164	26,4	137,6	79,4	79,44	602	1,63E-03	11,82	20,0	1,4E-04
9	164	26,4	137,6	78	78	602	1,60E-03	11,82	20,0	1,4E-04
10	164	26,4	137,6	76	76,01	600	1,56E-03	11,82	20,0	1,3E-04
11	164	26,4	137,6	73,3	73,34	600	1,51E-03	11,82	20,2	1,3E-04
12	164	26,4	137,6	71,2	71,24	600	1,46E-03	11,82	20,2	1,2E-04
13	164	26,4	137,6	71,5	71,54	600	1,47E-03	11,82	20,2	1,2E-04
14	164	26,4	137,6	66,9	66,87	600	1,37E-03	11,82	20,2	1,2E-04
15	164	26,4	137,6	64,2	64,18	600	1,32E-03	11,82	20,2	1,1E-04
16	164	26,4	137,6	71,3	71,3	600	1,47E-03	11,82	20,2	1,2E-04
17	164	26,4	137,6	65,9	65,9	600	1,35E-03	11,82	20,2	1,1E-04
18	164	26,4	137,6	65,3	65,3	600	1,34E-03	11,82	20,2	1,1E-04

65.3 REFERENCES

- ASTM D 2434-68 (reapproved 2006) - Standard Test Methods for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

Allegati
Bacino del Fiume Vella

Allegato VIII - Schede di portata Giugno (2013)

TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	14/08/2013	A monte di Fonte Fredda	V1	1150	30

Riva SX	Sviluppo delle misure di portata																	Riepilogo			
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
	0	0																0	0	0	
	5	6	5		0,21													0,21	0,00263	0,001	
	10	6	5		0,32													0,32	0,003	0,001	
	15	6	5		0,4													0,4	0,003	0,001	
	20	6	5		0,2													0,2	0,00313	0,001	
	25	8	5		0,09	7,5		0,23										0,16	0,00388	0,001	
	30	8	5		0,07	7,5		0,35										0,21	0,004	0,001	
	35	8	5		0,11	7,5		0,02										0,065	0,006	0,000	
	45	8	5		0,38	7,5		0,2										0,29	0,00838	0,002	
	55	11	5		0,4	7,5		0,42	10				0,87					0,56333	0,01125	0,006	
	65	16	5		0,11	7,5		0,59	10				0,86	15			0,83		0,5975	0,01538	0,009
	75	16	5		0,37	7,5		0,32	10				0,63	15			0,86		0,545	0,012	0,007
	80	16	5		0,31	7,5		0,47	10				0,55	15			0,61		0,485	0,00781	0,004
	85	13	5		0,08	7,5		0,01	10				0,16						0,08333	0,00831	0,001
	95	0																	0	0	0
																	0,034				

N° misure / m ²	338,0	T (°C): 9,5	pH: 8,22	Conducibilità: 378 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	34,2
----------------------------	-------	-------------	----------	--------------------------	--------------------	------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

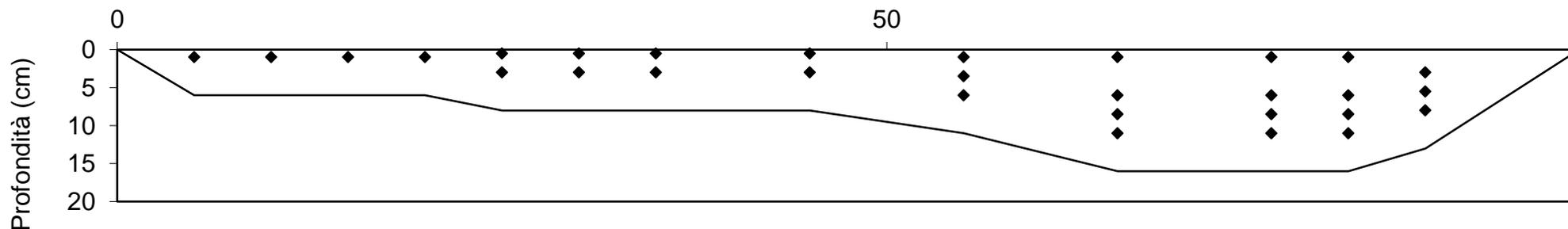


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	12/06/2013	A valle di Fonte Cicuta	V2	1113	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
		0	0																0	0	0
	5	16	5		0,43	10		0,6	15		0,09							0,37333	0,0105	0,004	
	15	12	5		0,2	10		0,35										0,275	0,013	0,004	
	25	16	5		0,55	10		0,57	15		0,2							0,44	0,0155	0,007	
	35	16	5		0,53	10		0,8	15		0,82							0,71667	0,01575	0,011	
	45	14	5		0,49	10		0,61										0,55	0,01425	0,008	
	55	14	5		0,18	10		0,66										0,42	0,014	0,006	
	65	14	5		0,08	10		0,14										0,11	0,01425	0,002	
	75	16	5		0,07	10		0,08	15		0,11							0,08667	0,01513	0,001	
	85	11	5		0,11	10		0,14										0,125	0,01125	0,001	
	95	8	5		0,3													0,3	0,00813	0,002	
	105	6	5		0,52													0,52	0,00438	0,002	
	110	0																0	0	0	
																			0,048		

N° misure / m ²	176,3	T (°C): 12,9	pH: 8,01	Conducibilità: 355 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	48,3
----------------------------	-------	--------------	----------	--------------------------	--------------------	------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

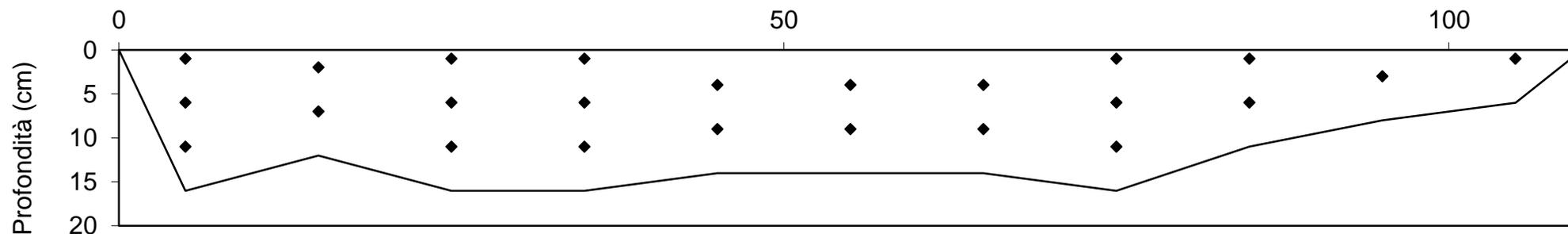


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	12/06/2013	A valle di Fonte di Nunzio	V3	1063	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
		0	3																0	0	0
	5	16	5		0,01	10		0,04	15		0,08							0,04333	0,01119	0,000	
	15	16	5		0,09	10		0,1	15		0,17							0,12	0,0165	0,002	
	25	20	5		0,12	10		0,19	15		0,23							0,18	0,01963	0,004	
	35	21	5		0,14	10		0,26	15		0,29	20		0,33				0,255	0,021	0,005	
	45	22	5		0,25	10		0,47	15		0,51	20		0,58				0,4525	0,03338	0,015	
	65	24	5		0,48	10		0,56	15		0,64	20		0,69				0,5925	0,04725	0,028	
	85	23	5		0,51	10		0,57	15		0,59	20		0,7				0,5925	0,04575	0,027	
	105	21	5		0,45	10		0,51	15		0,53	20		0,59				0,52	0,0425	0,022	
	125	21	5		0,33	10		0,42	15		0,48	20		0,51				0,435	0,03088	0,013	
	135	16	5		0,27	10		0,33	15		0,44							0,34667	0,01625	0,006	
	145	13	5		0,19	10		0,27										0,23	0,01325	0,003	
	155	12	5		0,11	10		0,16										0,135	0,00838	0,001	
	160	0																0	0	0	
																					0,127

N° misure / m² 130,7 T (°C): 8,3 pH: 8,13 Conducibilità: 333 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 126,9

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

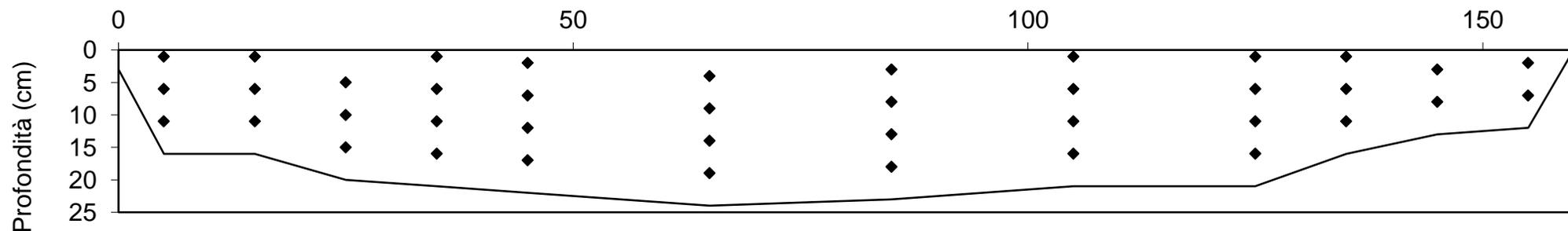


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	15/06/2013	A monte di Fonte Romana	V4	1301	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	0																0	0
	17	6	5		0,07													0,07	0,00683	0,000
	27	6	5		0,21													0,21	0,012	0,003
	47	18	5		0,05	10		0,05	15		0,18							0,09333	0,0335	0,003
	67	20	5		0,03	10		0,21	15		0,33							0,19	0,03925	0,007
	87	19	5		0,21	10		0,25	15		0,31							0,25667	0,0375	0,010
	107	16	5		0,061	10		0,09	15		0,17							0,107	0,0245	0,003
	117	14	5		0,085	10		0,12										0,1025	0,01388	0,001
	127	11	5		0,09	10		0,18										0,135	0,01075	0,001
	137	6	5		0,1													0,1	0,00663	0,001
	147	6	5		0,03													0,03	0,00375	0,000
	150	2																0	0	0
																		0,029		

N° misure / m² 106,1 T (°C): 7,2 pH: 8,27 Conducibilità: 299 µS/cm **PORTATA TOTALE L/s** **29,5**

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

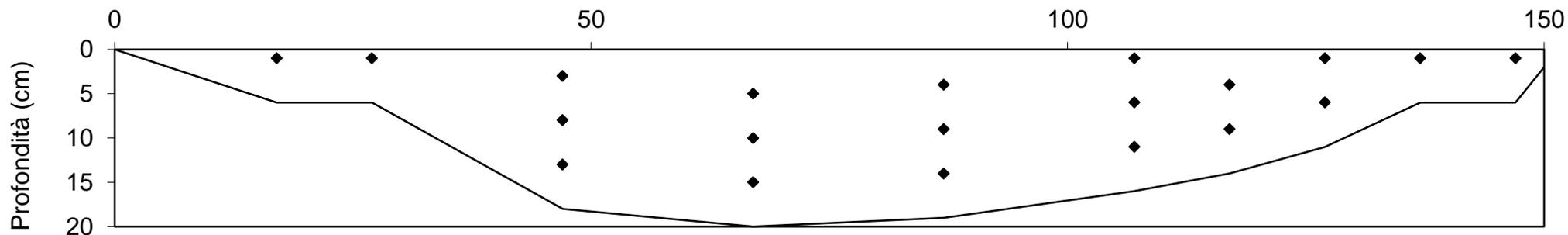


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	15/06/2013	A valle di Fonte Romana	V5	1108	30

Riva SX	Misure di Profondità e Velocità																	Riepilogo			
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
	0	0																0	0	0	
	5	6	5		0,21													0,21	0,00475	0,001	
	15	11	5		0,25	10		0,25									0,25	0,01038	0,003		
	25	11	5		0,2	10		0,2									0,2	0,01113	0,002		
	35	12	5		0,14	10		0,2									0,17	0,01188	0,002		
	45	12	5		0,16	10		0,2									0,18	0,01213	0,002		
	55	13	5		0,14	10		0,17									0,155	0,013	0,002		
	65	14	5		0,12	10		0,19									0,155	0,01388	0,002		
	75	14	5		0,19	10		0,22									0,205	0,014	0,003		
	85	14	5		0,2	10		0,2									0,2	0,01425	0,003		
	95	16	5		0,09	10		0,09	15		0,11						0,09667	0,01588	0,002		
	105	17	5		0,05	10		0,05	15		0,08						0,06	0,01269	0,001		
	110	18	5		0,001	10		0,001	15		0,04						0,014	0,00888	0,000		
	115	17	5		0,001	10		0,001	15		0,02						0,00733	0,0075	0,000		
	120	0															0	0	0		
																			0,022		

N° misure / m ²	192,9	T (°C): 10,08	pH: 8,29	Conducibilità: 311 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	22,4
----------------------------	-------	---------------	----------	--------------------------	--------------------	------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

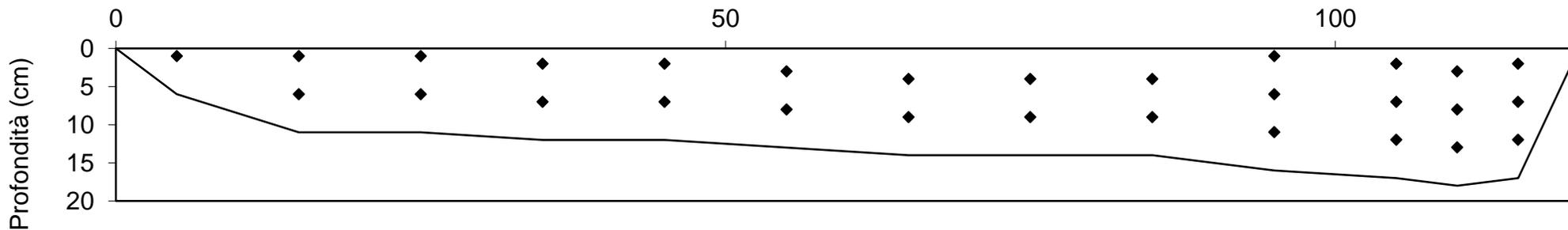


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	12/06/2013	A monte della captazione	V6	1020	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s
		0	2														
	5	21	5		0,004	20		0,01									
	30	32	5		0,007	20		0,01									
	55	40	5		0,02	20		0,02	35		0,02						
	80	45	5		0,04	20		0,01	35		0,04	45		0,04			
	105	51	5		0,04	20		0,05	35		0,06	45		0,06	50		0,09
	155	52	5		0,12	20		0,12	35		0,14	45		0,12	50		0,09
	205	51	5		0,16	20		0,19	35		0,14	45		0,15	50		0,14
	255	33	5		0,24	20		0,23									
	280	35	5		0,23	20		0,31	35		0,32						
	305	39	5		0,17	20		0,31	35		0,36						
	330	40	5		0,04	20		0,39	35		0,38						
	355	40	5		0,17	20		0,39	35		0,43						
	380	14															
	381	0															

Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
0	0	0
0,007	0,03375	0,000
0,0085	0,07906	0,001
0,02	0,09906	0,002
0,0325	0,11281	0,004
0,06	0,19	0,011
0,118	0,25875	0,031
0,156	0,24438	0,038
0,235	0,13563	0,032
0,28667	0,08813	0,025
0,28	0,09656	0,027
0,27	0,09969	0,027
0,33	0,09188	0,030
0	0,02615	0,000
0	0	0

0,228

N° misure / m ²	25,7	T (°C): 10,1	pH: 7,87	Conducibilità: 328 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	228,0
----------------------------	------	--------------	----------	--------------------------	---------------------------	--------------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

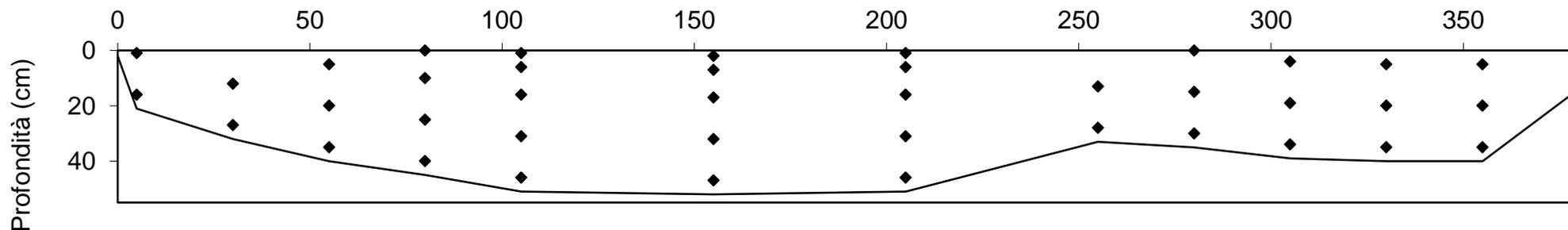


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	12/06/2013	A valle della captazione	V7	927	30

Riva SX	Misure di portata																	Riepilogo		
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	25	15																0	0,03375	0,000
	50	18						15		0,07							0,07	0,04406	0,003	
	75	18	5		0,06	10		0,16	15	0,34							0,18667	0,04469	0,008	
	100	17	5		0,11	10		0,18	15	0,22							0,17	0,04188	0,007	
	125	14	5		0,02	10		0,11									0,065	0,03656	0,002	
	150	16	5		0,14	10		0,3	15	0,3							0,24667	0,03969	0,010	
	175	17	5		0,26	10		0,46	15	0,46							0,39333	0,04188	0,016	
	200	16	5		0,2	10		0,35	15	0,37							0,30667	0,03906	0,012	
	225	12	5		0,26	10		0,26									0,26	0,03344	0,009	
	250	19	5		0,42	10		0,38	15	0,47							0,42333	0,04438	0,019	
	275	16	5		0,34	10		0,54	15	0,56							0,48	0,03625	0,017	
	300	1															0	0	0	
																	0,104			

N° misure / m² 59,7 T (°C): 10,9 pH: 8,25 Conducibilità: 320 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 104,0

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

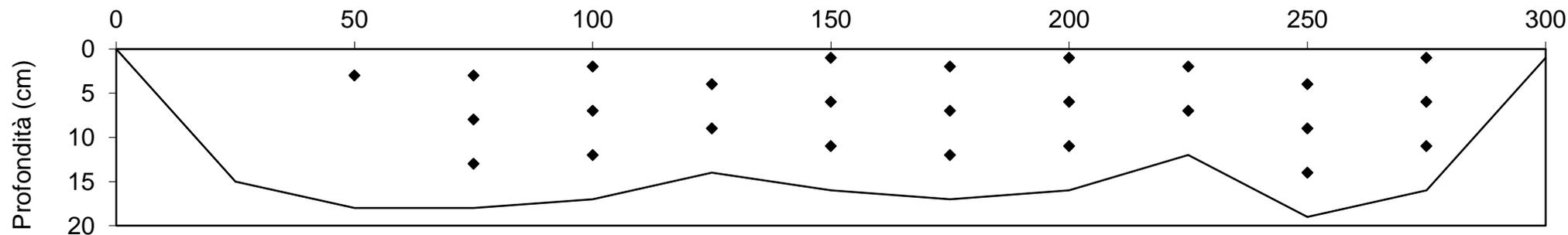


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	14/06/2013	A valle di Fonte La Fara	V8	920	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm		Prof. Totale cm		cm dal fondo		N° giri		Veloc. m/s		cm dal fondo		N° giri		Veloc. m/s		cm dal fondo		N° giri		Veloc. m/s		Veloc. media m/s		Area parz. m ²		Portate parz. m ³ /s	
	0	0																										
	0	0																					0	0	0			
	20	11	5		0,18	10		0,13															0,155	0,01413	0,002			
	30	14	5		0,11	10		0,11															0,11	0,01313	0,001			
	40	10	5		0,05																		0,05	0,0105	0,001			
	50	10	5		0,01																		0,01	0,01138	0,000			
	60	21	5		0,06		15		0,02	20		0,08											0,05333	0,03063	0,002			
	80	23	5		0,21	10		0,18	15		0,28	20		0,24									0,2275	0,045	0,010			
	100	21	5		0,34	10		0,37	15		0,43	20		0,46									0,4	0,04275	0,017			
	120	22	5		0,26	10		0,26	15		0,26	20		0,33									0,2775	0,03263	0,009			
	130	21	5		0,18	10		0,21	15		0,26	20		0,29									0,235	0,02063	0,005			
	140	17	5		0,25	10		0,33	15		0,31												0,29667	0,01738	0,005			
	150	16	5		0,31	10		0,31	15		0,35												0,32333	0,01613	0,005			
	160	16	5		0,36	10		0,38	15		0,41												0,38333	0,01538	0,006			
	170	11	5		0,4	10		0,42															0,41	0,01138	0,005			
	180	9	5		0,32																		0,32	0,00888	0,003			
	190	6	5		0,23																		0,23	0,00588	0,001			
	200	2																					0	0	0			0,072

N° misure / m ²	128,5	T (°C): n.m.	pH: n.m.	Conducibilità: n.m.	PORTATA TOTALE L/s	72,3
----------------------------	-------	--------------	----------	---------------------	--------------------	------

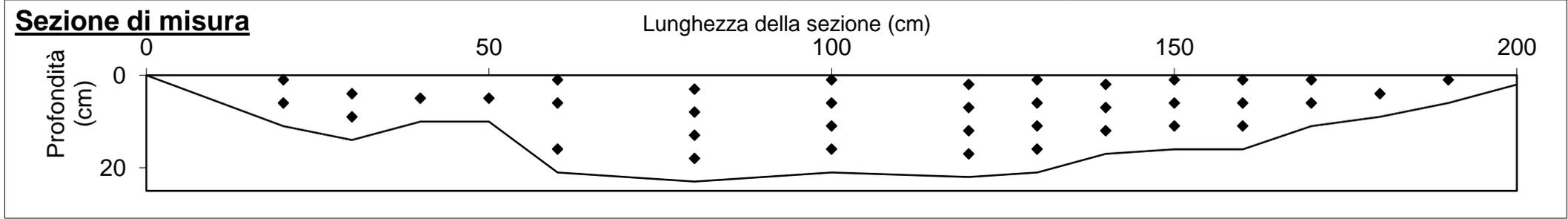
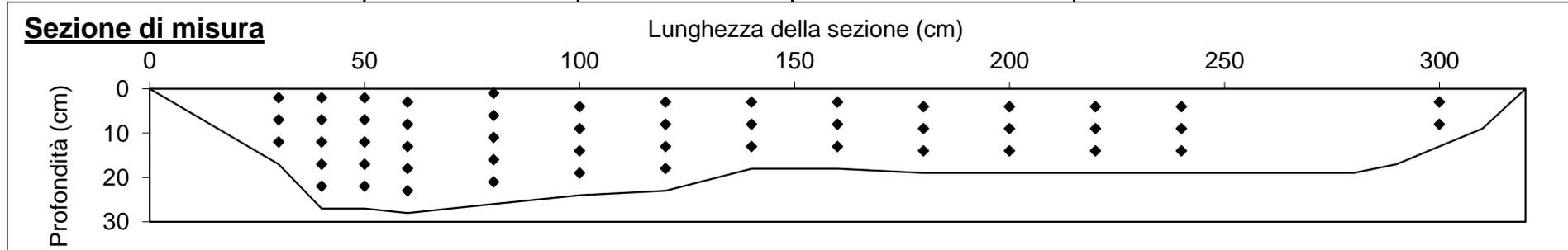


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua		Data		Località sezione				Sigla		Quota sez. (m)		Tempo di misura	
Vella		14/06/2013		Confluenza V7 e V8				V9		850		30	

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	0																0	0
	30	17	5		0,05	10		0,05	15		0,06							0,05333	0,02888	0,002
	40	27	5		0,05	10		0,08	15		0,12	20		0,12	25		0,13	0,1	0,02575	0,003
	50	27	5		0,05	10		0,16	15		0,16	20		0,16	25		0,13	0,132	0,02713	0,004
	60	28	5		0,12	10		0,17	15		0,19	20		0,18	25		0,18	0,168	0,04138	0,007
	80	26	5		0,2	10		0,23	15		0,25	20		0,31	25		0,31	0,26	0,052	0,014
	100	24	5		0,2	10		0,33	15		0,34	20		0,36				0,3075	0,04825	0,015
	120	23	5		0,3	10		0,3	15		0,37	20		0,38				0,3375	0,045	0,015
	140	18	5		0,34	10		0,39	15		0,39							0,37333	0,03725	0,014
	160	18	5		0,34	10		0,37	15		0,41							0,37333	0,03625	0,014
	180	19	5		0,38	10		0,41	15		0,41							0,4	0,03775	0,015
	200	19	5		0,36	10		0,4	15		0,4							0,38667	0,038	0,015
	220	19	5		0,22	10		0,4	15		0,4							0,34	0,038	0,013
	240	19	5		0,23	10		0,3	15		0,3							0,27667	0,038	0,011
	260	19	5		0,17	10		0,12	15		0,12							0,13667	0,038	0,005
	280	19	5		0,04	10		0,07	15		0,03							0,04667	0,02825	0,001
	290	17	5		0,02	10		0,02	15		0,05							0,03	0,01675	0,001
	300	13	5		0,02	10		0,02										0,02	0,013	0,000
	310	9																0	0,00838	0,000
	320	0																0	0	0
																				0,146

N° misure / m ²	100,3	T (°C): n.m.	pH: n.m.	Conducibilità: n.m.	PORTATA TOTALE L/s	146,1
----------------------------	-------	--------------	----------	---------------------	---------------------------	--------------



Allegato IX - Schede di portata Agosto (2013)

TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	30/08/2013	A monte di Fonte Fredda	V1	1150	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	0																0	0
	10	1																0	0,001	0,000
	20	2																0	0,00238	0,000
	30	6	5		0,38													0,38	0,00406	0,002
	35	7	5		0,44													0,44	0,00375	0,002
	40	12	5		0,44	10		0,52										0,48	0,00569	0,003
	45	12	5		0,35	10		0,44										0,395	0,006	0,002
	50	12	5		0,44	10		0,44										0,44	0,006	0,003
	55	12	5		0,31	10		0,31										0,31	0,00581	0,002
	60	9	5		0,19													0,19	0,00463	0,001
	65	8	5		0,09													0,09	0,004	0,000
	70	7	5		0,03													0,03	0,0035	0,000
	75	6	5		0,03													0,03	0,00306	0,000
	80	6	5		0,03													0,03	0,00263	0,000
	85	0																0	0	0
																				0,014

N° misure / m ²	285,7	T (°C): 10,3	pH: 8,1	Conducibilità: 379 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	14,3
----------------------------	-------	--------------	---------	--------------------------	--------------------	------

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

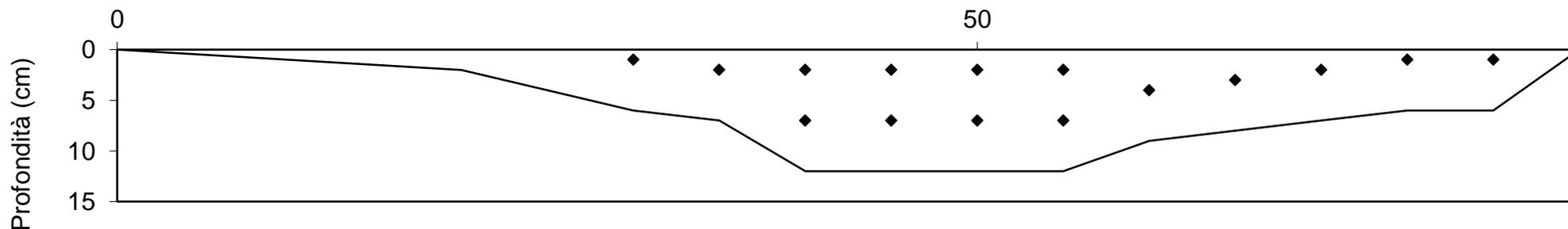


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	30/08/2013	A valle di Fonte Cicuta	V2	1113	30

Riva SX	Misure di Velocità e Profondità																Riepilogo			
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	5	12	5	37	0,15962	10	91	0,34347										0,25154	0,00556	0,001
	10	17	5	39	0,16614	10	67	0,26027	15	86	0,32613							0,25085	0,01244	0,003
	20	17	5	49	0,19874	10	51	0,20526	15	58	0,22907							0,21102	0,02031	0,004
	35	12	5	41	0,17266	10	43	0,17918										0,17592	0,01819	0,003
	50	8	5	15	0,0879													0,0879	0,01331	0,001
	65	11	5	14	0,08464	10	17	0,09442										0,08953	0,01594	0,001
	80	11	5	35	0,1531	10	38	0,16288										0,15799	0,01338	0,002
	90	8	5	93	0,3504													0,3504	0,00813	0,003
	100	6	5	79	0,30187													0,30187	0,006	0,002
	110	4	3	36	0,15636													0,15636	0,00425	0,001
	120	4	3	126	0,4648													0,4648	0,00275	0,001
	125	0																0	0	0
																		0,023		

N° misure / m² 158,0 T (°C): 12,9 pH: 8,25 Conducibilità: 331 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 23,3

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

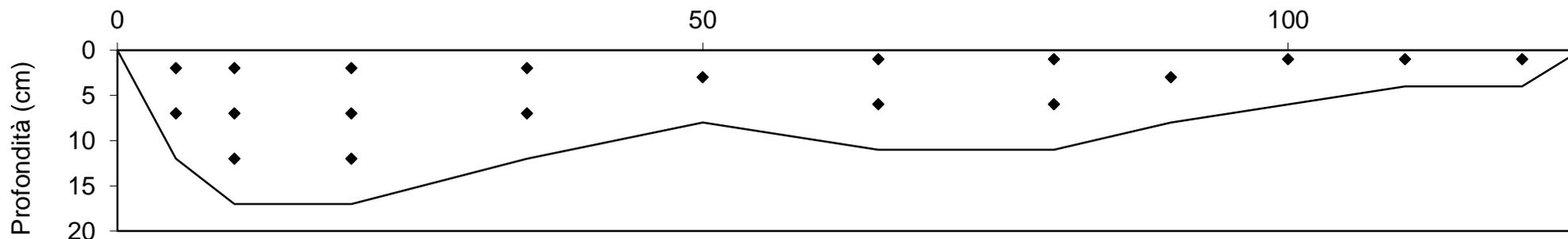


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	30/08/2013	A valle di Fonte di Nunzio	V3	1063	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri		Veloc. m/s		cm dal fondo		N° giri		Veloc. m/s		cm dal fondo		N° giri		Veloc. m/s		Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s																			
				N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s																								
	0	0																		0	0	0																			
	10	11	5	0	0,039	10	1	0,04226												0,04063	0,00963	0,000																			
	20	11	5	0	0,039	10	9	0,06834												0,05367	0,011	0,001																			
	30	11	5	4	0,05204	10	16	0,09116												0,0716	0,01469	0,001																			
	45	16	5	14	0,08464	10	48	0,19548	15	71	0,27413									0,18475	0,0225	0,004																			
	60	13	5	56	0,22213	10	82	0,31227													0,2672	0,02063	0,006																		
	75	16	5	39	0,16614	10	103	0,38507	15	130	0,47867										0,34329	0,02344	0,008																		
	90	16	5	133	0,48907	10	142	0,52027	15	142	0,52027										0,50987	0,024	0,012																		
	105	16	5	53	0,21173	10	130	0,47867	15	130	0,47867										0,38969	0,02419	0,009																		
	120	17	5	98	0,36773	10	102	0,3816	15	115	0,42667										0,392	0,02513	0,010																		
	135	16	5	101	0,37813	10	105	0,392	15	107	0,39893										0,38969	0,02019	0,008																		
	145	16	5	101	0,37813	10	113	0,41973	15	113	0,41973										0,40587	0,0155	0,006																		
	155	12	5	104	0,38853	10	117	0,4336													0,41107	0,01238	0,005																		
	165	11	5	108	0,4024	10	108	0,4024													0,4024	0,01063	0,004																		
	175	7	5	102	0,3816																0,3816	0,00738	0,003																		
	185	6	5	95	0,35733																0,35733	0,00425	0,002																		
	190	0																			0	0	0																		
																																									0,079

N° misure / m ²	142,6	T (°C): 8,6	pH: 8,08	Conducibilità: 327 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	79,1
----------------------------	-------	-------------	----------	--------------------------	---------------------------	-------------



TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	31/08/2013	A monte di fonte Romana	V4	1301	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	0																0	0
	10	7	5		0,14													0,14	0,007	0,001
	20	14	5		0,1	10		0,13										0,115	0,01313	0,002
	30	14	5		0,08	10		0,13										0,105	0,01438	0,002
	40	17	5		0,05	10		0,11	15		0,17							0,11	0,02513	0,003
	60	17	5		0,08	10		0,16	15		0,18							0,14	0,034	0,005
	80	17	5		0,15	10		0,21	15		0,28							0,21333	0,03325	0,007
	100	14	5		0,18	10		0,22										0,2	0,0215	0,004
	110	12	5		0,17	10		0,17										0,17	0,01175	0,002
	120	8	5		0,14													0,14	0,00838	0,001
	130	7	5		0,1													0,1	0,00713	0,001
	140	7	5		0,05													0,05	0,00688	0,000
	150	6	5		0,002													0,002	0,00538	0,000
	160	0																0	0	0
																		0,027		

N° misure / m² 117,1 T (°C): 8,1 pH: 7,96 Conducibilità: 300 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 27,2

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

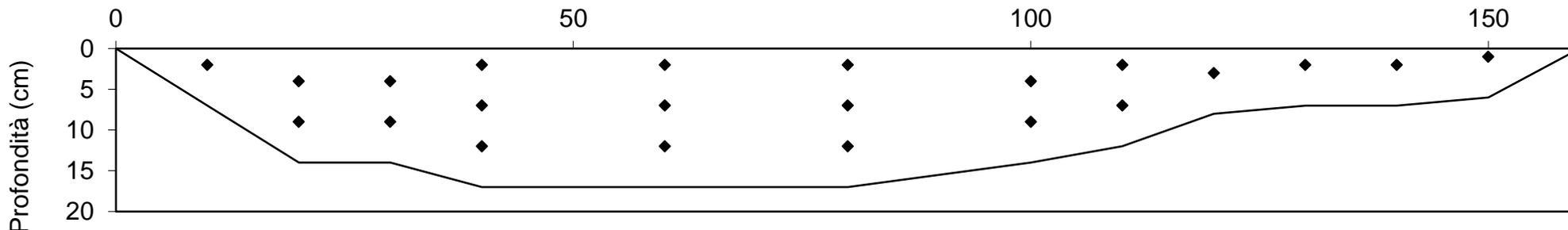


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	31/08/2013	A valle di Fonte Romana	V5	1108	30

Riva SX	Sviluppo misure																	Riepilogo		
	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
	0	0																0	0	0
	10	2																0	0,00188	0,000
	20	3																0	0,003	0,000
	30	4																0	0,00306	0,000
	35	4																0	0,00519	0,000
	45	7	5		0													0,12	0,00838	0,001
	55	8	5		0,12													0,19	0,01163	0,002
	65	12	5		0,19	10		0,19										0,09	0,01275	0,001
	75	13	5		0,04	10		0,14										0,035	0,01213	0,000
	85	12	5		0,01	10		0,06										0,14	0,00906	0,001
	90	12	5		0,13	10		0,15										0,175	0,00638	0,001
	95	13	5		0,17	10		0,18										0,18	0,00606	0,001
	95	12	5		0,14	10		0,22										0,155	0,006	0,001
	100	12	5		0,11	10		0,2										0,085	0,00569	0,000
	105	12	5		0,03	10		0,14										0	0,00338	0,000
	110	7	5		0													0	0	0
	115	0																0	0	0
																	0,010			

N° misure / m ²	200,9	T (°C): 12,5	pH: 8,12	Conducibilità: 318 µS/cm	PORTATA TOTALE L/s	9,7
----------------------------	-------	--------------	----------	--------------------------	--------------------	-----

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

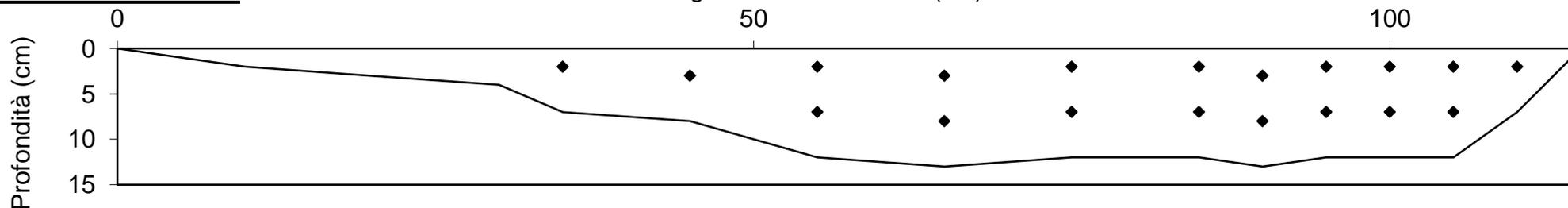


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	31/08/2013	A monte della captazione	V6	1020	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
		0	2																0	0	0
	15	7	5	3	0,04878													0,04878	0,01463	0,001	
	40	12	5	5	0,0553	10	11	0,07486										0,06508	0,03031	0,002	
	65	18	5	10	0,0716	10	19	0,10094	15	19	0,10094							0,09116	0,04469	0,004	
	90	23	5	18	0,09768	10	24	0,11724	15	24	0,11724	20	25	0,1205				0,11317	0,05625	0,006	
	115	24	5	21	0,10746	10	25	0,1205	15	25	0,1205	20	25	0,1205				0,11724	0,06063	0,007	
	140	27	5	30	0,1368	10	41	0,17266	15	41	0,17266	20	39	0,16614	25	39	0,16614	0,16288	0,10156	0,017	
	190	29	5	18	0,09768	10	18	0,09768	15	21	0,10746	20	26	0,12376	25	26	0,12376	0,11007	0,13938	0,015	
	240	22	5	6	0,05856	10	25	0,1205	15	31	0,14006	20	31	0,14006				0,1148	0,1175	0,013	
	290	27	5	24	0,11724	10	42	0,17592	15	42	0,17592	20	53	0,21173	25	70	0,27067	0,1903	0,09688	0,018	
	315	23	5	61	0,23947	10	59	0,23253	15	59	0,23253	20	65	0,25333				0,23947	0,05969	0,014	
	340	26	5	45	0,1857	10	52	0,20852	15	52	0,20852	20	70	0,27067				0,21835	0,06281	0,014	
	365	22	5	33	0,14658	10	51	0,20526	15	51	0,20526	20	62	0,24293				0,20001	0,04525	0,009	
	385	0																0	0	0	
																					0,121

N° misure / m² 54,2 T (°C): 8,7 pH: 8,18 Conducibilità: 329 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 121,1

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

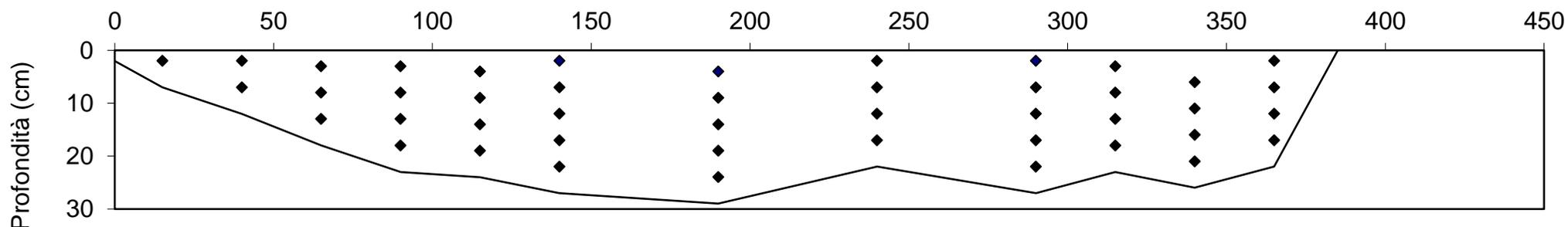


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	30/08/2013	A valle di Fonte La Fara	V8	920	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s
		0	3																0	0
	10	7	5		0													0	0,00738	0,000
	20	14	5		0,003	10		0,005										0,004	0,01738	0,000
	35	18	5		0	10		0,01	15		0,02							0,01	0,02625	0,000
	50	18	5		0,11	10		0,16	15		0,17							0,14667	0,0315	0,005
	70	18	5		0,13	10		0,16	15		0,18							0,15667	0,03575	0,006
	90	17	5		0,13	10		0,13	15		0,13							0,13	0,03425	0,004
	110	17	5		0,12	10		0,12	15		0,13							0,12333	0,02975	0,004
	125	17	5		0,22	10		0,28	15		0,28							0,26	0,02456	0,006
	140	12	5		0,26	10		0,28										0,27	0,01875	0,005
	155	11	5		0,3	10		0,31										0,305	0,01519	0,005
	170	3																0	0,006	0,000
	190	0																0	0	0
																			0,035	

N° misure / m² 101,3 T (°C): 11,4 pH: 8,18 Conducibilità: 343 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 34,8

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)

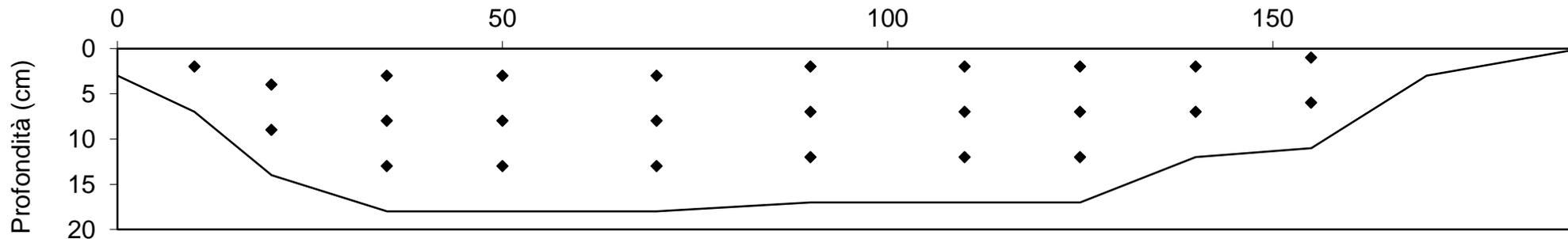


TABELLA PER LO SVILUPPO DELLE MISURE DI PORTATA

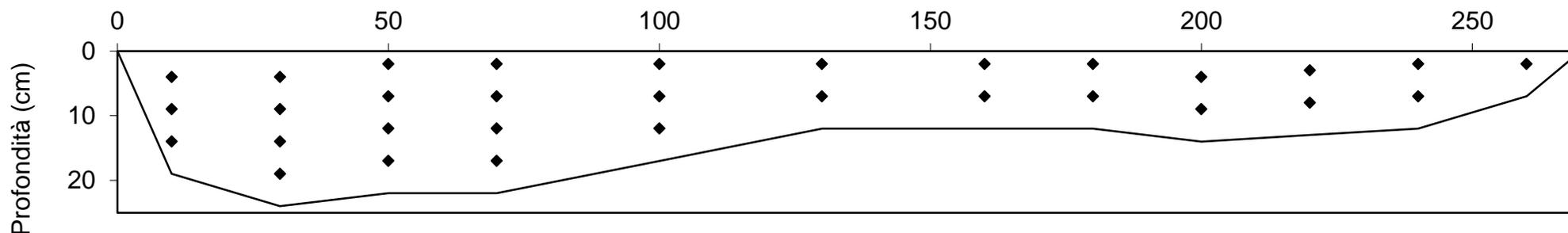
Corso d'acqua	Data	Località sezione	Sigla	Quota sez. (m)	Tempo di misura
Vella	30/08/2013	Conflenza delle V7-V8	V9	850	30

Riva SX	Dist. Vertic. cm	Prof. Totale cm	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	cm dal fondo	N° giri	Veloc. m/s	Veloc. media m/s	Area parz. m ²	Portate parz. m ³ /s	
		0	0																0	0	0
	10	19	5		0,03	10		0,061	15		0,061							0,05067	0,02738	0,001	
	30	24	5		0,03	10		0,08	15		0,08	20		0,08				0,0675	0,04625	0,003	
	50	22	5		0,1	10		0,1	15		0,12	20		0,12				0,11	0,0445	0,005	
	70	22	5		0,12	10		0,12	15		0,14	20		0,14				0,13	0,05313	0,007	
	100	17	5		0,1	10		0,13	15		0,16							0,13	0,051	0,007	
	130	12	5		0,15	10		0,15										0,15	0,03788	0,006	
	160	12	5		0,17	10		0,17										0,17	0,03	0,005	
	180	12	5		0,12	10		0,15										0,135	0,0245	0,003	
	200	14	5		0,09	10		0,11										0,1	0,02725	0,003	
	220	13	5		0,08	10		0,08										0,08	0,026	0,002	
	240	12	5		0,02	10		0,04										0,03	0,023	0,001	
	260	7	5		0,01													0,01	0,01088	0,000	
	270	0																0	0	0	
																					0,043

N° misure / m² 77,2 T (°C): 11,8 pH: 8,25 Conducibilità: 344 µS/cm PORTATA TOTALE L/s 42,6

Sezione di misura

Lunghezza della sezione (cm)



Allegato X - Schede analisi granulometrica



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/
Sample No. CG1 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

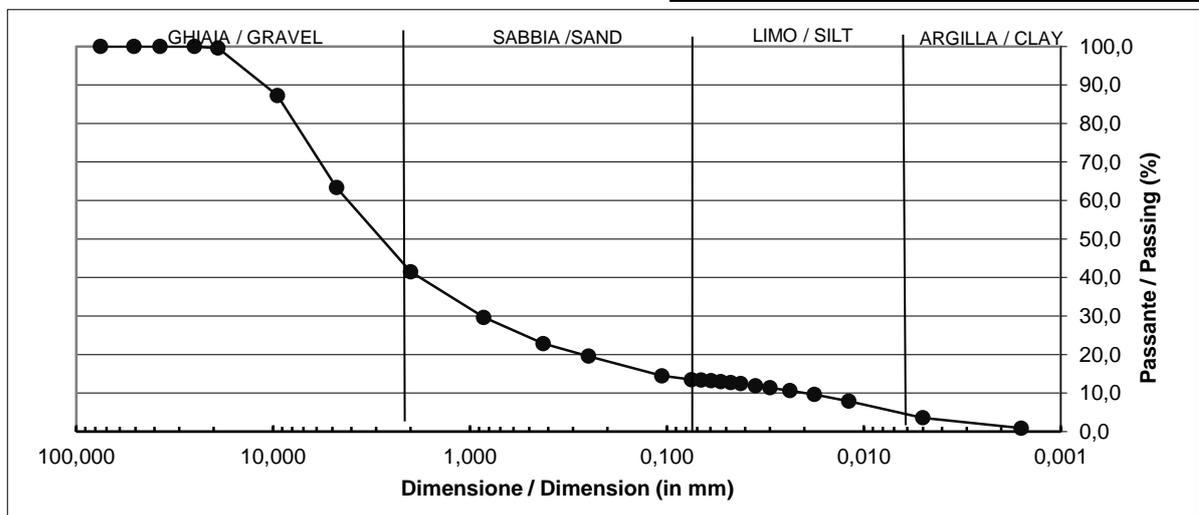
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	2.004,40 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	58,5 %
SABBIA / SAND	28,0 %
LIMO / SILT	9,9 %
ARGILLA / CLAY	3,6 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia limosa con ghiaia</i>
USCS Classification
<i>SM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	100,00	0,00
3/4 inch	19,000	99,57	0,43
3/8 inch	9,500	87,25	12,75
4	4,750	63,35	36,65
10	2,000	41,50	58,50
20	0,850	29,62	70,38
40	0,425	22,83	77,17
60	0,250	19,58	80,42
140	0,106	14,47	85,53
200	0,075	13,48	86,52
AEROMETRIA	0,067	13,35	86,65
	0,060	13,19	86,81
	0,053	12,98	87,02
	0,047	12,72	87,28
	0,042	12,43	87,57
	0,035	11,90	88,10
	0,030	11,35	88,65
	0,024	10,61	89,39
	0,018	9,62	90,38
	0,012	7,89	92,11
0,005	3,55	96,45	
0,002	0,89	99,11	





Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./
Sample CG2 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA

GRAIN SIZE ANALYSIS

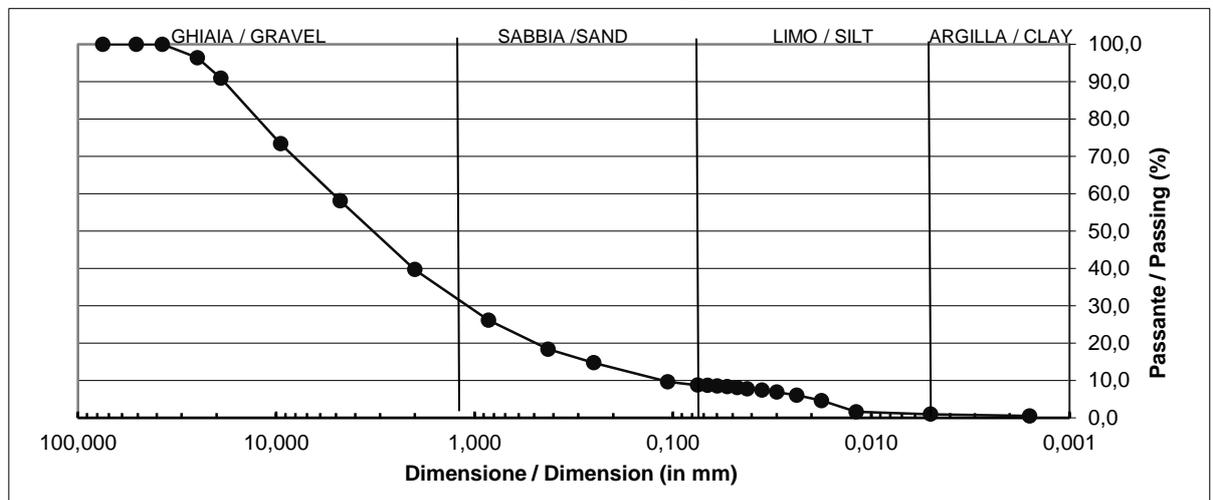
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	2.110,70 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	60,3 %
SABBIA / SAND	31,0 %
LIMO / SILT	7,7 %
ARGILLA / CLAY	1,0 %

Classificazione AGI	
<i>Sabbia ben graduata con limo e ghiaia</i>	
USCS Classification	
SW/SM	

Setaccio/ Sieve	ϕ	Passante / Passing	Trattenuto / Retained
ASTM	(mm)	(%)	(%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	96,39	3,61
3/4 inch	19,000	90,89	9,11
3/8 inch	9,500	73,36	26,64
4	4,750	58,03	41,97
10	2,000	39,68	60,32
20	0,850	26,12	73,88
40	0,425	18,33	81,67
60	0,250	14,68	85,32
140	0,106	9,62	90,38
200	0,075	8,70	91,30
AEROMETRIA	0,067	8,61	91,39
	0,060	8,48	91,52
	0,053	8,31	91,69
	0,047	8,02	91,98
	0,042	7,70	92,30
	0,035	7,39	92,61
	0,030	6,85	93,15
	0,024	6,03	93,97
	0,018	4,56	95,44
	0,012	1,56	98,44
	0,005	0,95	99,05
0,002	0,48	99,52	





Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./ Sample CG3 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

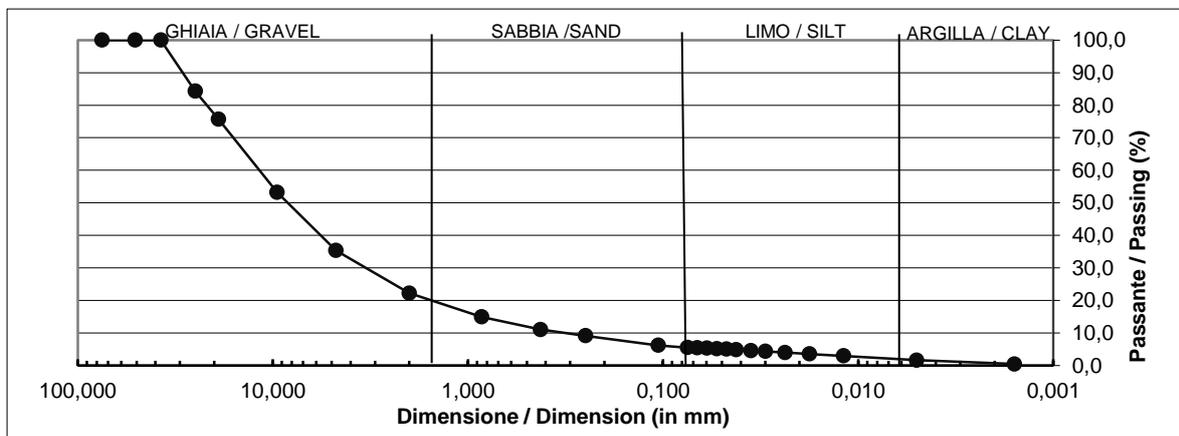
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	2.061,40 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	77,8 %
SABBIA / SAND	16,7 %
LIMO / SILT	3,8 %
ARGILLA / CLAY	1,6 %

Classificazione AGI	
<i>Ghiaia ben graduata con limo e sabbia</i>	
USCS Classification	
<i>GW-GM</i>	

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	84,27	15,73
3/4 inch	19,000	75,73	24,27
3/8 inch	9,500	53,18	46,82
4	4,750	35,32	64,68
10	2,000	22,24	77,76
20	0,850	14,91	85,09
40	0,425	11,05	88,95
60	0,250	9,14	90,86
140	0,106	6,19	93,81
200	0,075	5,50	94,50
AEROMETRIA	0,067	5,43	94,57
	0,060	5,32	94,68
	0,053	5,18	94,82
	0,047	5,02	94,98
	0,042	4,85	95,15
	0,035	4,60	95,40
	0,030	4,35	95,65
	0,024	4,01	95,99
	0,018	3,55	96,45
	0,012	2,96	97,04
	0,005	1,65	98,35
0,002	0,48	99,52	





Provenienza del campione / Provenance of sample **Campo di Giove (AQ)**

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./ Sample **CG4** Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by **Pizzarelli Paola**

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

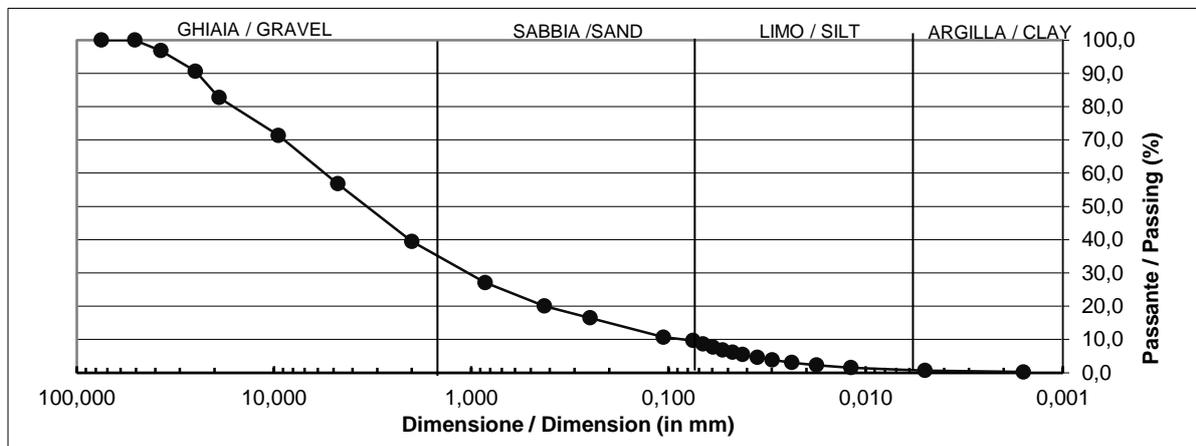
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco / Weight of dry soil	3.155,10 g
--	------------

GHIAIA / GRAVEL	60,5 %
SABBIA / SAND	29,8 %
LIMO / SILT	9,0 %
ARGILLA / CLAY	0,6 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia ben graduata con limo e ghiaia</i>
USCS Classification
<i>SW-SM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	96,84	3,16
1 inch	25,000	90,65	9,35
3/4 inch	19,000	82,74	17,26
3/8 inch	9,500	71,35	28,65
4	4,750	56,82	43,18
10	2,000	39,47	60,53
20	0,850	27,09	72,91
40	0,425	20,04	79,96
60	0,250	16,51	83,49
140	0,106	10,67	89,33
200	0,075	9,70	90,30
AEROMETRIA	0,067	8,64	91,36
	0,060	7,70	92,30
	0,053	6,86	93,14
	0,047	6,12	93,88
	0,042	5,45	94,55
	0,035	4,59	95,41
	0,030	3,86	96,14
	0,024	3,07	96,93
	0,018	2,30	97,70
	0,012	1,54	98,46
	0,005	0,65	99,35
	0,002	0,20	99,80





Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./ Sample CG5 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA

GRAIN SIZE ANALYSIS

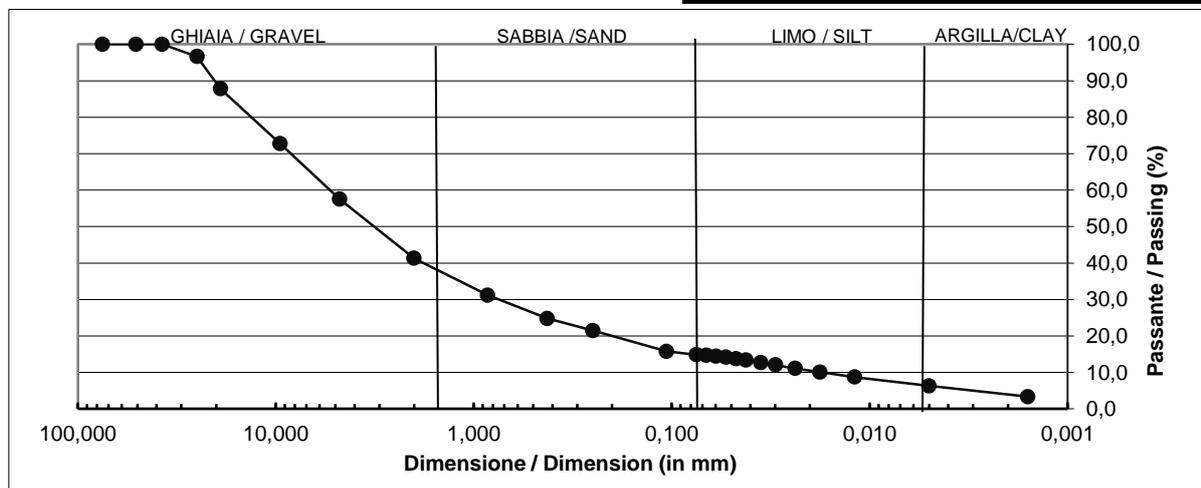
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	2.292,70 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	58,7 %
SABBIA / SAND	26,5 %
LIMO / SILT	8,5 %
ARGILLA / CLAY	6,3 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia limosa con ghiaia</i>
USCS Classification
<i>SM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	96,63	3,37
3/4 inch	19,000	87,80	12,20
3/8 inch	9,500	72,73	27,27
4	4,750	57,48	42,52
10	2,000	41,31	58,69
20	0,850	31,17	68,83
40	0,425	24,80	75,20
60	0,250	21,48	78,52
140	0,106	15,78	84,22
200	0,075	14,84	85,16
AEROMETRIA	0,067	14,69	85,31
	0,060	14,44	85,56
	0,053	14,14	85,86
	0,047	13,76	86,24
	0,042	13,36	86,64
	0,035	12,72	87,28
	0,030	12,03	87,97
	0,024	11,10	88,90
	0,018	10,06	89,94
	0,012	8,74	91,26
	0,005	6,30	93,70
0,002	3,35	96,65	





Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./
Sample CG6 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

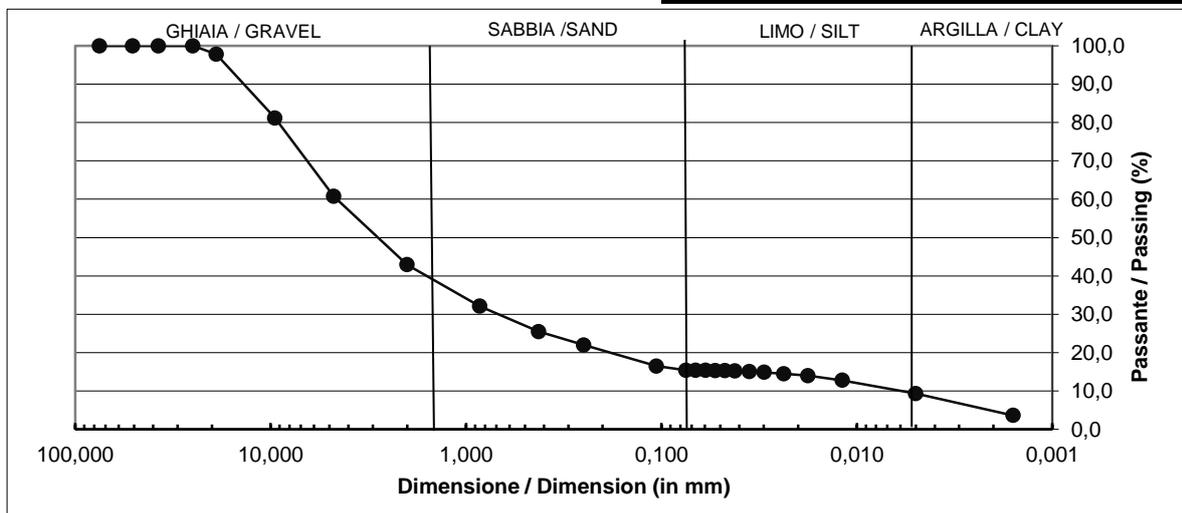
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	1.001,40 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	57,1 %
SABBIA / SAND	27,5 %
LIMO / SILT	6,1 %
ARGILLA / CLAY	9,3 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia argillosa con ghiaia</i>
USCS Classification
SC

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	100,00	0,00
3/4 inch	19,000	97,81	2,19
3/8 inch	9,500	81,16	18,84
4	4,750	60,71	39,29
10	2,000	42,91	57,09
20	0,850	32,10	67,90
40	0,425	25,46	74,54
60	0,250	21,97	78,03
140	0,106	16,47	83,53
200	0,075	15,38	84,62
AEROMETRIA	0,067	15,36	84,64
	0,060	15,33	84,67
	0,053	15,30	84,70
	0,047	15,25	84,75
	0,042	15,17	84,83
	0,035	15,02	84,98
	0,030	14,84	85,16
	0,024	14,47	85,53
	0,018	13,97	86,03
	0,012	12,76	87,24
	0,005	9,31	90,69
0,002	3,59	96,41	





Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./ Sample CG7 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA
GRAIN SIZE ANALYSIS

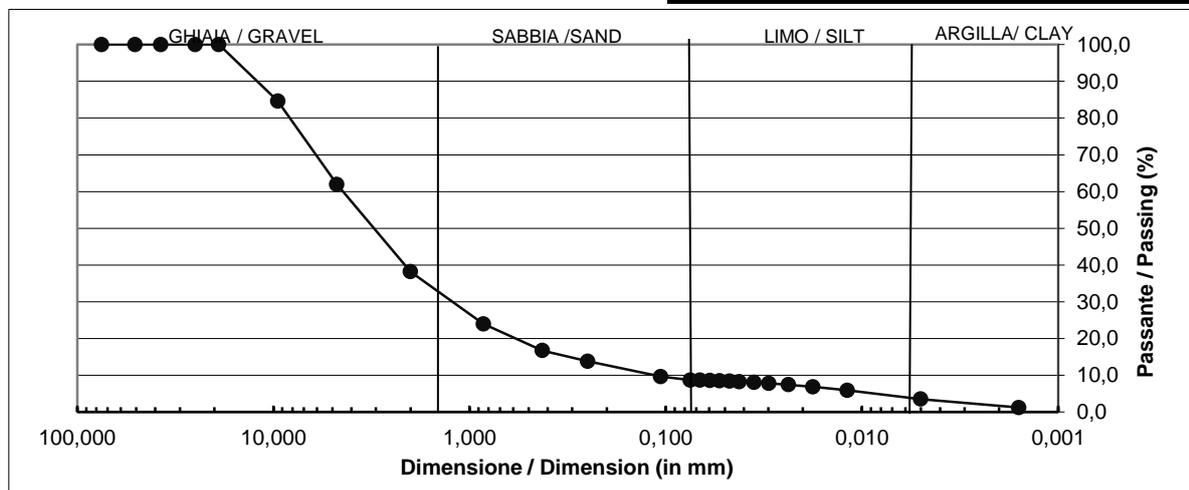
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	1.030,40 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	61,8 %
SABBIA / SAND	29,5 %
LIMO / SILT	5,2 %
ARGILLA / CLAY	3,5 %

Classificazione AGI	
<i>Sabbia ben graduata con limo e ghiaia</i>	
USCS Classification	
<i>SW-SM</i>	

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	100,00	0,00
3/4 inch	19,000	100,00	0,00
3/8 inch	9,500	84,64	15,36
4	4,750	61,96	38,04
10	2,000	38,20	61,80
20	0,850	23,99	76,01
40	0,425	16,72	83,28
60	0,250	13,81	86,19
140	0,106	9,66	90,34
200	0,075	8,70	91,30
AEROMETRIA	0,067	8,649	91,35
	0,060	8,566	91,43
	0,053	8,474	91,53
	0,047	8,363	91,64
	0,042	8,233	91,77
	0,035	8,030	91,97
	0,030	7,798	92,20
	0,024	7,410	92,59
	0,018	6,855	93,15
	0,012	5,883	94,12
	0,005	3,515	96,48
0,002	1,203	98,80	





Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Camp./
Sample CG8

Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

ANALISI GRANULOMETRICA

GRAIN SIZE ANALYSIS

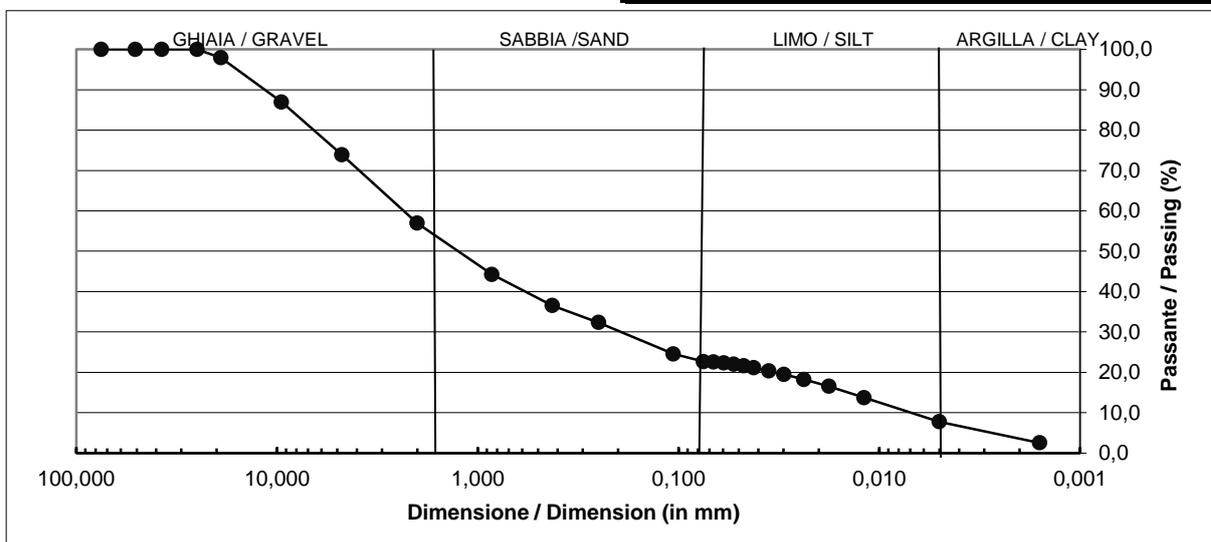
Standard utilizzato nell'analisi	ASTM
----------------------------------	------

Peso campione secco Weight of dry soil	1.149,50 g
---	------------

GHIAIA / GRAVEL	43,1 %
SABBIA / SAND	34,3 %
LIMO / SILT	20,1 %
ARGILLA / CLAY	2,5 %

Classificazione AGI
<i>Sabbia limosa con ghiaia</i>
USCS Classification
<i>SM</i>

Setaccio/ Sieve ASTM	ϕ (mm)	Passante / Passing (%)	Trattenuto / Retained (%)
3 inches	75,000	100,00	0,00
2 inches	50,800	100,00	0,00
1.5 inch	37,500	100,00	0,00
1 inch	25,000	100,00	0,00
3/4 inch	19,000	97,88	2,12
3/8 inch	9,500	86,96	13,04
4	4,750	73,88	26,12
10	2,000	56,94	43,06
20	0,850	44,24	55,76
40	0,425	36,54	63,46
60	0,250	32,34	67,66
140	0,106	24,54	75,46
200	0,075	22,65	77,35
AEROMETRIA	0,067	22,535	77,47
	0,060	22,345	77,66
	0,053	22,013	77,99
	0,047	21,610	78,39
	0,042	21,135	78,86
	0,035	20,329	79,67
	0,030	19,498	80,50
	0,024	18,241	81,76
	0,018	16,510	83,49
	0,012	13,734	86,27
	0,005	7,757	92,24
0,002	2,514	97,49	



Allegato XI – Schede determinazione γ_s (KN/m³)



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. CG1 Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PYNOMETER

data della determinazione / date of testing 06/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 06/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,80 g	59,24 g	57,80 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,83 g	84,27 g	82,84 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,86 g	174,27 g	172,86 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,32 g	158,74 g	157,39 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,03 g	25,03 g	25,04 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,638 g/cm ³	2,635 g/cm ³	2,617 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³
	25,87 kN/m ³	25,84 kN/m ³	25,66 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,630 g/cm ³	25,79 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,011					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. CG2 Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PycNOMETER

data della determinazione / date of testing 06/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 06/11/2013

Prova n. Test no.	4	5	6			
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,64 g	59,47 g	59,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,68 g	84,50 g	84,03 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,73 g	174,59 g	174,14 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,33 g	159,02 g	158,64 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,04 g	25,03 g	25,02 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,598 g/cm ³ 25,47 kN/m ³	2,646 g/cm ³ 25,95 kN/m ³	2,628 g/cm ³ 25,77 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ⁴ 0,00 kN/m ⁴
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,622 g/cm ³	25,71 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,024					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. CG3 Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PycNOMETER

data della determinazione / date of testing 06/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 06/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,80 g	59,24 g	57,80 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,38 g	84,25 g	82,84 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,73 g	174,29 g	172,85 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,32 g	158,74 g	157,39 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	24,58 g	25,01 g	25,04 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,680 g/cm ³ 26,29 kN/m ³	2,644 g/cm ³ 25,93 kN/m ³	2,614 g/cm ³ 25,63 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,662 g/cm ³	26,11 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,033					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. CG4 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PIGNOMETER

data della determinazione / date of testing 06/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 06/11/2013

Prova n. Test no.	4	5	6			
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,64 g	59,47 g	59,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,65 g	84,47 g	84,03 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,83 g	174,52 g	174,17 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,33 g	159,02 g	158,64 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,01 g	25,00 g	25,02 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,630 g/cm ³ 25,79 kN/m ³	2,632 g/cm ³ 25,81 kN/m ³	2,636 g/cm ³ 25,86 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,631 g/cm ³	25,80 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,003					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/ Sample No. CG5 Profondità/ Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PIGNOMETER

data della determinazione / date of testing 06/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 06/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,80 g	59,24 g	57,80 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,80 g	84,25 g	82,81 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,68 g	174,21 g	172,78 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,32 g	158,74 g	157,39 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,00 g	25,01 g	25,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,593 g/cm ³ 25,43 kN/m ³	2,622 g/cm ³ 25,71 kN/m ³	2,600 g/cm ³ 25,50 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ³ 0,00 kN/m ³	0,000 g/cm ⁴ 0,00 kN/m ⁴
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,605 g/cm ³	25,55 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,015					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- AASHTO T100



Provenienza del campione

Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____

Campione/ Sample

No. CG6

Profondità/

Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PICNOMETER

data della determinazione / date of testing 07/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 07/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,80 g	59,24 g	57,80 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,80 g	84,25 g	82,81 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	174,11 g	174,43 g	173,12 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,32 g	158,74 g	157,39 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,00 g	25,01 g	25,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,714 g/cm ³	2,683 g/cm ³	2,695 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ⁴
	26,62 kN/m ³	26,32 kN/m ³	26,43 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ⁴
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,699 g/cm ³	26,47 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,016					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

-AASHTO T100



Provenienza del campione

Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____

Campione/ Sample

No. CG7

Profondità/

Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PICNOMETER

data della determinazione / date of testing 07/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 07/11/2013

Prova n. Test no.	1	2	3	4	5	6
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,80 g	59,24 g	57,80 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,80 g	84,25 g	82,81 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,79 g	174,31 g	172,90 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,32 g	158,74 g	157,39 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,00 g	25,01 g	25,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$	2,623 g/cm ³	2,649 g/cm ³	2,633 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³
Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	25,73 kN/m ³	25,98 kN/m ³	25,82 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,636 g/cm ³	25,85 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,013					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

-AASHTO T100



Provenienza del campione

Provenance of sample Campo Di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____

Campione/ Sample

No. CG8

Profondità/

Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DEL γ_s

STANDARD TEST METHOD FOR SPECIFIC GRAVITY OF SOILS SOLIDS BY WATER PICNOMETER

data della determinazione / date of testing 07/11/2013

data dell'operazione di peso / date of weighting 07/11/2013

Prova n. Test no.	4	5	6	7	8	9
Picnometro n. Flask no.						
Metodo di disareazione* Method of air removal*	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum	vacuum
Volume del picnometro a 20°C Volume of flask at 20°C	100 ml	100 ml	100 ml	0 ml	0 ml	0 ml
(a) Peso del picnometro Weight of flask	58,64 g	59,47 g	59,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(b) Peso picnometro + campione secco Weight of flask + dry soil	83,64 g	84,47 g	84,02 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(c) Peso picnometro + campione secco + acqua Weight of flask + dry soil + water	173,79 g	174,60 g	174,30 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(d) Peso picnometro + acqua Weight of flask + water	158,33 g	159,02 g	158,64 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
(e) Peso campione secco W_s (b-a) Weight of dry soil W_s (b-a)	25,00 g	25,00 g	25,01 g	0,00 g	0,00 g	0,00 g
Peso specifico reale $e/[(e+d)-c]$ Specific gravity of soil solids $c/[(c+e)-d]$	2,621 g/cm ³	2,654 g/cm ³	2,675 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ³	0,000 g/cm ⁴
	25,70 kN/m ³	26,03 kN/m ³	26,23 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ³	0,00 kN/m ⁴
Peso specifico reale medio Mean of Specific gravity of soil solids	2,637 g/cm ³	25,86 kN/m ³				
Deviazione standard Standard deviation	0,027					

REFERENCES

- ASTM D 854-06 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
-AASHTO T100

Allegato XII - Schede prova di compattazione proctor



Provenienza campione /
Provenance of sample **Campo Di Giove (AQ)**

Descrizione campione /
description of sample **CG1**

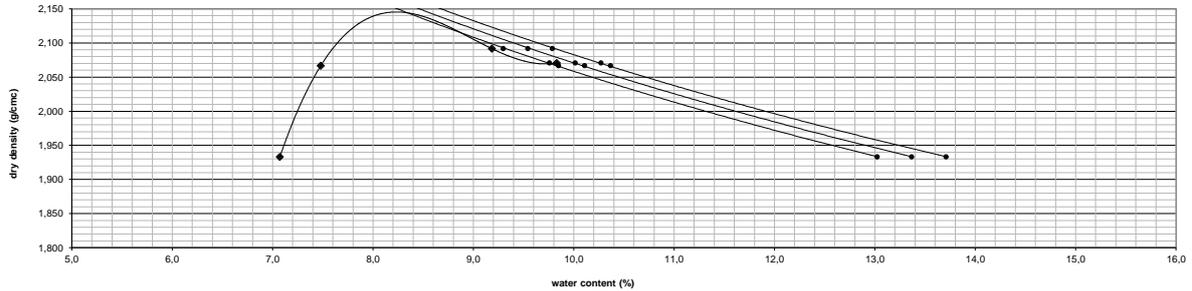
Sperimentatore / tested by **Pizzarelli Paola/Crognale Jacopo** data della prova /
date of testing **15 gen 14**

γ_s **2,630** g/cm³ Curva al grado di saturazione **0,95 0,975 1,00**

STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOIL USING STANDARD EFFORT
[12 400 ft-lb/cu ft (600 kN-m/m³)]

<input checked="" type="checkbox"/>	proctor standard (with rammer 2.49 kg and 305 mm drop)	<input checked="" type="checkbox"/>	4.0-in. mold (diameter 10.16 cm; height 11.64 cm; capacity 944 cm ³)	<input type="checkbox"/>	Method A Mold 4" - Passing No 4 - Layers 3 - Blows 25
<input type="checkbox"/>	proctor modified (with rammer 4.54 kg and 457 mm drop)	<input type="checkbox"/>	6.0-in. mold (diameter 15.24 cm; height 11.64 cm; capacity 2124 cm ³)	<input checked="" type="checkbox"/>	Method B Mold 4" - Passing 3/8" - Layers 3 - Blows 25
				<input type="checkbox"/>	Method C Mold 6" - Passing 3/4" - Layers 3 - Blows 56

Determinazione n. Test n°	1	2	3	4	5										
Peso terreno utilizzato Prepared soil weight (g)	2503,3														
Contenuto d'acqua nominale (%)	7,00	8,50	10,00	11,50	0,00										
Aggiunta di acqua (g)	175,2	37,6	37,6	37,6	0,0										
Diametro Diameter (cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	0,00										
Altezza Height (cm)	11,64	11,64	11,64	11,64	0,00										
Volume Capacity (cm ³)	943,69	943,69	943,69	943,69	0,00										
Peso Weight (a) (g)	4693,0	4693,0	4693,0	4693,0	0,0										
Peso suolo + fustella Soil + mold weight (b) (g)	6646,2	6789,0	6848,1	6839,1	0,0										
Peso suolo compattato (a-b) Compacted soil weight (g)	1953,2	2096,0	2155,1	2146,1	0,0										
Densità umida Wet density (g/cm ³)	2,070	2,221	2,284	2,274	0,000										
Capsula N.	23W	44W	54W	2A	10A	8A	4A	11	13A	17A	16A	8	-	-	-
Peso capsula (g)	28,25	28,59	28,62	16,93	17,29	16,53	16,97	25,75	17,18	16,96	16,85	24,66	-	-	-
Peso terreno umido + capsula (g)	49,71	48,32	49,45	43,27	42,82	42,89	41,50	50,96	45,64	42,69	42,56	50,13	-	-	-
Peso terreno umido (g)	21,46	19,73	20,83	26,3	25,5	26,36	24,5	25,2	28,5	25,7	25,7	25,5	-	-	-
Peso terreno secco + capsula (g)	48,35	46,94	48,10	41,46	40,95	41,13	39,32	48,85	43,37	40,38	40,42	47,70	-	-	-
Peso terreno secco (g)	20,10	18,35	19,48	24,53	23,66	24,60	22,35	23,10	26,19	23,42	23,57	23,04	-	-	-
Peso acqua (g)	1,36	1,38	1,35	1,81	1,87	1,76	2,18	2,11	2,27	2,31	2,14	2,43	-	-	-
Contenuto d'acqua (%)	6,8	7,5	6,9	7,4	7,9	7,2	9,8	9,1	8,7	9,9	9,1	10,5	-	-	-
Contenuto medio (%)	7,1		7,5			9,2			9,8						
Densità secca Dry density (g/cm ³)	1,933		2,067			2,092			2,071						



REFERENCES

- ASTM D698-07 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12 400 ft-lb/ft³ (600 kN-m/m³)]
- ASTM D1557-09 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56 000 ft-lb/ft³ (2700 kN-m/m³)]
- EN 13286-2



Provenienza campione / Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Descrizione campione / description of sample CG6

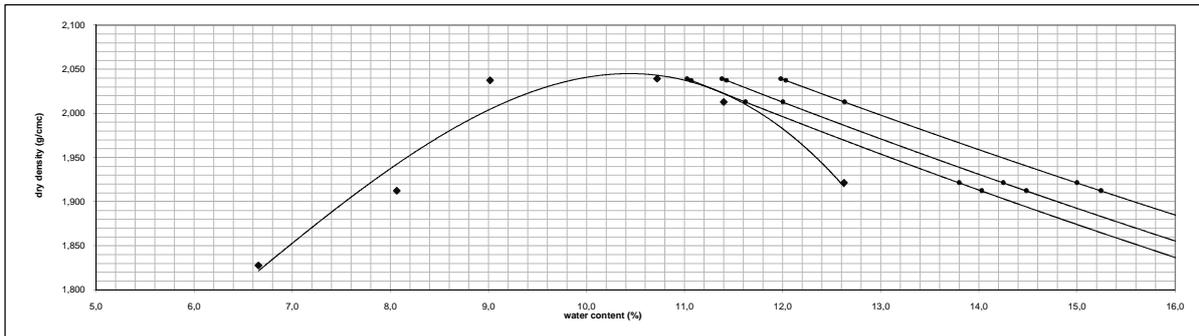
Sperimentatore / tested by Pizzarelli Paola data della prova / date of testing 15 gen 14

γ_s 2,699 g/cm³ Curve al grado di saturazione 0,92 0,95 1,00

STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOIL USING STANDARD EFFORT
[12 400 ft-lbf/cu ft (600 kN-m/mq)]

x	proctor standard (with rammer 2.49 kg and 305 mm drop)	x	4.0-in. mold (diameter 10.16 cm; height 11.64 cm; capacity 944 cm ³)		Method A - Mold 4" - Passing No 4 - Layers 3 - Blows 25
	proctor modified (with rammer 4.54 kg and 457 mm drop)		6.0-in. mold (diameter 15.24 cm; height 11.64 cm; capacity 2124 cm ³)	x	Method B - Mold 4" - Passing 3/8" - Layers 3 - Blows 25
					Method C - Mold 6" - Passing 3/4" - Layers 3 - Blows 56

Determinazione n. Test n°	1	2	3	4	5	6													
Peso terreno utilizzato Prepared soil weight (g)	2359,0																		
Contenuto d'acqua nominale (%)	7,00	8,50	10,00	11,50	13,00	14,00													
Aggiunta di acqua (g)	165,1	35,4	35,4	35,4	35,4	23,6													
Diametro Diameter (cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16													
Altezza Height (cm)	11,64	11,64	11,64	11,64	11,64	11,64													
Volume Capacity (cm ³)	943,69	943,69	943,69	943,69	943,69	943,69													
Peso Weight (g)	4693,0	4693,0	4693,0	4693,0	4693,0	4693,0													
Peso suolo + iustella Soil + mold weight (g)	6532,6	6643,0	6789,1	6823,9	6808,9	6735,0													
Peso suolo compattato (a-b) Compacted soil weight (g)	1839,6	1950,0	2096,1	2130,9	2115,9	2042,0													
Densità umida Wet density (g/cm ³)	1,949	2,066	2,221	2,258	2,242	2,164													
Capsula	N.	10W	70W	12W	36W	73W	47W	41W	33W	75W	50W	29W	56W	69W	79W	21W	46W	40W	17W
Peso capsula (g)		28,49	28,10	27,90	28,53	28,23	28,60	28,12	28,55	28,57	28,50	28,08	28,06	28,09	28,62	28,71	28,58	28,14	27,93
Peso terreno umido + capsula (g)		89,84	85,12	88,63	50,81	50,56	50,45	53,30	52,73	53,68	49,99	48,30	48,92	48,58	50,17	48,73	49,83	50,57	48,74
Peso terreno umido (g)		61,4	57,0	60,7	22,3	22,3	21,9	25,2	24,2	25,1	21,5	20,2	20,9	20,5	21,6	20,0	21,3	22,4	20,8
Peso terreno secco + capsula (g)		85,92	81,37	85,14	48,99	48,91	48,96	51,01	50,83	51,71	47,88	46,43	46,84	46,46	47,96	46,71	47,47	48,03	46,41
Peso terreno secco (g)		57,43	53,27	57,24	20,46	20,68	20,36	22,89	22,28	23,14	19,38	18,35	18,78	18,37	19,34	18,00	18,89	19,89	18,48
Peso acqua (g)		3,92	3,75	3,49	1,82	1,65	1,49	2,29	1,90	1,97	2,11	1,87	2,08	2,12	2,21	2,02	2,36	2,54	2,33
Contenuto d'acqua (%)		6,8	7,0	6,1	8,9	8,0	7,3	10,0	8,5	8,5	10,9	10,2	11,1	11,5	11,4	11,2	12,5	12,8	12,6
Contenuto medio (%)		6,7		8,1			9,0			10,7			11,4			12,6			
Densità secca Dry density (g/cm ³)		1,828		1,912			2,037			2,039			2,013			1,921			



REFERENCES

- ASTM D698-07 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12 400 ft-lbf/600 kN-m/m²]
- ASTM D1557-09 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56 000 ft-lbf/2700 kN-m/m²]
- EN 13286-2



Provenienza campione
Provenance of sample **Campo di Giove (AQ)**

Descrizione campione
description of sample **CG8**

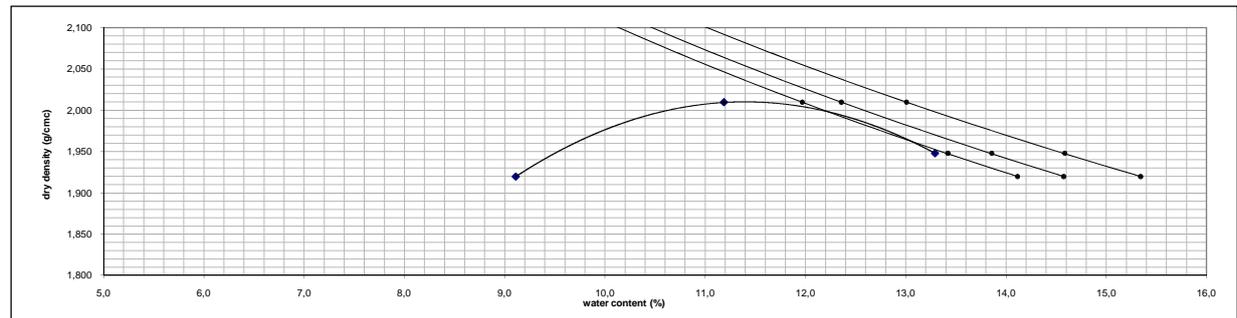
Sperimentatore / tested by Pizzarelli Paola/Crognale Jacopo data della prova /
date of testing 22 gen 14

γ_s 2,721 g/cm³ Curve al grado di saturazione 0,92 0,95 1,00

STANDARD TEST METHODS FOR LABORATORY COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOIL USING STANDARD EFFORT
[12 400 ft-lb/cu ft (600 kN-m/mq)]

X	proctor standard (with rammer 2.49 kg and 305 mm drop)	X	4.0-in. mold (diameter 10.16 cm; height 11.64 cm; capacity 944 cm ³)	Method A Mold 4" - Passing No 4 - Layers 3 - Blows 25
	proctor modified (with rammer 4.54 kg and 457 mm drop)		6.0-in. mold (diameter 15.24 cm; height 11.64 cm; capacity 2124 cm ³)	X Method B Mold 4" - Passing 3/8" - Layers 3 - Blows 25
				Method C Mold 6" - Passing 3/4" - Layers 3 - Blows 56

Determinazione n. Test n°	1	2	3	4	5										
Peso terreno utilizzato Prepared soil weight (g)	2207,4														
Contenuto d'acqua nominale (%)	9,00	11,50	14,00	16,50	19,00										
Aggiunta di acqua (g)	198,7	55,2	0,0	0,0	0,0										
Diametro Diameter (cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16										
Altezza Height (cm)	11,64	11,64	11,64	11,64	11,64										
Volume Capacity (cm ³)	943,69	943,69	943,69	943,69	943,69										
Peso Weight (a) (g)	4692,9	4692,9	4692,9	4692,9	4692,9										
Peso suolo + fustella Soil + mold weight (b) (g)	6669,4	6801,5	6775,3	6799,9	6753,2										
Peso suolo compattato (a-b) Compacted soil weight (g)	1976,5	2108,6	2082,4	2107,0	2060,3										
Densità umida Wet density (g/cm ³)	2,094	2,234	2,207	2,233	2,183										
Capsula	N.	44W	17W	29w	10w	12w	21w	10w	79w	54w					
Peso capsula (g)		28,60	27,92	28,09	28,10	27,96	28,68	28,51	28,63	28,63	-	-	-	-	-
Peso terreno umido + capsula (g)		54,78	54,61	54,86	53,46	52,89	53,84	53,41	53,73	53,86	-	-	-	-	-
Peso terreno umido (g)		26,18	26,69	26,77	25,4	24,9	25,16	24,9	25,1	25,2	-	-	-	-	-
Peso terreno secco + capsula (g)		52,57	52,40	52,63	50,60	50,62	51,38	50,85	50,74	50,59	-	-	-	-	-
Peso terreno secco (g)		23,97	24,48	24,54	22,50	22,66	22,70	22,34	22,11	21,96	-	-	-	-	-
Peso acqua (g)		2,21	2,21	2,23	2,86	2,27	2,46	2,56	2,99	3,27	-	-	-	-	-
Contenuto d'acqua (%)		9,2	9,0	9,1	12,7	10,0	10,8	11,5	13,5	14,9	-	-	-	-	-
Contenuto medio (%)		9,1		11,2			13,3								
Densità secca Dry density (g/cm ³)		1,920		2,010			1,948								



REFERENCES

- ASTM D698-07 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12 400 ft-lb/(600 kN-m/m³)]
- ASTM D1557-09 - Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56 000 ft-lb/(2700 kN-m/m³)]

Allegato XIII- Schede prova di permeabilità



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/
Sample No. CG1

Profondità/
Depth of
sample _____

Analista / tested by Crognale Jacopo/Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE
STANDARD TEST METHOD FOR PERMEABILITY OF GRANULAR SOILS (CONSTANT HEAD)

Permeometro N° 1
Diametro / Diameter 10,16 cm
Area 81,0732 cm²
Lunghezza / Length 11,643 cm

Prova n. Test no.	Manometri		Carico / head h cm	Volume		Tempo / Time s	Q / At cm/s	h/L	Temperature °C	k cm/s
	H ₁	H ₂		cm ³	g					
1	164	27,3	136,7	60,92	60,92	1876	4,01E-04	11,74	18,3	3,4E-05
2	164	27,3	136,7	17,3	17,3	600	3,56E-04	11,74	18,3	3,0E-05
3	164	27,3	136,7	17,49	17,49	600	3,60E-04	11,74	18,3	3,1E-05
4	164	27,3	136,7	20,43	20,43	600	4,20E-04	11,74	18,3	3,6E-05
5	164	27,3	136,7	18,52	18,52	600	3,81E-04	11,74	18,3	3,2E-05
6	164	27,3	136,7	24,78	24,78	600	5,09E-04	11,74	18,3	4,3E-05
7	164	27,3	136,7	28,17	28,17	600	5,79E-04	11,74	18,3	4,9E-05
8	164	27,3	136,7	27,38	27,38	600	5,63E-04	11,74	18,3	4,8E-05
9	164	27,3	136,7	26,71	26,71	600	5,49E-04	11,74	18,3	4,7E-05
10	164	27,3	136,7	26,81	26,81	600	5,51E-04	11,74	18,3	4,7E-05
11	164	27,3	136,7	26,41	26,41	600	5,43E-04	11,74	18,3	4,6E-05
12	164	27,3	136,7	27,46	27,46	600	5,65E-04	11,74	18,3	4,8E-05
13	164	27,3	136,7	32,63	32,63	600	6,71E-04	11,74	18,3	5,7E-05
14	164	27,3	136,7	29,15	29,15	600	5,99E-04	11,74	18,3	5,1E-05
15	164	27,3	136,7	25,23	25,23	600	5,19E-04	11,74	18,3	4,4E-05
16	164	27,3	136,7	25,03	25,03	600	5,15E-04	11,74	18,3	4,4E-05
17	164	27,3	136,7	28,46	28,46	600	5,85E-04	11,74	18,3	5,0E-05
18	164	27,3	136,7	27,62	27,62	600	5,68E-04	11,74	18,3	4,8E-05

REFERENCES

- ASTM D 2434-68 (reapproved 2006) - Standard Test Methods for Permeability of Granular Soils (Constant Head)



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/
Sample No. CG6 Profondità/
Depth of sample _____

Analista / tested by Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE
STANDARD TEST METHOD FOR PERMEABILITY OF GRANULAR SOILS (CONSTANT HEAD)

Permeometro N° 1
Diametro / Diameter 10,16 cm
Area 81,0732 cm²
Lunghezza / Length 11,643 cm

Prova n. Test no.	Manometri		Carico / head h cm	Volume		Tempo / Time s	Q / At cm/s	h/L	Temperature °C	k cm/s
	H ₁	H ₂		cm ³	g					
1	164,3	13,6	150,7	84,1	84,1	600	1,73E-03	12,94	15	1,3E-04
2	164,3	13,6	150,7	88,69	88,69	600	1,82E-03	12,94	15	1,4E-04
3	164,3	13,6	150,7	91,53	91,53	600	1,88E-03	12,94	15	1,5E-04
4	164,3	13,6	150,7	57,8	57,8	600	1,19E-03	12,94	15	9,2E-05
5	164,3	13,6	150,7	60,76	60,76	607	1,23E-03	12,94	15	9,5E-05
6	164,3	13,6	150,7	57,57	57,57	600	1,18E-03	12,94	15	9,1E-05
7	164,3	13,6	150,7	54,96	54,96	600	1,13E-03	12,94	15	8,7E-05
8	164,3	13,6	150,7	57,59	57,59	600	1,18E-03	12,94	15	9,1E-05
9	164,3	13,6	150,7	59,88	59,88	600	1,23E-03	12,94	15	9,5E-05
10	164,3	13,6	150,7	56,34	56,34	600	1,16E-03	12,94	15	8,9E-05
11	164,3	13,6	150,7	53,89	53,89	600	1,11E-03	12,94	15	8,6E-05
12	164,3	13,6	150,7	55,96	55,96	615	1,12E-03	12,94	15	8,7E-05
13	164,3	13,6	150,7	57,19	57,19	600	1,18E-03	12,94	15	9,1E-05
14	164	13,6	150,4	57,95	57,95	615	1,16E-03	12,92	15	9,0E-05

REFERENCES

- ASTM D 2434-68 (reapproved 2006) - Standard Test Methods for Permeability of Granular Soils (Constant Head)



Provenienza del campione
Provenance of sample Campo di Giove (AQ)

Sondaggio/Boring No. _____ Campione/
Sample No. CG8 Profondità/
Depth of sample _____

29/01/2014 Analista / tested by Croganle Jacopo/Pizzarelli Paola

DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE
STANDARD TEST METHOD FOR PERMEABILITY OF GRANULAR SOILS (CONSTANT HEAD)

Permeometro N° 1
Diametro / Diameter 10,16 cm
Area 81,0732 cm²
Lunghezza / Length 11,643 cm

Prova n. Test no.	Manometri		Carico / head h cm	Volume		Tempo / Time s	Q / At cm/s	h/L	Temperature °C	k cm/s
	H ₁	H ₂		cm ³	g					
1	164,4	14,3	150,1	1,19	1,19	604	2,43E-05	12,89	20	1,9E-06
2	164,4	14,3	150,1	0,97	0,97	600	1,99E-05	12,89	20	1,5E-06
3	164,4	14,3	150,1	0,84	0,84	600	1,73E-05	12,89	20	1,3E-06
4	164,4	14,3	150,1	0,84	0,84	638	1,62E-05	12,89	20	1,3E-06
5	164,4	14,3	150,1	0,88	0,88	600	1,81E-05	12,89	20	1,4E-06
6	164,4	14,3	150,1	0,94	0,94	635	1,83E-05	12,89	20	1,4E-06
7	164,4	14,3	150,1	0,83	0,83	610	1,68E-05	12,89	20	1,3E-06
8	164,4	14,3	150,1	0,81	0,81	600	1,67E-05	12,89	20	1,3E-06
9	164,4	14,3	150,1	0,81	0,81	600	1,67E-05	12,89	20	1,3E-06
10	164,4	14,3	150,1	0,87	0,87	600	1,79E-05	12,89	20	1,4E-06

REFERENCES

- ASTM D 2434-68 (reapproved 2006) - Standard Test Methods for Permeability of Granular Soils (Constant Head)

Desidero esprimere i miei più sentiti ringraziamenti:

...al Prof. Marco Petitta per la disponibilità, ma soprattutto per l'incoraggiamento e la fiducia avuta durante gli anni di studio e nel periodo di stesura della tesi..

...al Prof. Carlo Esposito poiché sempre disponibile a chiarire ogni mio dubbio e per la gentilezza e pazienza dimostratami...

...a Giulia e Jacopo, i quali hanno contribuito rispettivamente all'attività di campo e di laboratorio...

...a Giovanni che nello svolgere il tirocinio ha dato un grandissimo aiuto, ma soprattutto si è rivelato un vero amico...

...ai tecnici del Laboratorio di Geologia Applicata, Gigi e Luigi, dai quali ho potuto apprendere molto...

...alla Dott.ssa Francesca Banzato, che nonostante i suoi numerosi impegni, è sempre stata presente...