

COMUNE DI  
**SANTA MARIA CAPUA VETERE**  
PROVINCIA DI CASERTA

***PIANO URBANISTICO COMUNALE***

*ADEGUAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO E DELLE  
CARTE TEMATICHE*

# Relazione Geologica

*Rev.1 del Gennaio 2019*

*Geologo incaricato: dr. Giuseppe A. Diplomatico*



*Collaboratrice: dr. geologo Paola Russo*



## **1.0 PREMESSA**

A seguito dell'incarico ricevuto dall'Ufficio Tecnico Comunale in data 26/10/2018 con determina n°390, il sottoscritto dr. geologo Giuseppe Antonio Diplomatico, con la collaborazione della dr.ssa geologo Paola Russo, ha redatto la presente relazione geologica inerente all'aggiornamento dello studio geologico relativo al Piano Urbanistico Comunale di Santa Maria Capua Vetere, nell'osservanza di:

- ↪ Legge Regione Campania n. 9 del 07/01/83;
- ↪ G.R.C. 07/11/2002 n. 5447
- ↪ O.P.C.M. n. 3274/03
- ↪ Legge Regione Campania n. 16 del 22 /12/ 2004
- ↪ O.P.C.M. n. 3431/05
- ↪ Delibera G.R.C. n. 1701 del 28/10/2006
- ↪ D.M. 17 gennaio 2018
- ↪ OPCM 4007/2012 e Delibera di Giunta Regionale n.118/2013

### **1.1 Metodologia d'indagine**

Il programma delle indagini è stato formulato tenendo conto sia delle problematiche in esame, sia della costituzione del sottosuolo, già piuttosto nota.

L'ampiezza dell'indagine è stata perciò proporzionata alle dimensioni dell'intervento, alla complessità e alle caratteristiche del sottosuolo ed infine allo stato di conoscenza della zona in esame reperito nella bibliografia.

Lo studio ha riguardato in fase preliminare un'approfondita disamina dei dati presenti in letteratura scientifica, nei precedenti studi geologici eseguiti dallo scrivente per gli studi geologici allegati al PRG del 1988, nell'aggiornamento bibliografico del 2000 e nella relazione geologica del 2012, nonché dati provenienti dall'U.T. comunale e da Studi e professionisti vari.

La ricerca bibliografica ha utilizzato essenzialmente dati riferiti a diverse fasi temporali:

- ↪ Indagini geognostiche antecedenti al P.R.G. del 1988: sono state prese in considerazione solo indagini in sito [n. 51 Sondaggi; 3 prove penetrometriche statiche];
- ↪ Indagini geognostiche del P.R.G. eseguite dal sottoscritto nel 1988, composte da: n. 31 Sondaggi; n. 48 Campioni indisturbati; n.44 S.P.T.; n. 9 prove geoelettriche SEV; n. 44 profili sismici a rifrazione;

- ↪ Indagini geognostiche successive al P.R.G. 1988 e fino all'anno 2000, eseguite per opere pubbliche e private, composte da: n. 77 Sondaggi; n. 32 Campioni indisturbati; n. 170 S.P.T. e n. 75 prove penetrometriche dinamiche; n. 23 profili sismici a rifrazione e n. 5 prove sismiche down-hole;
- ↪ Indagini geognostiche dall'anno 2000 all'anno 2011 eseguite per opere pubbliche e private, composte da: n. 23 Sondaggi; n. 17 Campioni indisturbati; n. 15 S.P.T. e n. 1 prova penetrometrica dinamica;
- ↪ Indagini geognostiche nell'anno 2011 eseguite dal sottoscritto per la stesura della Relazione geologica inerente al PUC del Comune di S. Maria C.V. composte da: n. 3 Sondaggi; n. 5 Campioni indisturbati; n. 6 S.P.T.; n. 20 prove sismiche MASW;
- ↪ Indagini geognostiche dall'anno 2012 all'anno 2018 eseguite per opere pubbliche e private, composte da: n. 6 sondaggi; n. 14 S.P.T.; n. 33 prove sismiche MASW.

Si ringrazia per la disponibilità, e per la messa a disposizione degli archivi, dell'Ufficio Tecnico Comunale e dei singoli professionisti interpellati.

Il metodo di lavoro si è basato dunque su:

- ↪ una dettagliata ricerca bibliografica;
- ↪ un'attenta analisi dei dati reperiti fino al 31/12/2018 (n. 191 sondaggi geognostici per un totale di 3959 ml di sondaggio; n. 249 prove SPT in foro; n. 76 prove penetrometriche dinamiche; n. 102 analisi di campioni indisturbati; prove sismiche di cui n. 67 profili sismici a rifrazione, n. 5 prove down-hole in foro e n. 53 prove MASW);
- ↪ un rilievo sul campo di verifica di quanto emerso dalle fasi precedenti, in particolare per quanto attiene all'idrogeologia e alla stabilità;
- ↪ una specifica indagine sismica per il rilievo e l'adeguamento dei parametri di velocità delle onde  $S_h$ , con l'esecuzione di 10 prove sismiche MASW;
- ↪ l'elaborazione di una relazione illustrativa di commento ai risultati.

### 1.1.1 Indagini eseguite in sito

Considerato il tempo trascorso (circa 8 anni) dall'ultima indagine comunale di livello 1 eseguita nell'area (anno 2011), si è ritenuto necessario predisporre una integrazione bibliografica finalizzata alla conferma dei dati geognostici precedentemente raccolti e ad un approfondimento in campo per la parte sismica per un aggiornamento dei dati e delle cartografie nel rispetto di quanto richiesto dalle NTC riportate nel D.M. 17.01.2018.

Per ottemperare, quindi, a quanto indicato dal decreto, è stata eseguita dal sottoscritto una campagna di indagini sismiche composte da **N. 10 prove sismiche MASW** (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie).

L'elaborazione delle informazioni ha consentito di approfondire i dati stratigrafici, geotecnici ed idrogeologici in possesso del sottoscritto, confermando l'assenza di modifiche sostanziali ai terreni investigati.

Tutte le indagini, sia quelle attuali che quelle relative ai vari studi effettuati precedentemente, sono state riportate sulla allegata "*Carta dell'ubicazione delle Prove*" (Tavola 4).

Il presente lavoro, inoltre, si propone di fornire quanto segue:

- ↪ Inquadramento geolitologico dell'area;
- ↪ Inquadramento morfologico e della stabilità dell'area;
- ↪ Inquadramento idrogeologico dell'area;
- ↪ Caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni;
- ↪ Microzonazione del rischio in prospettiva sismica dell'area.

A tale scopo sono state elaborate le seguenti cartografie tematiche:

- ↪ Carta Geolitologica (rev. 1) in scala 1/5.000 (Tavola 1);
- ↪ Carta della Stabilità delle aree (rev. 1) in scala 1/5.000 (Tavola 2);
- ↪ Carta Idrogeologica (rev. 1) in scala 1/5.000 (Tavola 3);
- ↪ Carta dell'Ubicazione delle Prove in Sito (rev. 1) in scala 1/10.000 (Tavola 4);
- ↪ Carta MOPS (rev. 0) in scala 1/5.000 (Tavola 5);
- ↪ Carta della zonazione in prospettiva sismica (rev.1) in scala 1/5.000 (Tavola 6).

Alla Relazione Geologica in rev. 1 è allegato un supporto informatico contenente la relazione, le carte tematiche e tutti i documenti di supporto dei dati e prove reperite.

## **2.0 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA**

### **2.1 Geologia generale**

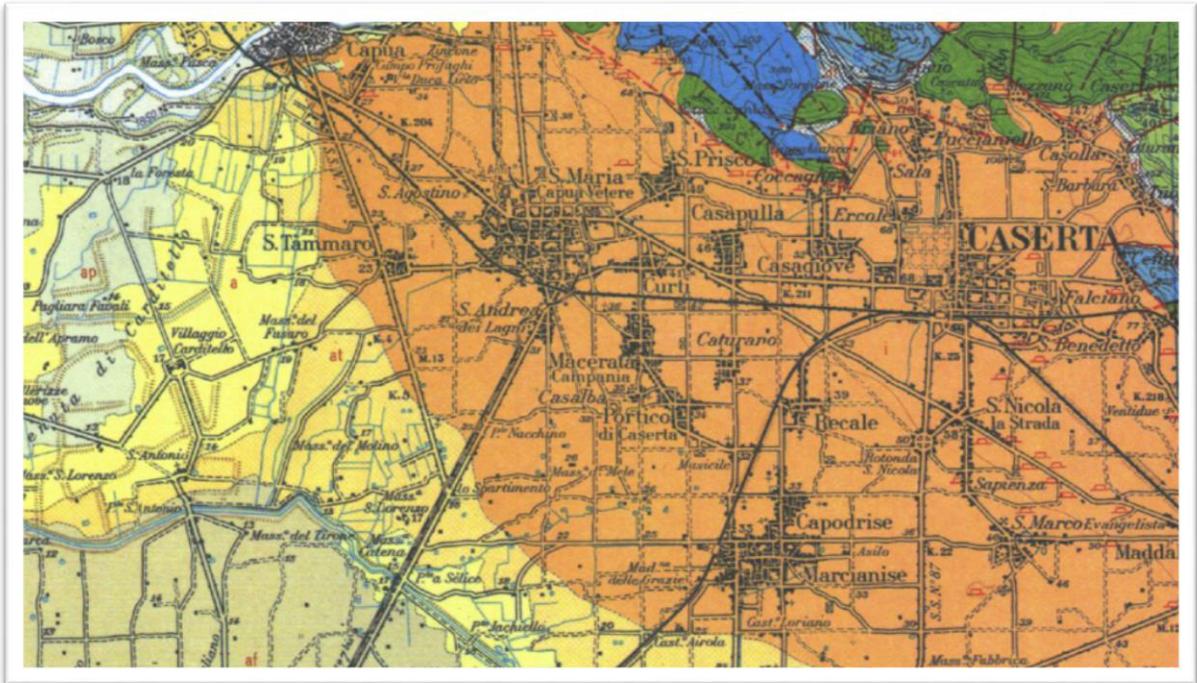
L'area oggetto di indagine è ubicata nella zona dell'Agro Casertano.

La ricostruzione degli eventi geologici che sono intervenuti a caratterizzare quest'area va inquadrata nell'ambito dell'evoluzione della Piana Campana a cui geograficamente

appartiene, pertanto verranno sinteticamente descritti i principali eventi sedimentari e tettonici che ne hanno caratterizzato la genesi.

La Piana Campana rappresenta, strutturalmente, un esteso graben delimitato a NW dal M. Massico, a NE dai Monti di Caserta, di Avella e di Nola ed a SE dai Monti Lattari. Tale graben si è individuato probabilmente tra il Pliocene sup. ed il Quaternario ed è stato soggetto ad ulteriori sprofondamenti in seguito alla successive fasi neotettoniche.

Ai bordi della Piana si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE, delimitanti i massicci carbonatici, che costituiscono le strutture marginali del graben. Le faglie bordiere hanno agito almeno in due fasi durante il Quaternario, generando complessivamente rigetti verticali dell'ordine di 5.000 m.



*Fig.1: Inquadramento geologico generale dell'area*

A queste strutture recenti sono connessi anche i fenomeni vulcanici dei Campi Flegrei, del Somma-Vesuvio e del Roccamonfina. Le zone vulcaniche sono ubicate laddove le faglie hanno determinato il maggiore rigetto e quindi il massimo sprofondamento.

Le successive fasi tettoniche hanno provocato un ulteriore ribassamento di tutto il graben, in speciale modo nella zona compresa tra i Campi Flegrei ed il Vesuvio. Il ribassamento ha provocato l'accumulo di potenti orizzonti argillosi di ambiente marino

che sono andati a colmare totalmente la depressione, ricoprendo gli apparati vulcanici preesistenti.

I depositi Quaternari continentali, marini e vulcanici, sono stati così riscontrati in perforazione fino ad una profondità di circa 4.000 m al centro della Piana. Oltre tale profondità sono stati rinvenuti materiali terrigeni e carbonatici appartenenti all'unità paleogeografica della piattaforma Campano-Lucana.

Attualmente in affioramento si rinvencono principalmente terreni alluvionali, originati dall'attività deposizionale dei corsi d'acqua che dissecano la Piana, e terreni di origine vulcanica provenienti dall'attività dei vari centri eruttivi.

Nell'area di indagine i prodotti vulcanici presenti provengono prevalentemente dai Campi Flegrei la cui attività, secondo la più recente bibliografia, è stata suddivisa in 4 cicli:

- ↳ **I Ciclo:** i depositi caratteristici di questo periodo sono rappresentati da un livello di pomici che si rinviene alla base dell'Ignimbrite Campana. L'età di tale ciclo risale ad oltre 35.000 anni.
- ↳ **II Ciclo:** messa in posto dell'Ignimbrite Campana (Tufo Grigio Campano Auct.) e formazione della Breccia Museo. La messa in posto del tufo grigio è da mettere in relazione ad un'attività fissurale, determinata da fratture con direzione appenninica, che originariamente ha coperto un'area vasta circa 7.000 Km<sup>2</sup>; attualmente gli affioramenti ricoprono circa 500 Km<sup>2</sup> di superficie. Nella stratigrafia del Tufo Grigio Campano si distinguono dal basso verso l'alto:
  1. *piperno, ricco in sanidino, con pomici appiattite;*
  2. *tufo pipernoide, con pomici appiattite e disposte a bande parallele (fiamme); semitufo (tufo comune), compatto alla base di colore da marrone bruciato a violaceo, grigio verso l'alto con pomici e scorie di dimensioni variabili di colore ocra e nere appiattite e ricche in sanidino;*
  3. *cinerazzo, incoerente, grigio o violaceo prevalentemente cineritico con spessore limitato.*

La differenza tra questi materiali dipende esclusivamente dal grado di auto-metamorfismo dei materiali. L'età dei depositi di tale ciclo è valutata tra 35.000 e 32.000 anni.

- ↳ **III Ciclo:** di questo periodo è la messa in posto del «Tufo Giallo Napoletano Auct.», utilizzato come marker stratigrafico data l'enorme diffusione nell'area Flegrea. Il «Tufo Giallo» infatti forma l'ossatura di gran parte dei rilievi tra i Campi Flegrei e Napoli. L'età di queste formazioni è valutata intorno ai 13.000 anni.

- ↪ **IV Ciclo:** le formazioni di quest'ultimo ciclo d'attività partono da 10.000 anni fino al 1538 con la formazione di M. Nuovo. In questo periodo si è avuta la formazione dei vulcani piroclastici monogenici che attualmente formano i Campi Flegrei. I prodotti di tale periodo, data la natura e le caratteristiche di emissione, sono rappresentati esclusivamente nell'area di origine.

In base alle notizie bibliografiche ed ai rilievi eseguiti è stata realizzata la “Carta Geolitologica” in scala 1:5.000 (Tavola n°1) che mette in rilievo la relativa uniformità degli affioramenti nell'area comunale. Infatti i terreni superficiali appartengono a formazioni piroclastiche riconducibili ai Campi Flegrei, solo una esigua striscia lungo i Regi Lagni può essere considerata come depositi di colmata sempre di materiale piroclastico.

In ogni modo, sulla Carta Geolitologica sono evidenziate le seguenti sub unità:

Terreno di riporto: i limiti sono stati ridisegnati in base alle nuove indagini a disposizione; in genere, questo ha consentito in alcune aree la riduzione delle aree con riporto;

Sabbie e limi sabbiosi: di origine piroclastica, in sito, incoerenti, appartenenti al II ciclo Flegreo (Pleistocene);



**FASE IGNIMBRITICA (di Roccamonfina e della Pianura Campana):**

Ignimbrite petrograficamente da trachitica a trachionolitica, talora con fessurazione prismatico-colonnare (“tufo grigio campano” Auct.): alla base compatta, da marrone bruciato a violacea, con piccole pomici e scorie ocre e nere appiattite; verso l'alto lapidea, grigiastro, a scorie e pomici nere, anche di grosse dimensioni, ricche di sanidino; in superficie ed alla periferia dell'apparato, incoerente, grigia o violacea, prevalentemente cineritica. Sottile paleosuolo cotto, gialloarancio, sottostante.

Sabbie e limi:

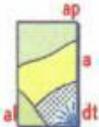
di origine piroclastica, in genere rimaneggiati, incoerenti e appartenenti al II ciclo Flegreo (Olocene);



Sabbie e limi grigi e giallastri, stratificati, incoerenti, terreni umiferi, minuto detrito calcareo in vicinanza dei rilievi, lenti di ciottolini fluviali misti con sabbie eugitiche, lenti di lapilli e pomice rimaneggiate e di piccole dimensioni; lenti travertinose a SW di Riardo e travertini a Sud di Maddaloni (tr).

Limi ed argille:

di origine piroclastica, sono il risultato della ri-deposizione dei materiali erosi dai Regi Lagni e/o del Fiume Volturno (Olocene).



Terreni umiferi scuri e di colmata della bonifica del basso Volturno: terreni limosi ed argillo-limosi grigi e verdognoli della pianura (da 10 a 38 m di spessore), con sottostanti lapilli pomicei ed intercalazioni di torba in lenti allungate (Lagno Vecchio a SE di Cancellò, Pantano della Riccia, F. Savonei), lenti arenitiche e di ciottolini (Grazzanise), terre nere ed alluvioni recenti di Pietramelara e Pietravairano (ap); argille sabbiose, limi, sabbie scure con lapilli e pomice dilavate, lenti ciottolose (a), ricoprenti, a Sud, depositi salmastri (al); detrito di falda sciolto o debolmente cementato e con di deiezione (dt).

## 2.2 Morfologia

Il territorio del comune di Santa Maria Capua Vetere ha un'estensione di circa 14 km<sup>2</sup> ed è compreso nel foglio n.172 (Caserta) della Carta geologica d'Italia scala 1:100.000; è situato a Sud Ovest del Monte Tifata ed è compreso tra le quote 38 e 14 m s.l.m., in una zona sub-pianeggiante come si evince dalla fig.2 che rappresenta un estratto della cartografia IGM al 25.000.

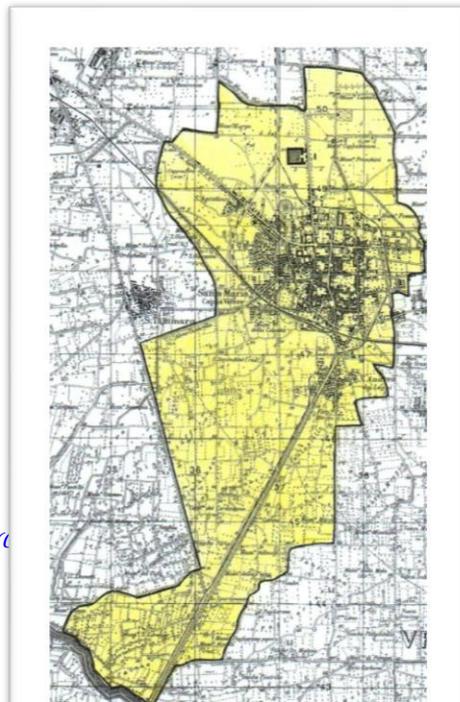


Fig.2: Ubicazione dell'area

## 2.3 Stabilità dell'area

Nell'area studiata, le modeste pendenze determinate dalla pianura non consentono l'instaurarsi di fenomeni gravitativi, sia profondi che superficiali, in quanto i valori massimi riscontrabili sono dell'ordine inferiore al 0,5 %.

In base a queste osservazioni è stata elaborata la "Carta della Stabilità" in scala 1:5000 (Tavola n. 2), che identifica:

- ↪ Le aree dove sono avvenuti sprofondamenti legati a cavità antropiche nel sottosuolo (n. 13 prima del 2000, n. 10 tra 2001 e 2011 e n. 12 tra 2012 e 2018)
- ↪ Le aree con presenza di cavità antropiche o naturali accertate (n. 26 prima del 2011 e n. 2 dal 2012 al 2018);
- ↪ Le aree di rischio potenziale in funzione essenzialmente della probabilità di presenza di cavità nel sottosuolo e del rischio di esondazione da parte dei Regi Lagni.

### 2.3.1 Genesi dei dissesti

Dall'analisi dei dati sui dissesti, forniti dall'ufficio tecnico comunale, emerge che la maggior parte dei dissesti documentati sono riferibili a sprofondamenti della sede stradale. Tale specificità è più legata a problemi di competenze che a caratteristiche tecniche. I dissesti in aree private difficilmente sono documentati se non provocano danni ingenti o contenziosi.

Le condizioni di equilibrio del sottosuolo della città sono alterate dalla presenza delle cavità sia in materiali fortemente addensati sia in materiali quasi incoerenti.

Inevitabilmente esse rappresentano un punto di confluenza dei materiali incoerenti trasportati dall'azione erosiva delle acque che circolano o percolano nelle cavità. In assenza di cavità i materiali piroclastici sono soggetti, data la loro compressibilità, a fasi di assestamento, ma raramente si presentano problemi di crolli per cui la quasi totalità dei fenomeni di sprofondamento è legata al cedimento delle volte delle cavità dove l'elemento scatenante è la continua circolazione e la persistente infiltrazione di acqua nel sottosuolo.

È importante distinguere l'origine delle acque che possono essere meteoriche o antropiche.

Quando le superfici impermeabilizzate presentano una cattiva pavimentazione o assenza di rivestimento, le acque meteoriche, seguendo vie preferenziali si infiltrano incanalandosi attraverso lesioni o fratture all'interno della coltre piroclastica o nel materiale di riporto e vengono richiamate dalle cavità sottostanti.

Le cause scatenanti degli sprofondamenti sono sovente legati anche alla fatiscenza o alla mancanza di opere di manutenzione della rete fognante o di quella idrica. Gli eventi registrati sono comunque spesso imputabili ad allacci, connessioni o lavori successivi, data la disomogeneità tra i materiali originari delle reti e quelli utilizzati per gli interventi più recenti a cui si deve aggiungere per gli ultimi anni un aumento della pressione in rete per poter raggiungere tutti i piani di palazzi sempre più alti. Le perdite delle reti (idrica, fognarie bianche e nere) immettono acqua nel sottosuolo, in punti concentrati con conseguente forti erosioni e trasporto di materiali che finiscono la loro corsa nelle cavità preesistenti indebolendone il perimetro al loro passaggio. Tale fenomeno si sta incrementando per via dei cambi climatici: le precipitazioni sempre più intense e concentrate non consentono alla rete fognante antiquata e in parte fatiscente di smaltire correttamente le acque meteoriche.

Un ultimo fattore è rappresentato dalle sollecitazioni dovute al traffico cittadino che provoca dissesti nei sotto-servizi e sottopone a vibrazioni continue le volte e le pareti delle cavità.

### **2.3.2 Cenni storici sulle cavità**

Il fenomeno delle cavità dell'abitato di Santa Maria Capua Vetere si ripropone periodicamente all'attenzione della cronaca, in quanto esse vengono riesumate in

corrispondenza di qualche crollo o di aperture di voragini. Vi sono fondate ragioni perché l'esame storico dello sviluppo abitativo di S. Maria C.V. sia preso in considerazione in questo lavoro: in effetti l'uomo si inserisce sul substrato geologico in questo territorio ben prima dei tempi storici, prima come ospite passivo poi come protagonista attivo.

I Sanniti e gli Etruschi, dediti alle pratiche agricole, sono i primi a realizzare opere idrauliche per la bonifica dell'area scavando canali nei materiali superficiali. In seguito, come miglioramento dei canali, vengono realizzati dei cunicoli sotterranei scavati nella parte addensata della formazione Ignimbratica; questi cunicoli, molto efficaci, sono lunghissimi e numerosi col passare dei secoli.

Di questi cunicoli si perde traccia dall'epoca romana quando furono usati come fognone o discariche. Da quel periodo ad oggi sono stati scavati altri cunicoli sempre nella stessa formazione, però con scopi diversi da quelli di drenaggio delle acque superficiali che avevano quelli più antichi. Infatti quelli successivi sono stati usati per la captazione delle acque (cisterne), come fognature, luoghi di culto, catacombe ed infine come cave di materiale.

Tutte queste varietà di cunicoli raggiungono una profondità massima di 13,00 m dal p.c., quale livello statico della falda nei periodi di realizzazione, e sono presenti quasi fino alla sommità della formazione ignimbratica, con altezze, larghezze, lunghezze e direzioni molto variabili. Taluni hanno le pareti con il materiale piroclastico a vista, in altri le pareti sono state ricoperte di intonaco o solidificate con opere in murature; inoltre mentre alcuni sono murati altri sono riempiti di materiale di risulta.

Considerate le buone proprietà fisico meccaniche del materiale piroclastico e la necessità di reperire in loco i materiali per la costruzione dei manufatti in superficie, si sono prodotte cavità ad andamento orizzontale di notevoli dimensioni. Tra le cavità a sviluppo orizzontale abbiamo le "grotte" che nel corso degli anni sono state adibite agli usi più svariati, dal deposito dei vini al ricovero bellico; attualmente, gran parte di esse rappresentano il ricettacolo di ogni sorta di materiale di rifiuto o sono completamente abbandonate e talvolta non se ne conosce più l'esistenza essendo state occluse tutte le aperture in superficie.

Nei rioni più antichi la maggior parte dei cunicoli hanno origine dal pozzo di servizio alla grotta e si prolungano nelle più svariate direzioni.

Purtroppo, col tempo non si hanno più notizie di questi cunicoli perché mancano indizi visibili in superficie e nel contesto si ha un degrado di essi fino a provocare

l'avvallamento o la voragine in superficie, con le ovvie conseguenze per le strutture sovrastanti.

In relazione alle cavità orizzontali esistono le cavità a sviluppo verticale che si possono distinguere in pozzi di servizio alle grotte e pozzi idrici. I pozzi di servizio alle grotte avevano duplice funzione: quella di accedere in profondità per poi cavare in orizzontale e quella di creare una circolazione di aria per la salvaguardia dei lavoranti. I pozzi idrici cavati fino ad una profondità tale da raggiungere la falda idrica costituivano un'esigenza per il fabbisogno idrico nella fase di costruzione e per il giornaliero approvvigionamento delle famiglie. In genere per la loro costruzione si sfruttava un pozzo di servizio approfondendo il piano di calpestio della grotta; in alcuni casi, però, i pozzi idrici sono indipendenti da altre cavità.

### **2.3.3 Influenza delle cavità in caso di evento sismico**

Le cavità nel sottosuolo rappresentano delle discontinuità nel mezzo, nel nostro caso già poco omogeneo, che è indicato dalla stratigrafia incontrata.

Questa considerazione vale per tutti i tipi di cavità, indipendentemente dall'età, forma e dimensione.

L'evento sismico si può schematizzare come una brusca liberazione di energia che segue la rottura di uno stato di equilibrio preesistente nella crosta terrestre. L'energia si trasmette sotto forma di onde elastiche dotate di parametri fisici precisi, quali frequenza ed ampiezza, i quali sono inversamente proporzionali e variano in funzione della densità del mezzo attraversato e incontrando discontinuità soffrono dei fenomeni di riflessione e rifrazione.

Quando un'onda sismica investe una cavità la caduta di densità è tale da creare modifiche drastiche nei parametri dell'onda con una liberazione di energia nello spazio della cavità talvolta avvertibile come onda sonora.

Inoltre, modificando gli stati di equilibrio esistenti non sono applicate solo forze verticali ma forze agenti in tutte le direzioni, non assicurando più la necessaria contropinta della volta verso i carichi verticali naturali.

Da queste sollecitazioni nascono crepe e fratture nelle volte che arrivano talvolta fino alla superficie, ma che in genere creano solo il mezzo per una maggiore infiltrazione di acqua. L'aumento del volume delle acque che percolano non più solo per permeabilità

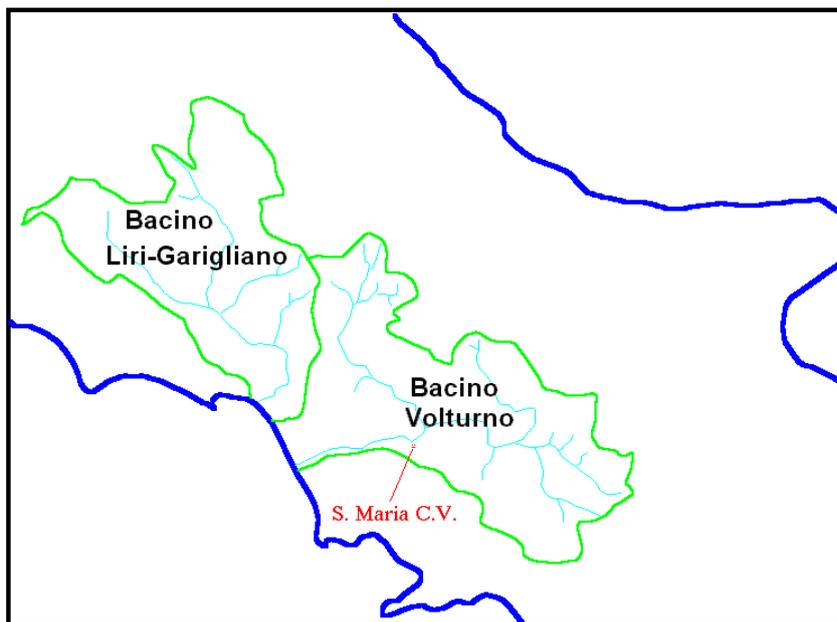
aumenta il trasporto solido così le crepe si allargano sempre di più compromettendo definitivamente la stabilità degli strati superficiali.

### **2.3.4 Rapporti con l’Autorità di Bacino**

Le Leggi n. 493/193, n. 226/1999 e n. 385/2000 hanno lo scopo di assicurare la difesa del suolo e il risanamento delle acque e a tal fine ripartiscono il territorio in Bacini Idrografici e definiscono un nuovo strumento di pianificazione “il Piano di Bacino” la cui elaborazione è affidata alle Autorità di Bacino.

L’Autorità di Bacino dei fiumi Liri – Garigliano e Volturno, così come previsto dalla già citata L. 493/93, ha redatto ed adottato il Piano Stralcio relativo alla difesa alluvioni (PSDA) – bacino Volturno, ed ha, inoltre, approvato, ai sensi della L. 226/99, il “Piano straordinario per la rimozione delle situazioni a rischio idrogeologico più alto, recante l’individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico e di frana molto elevato”.

Il Piano di Bacino mira alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla salvaguardia della qualità delle acque superficiali e sotterranee. Il Piano offre un ampio quadro di base conoscitiva del contesto fisico, ambientale ed antropico in riferimento alle condizioni del suolo, delle acque con speciale riguardo alle loro quantità e qualità.

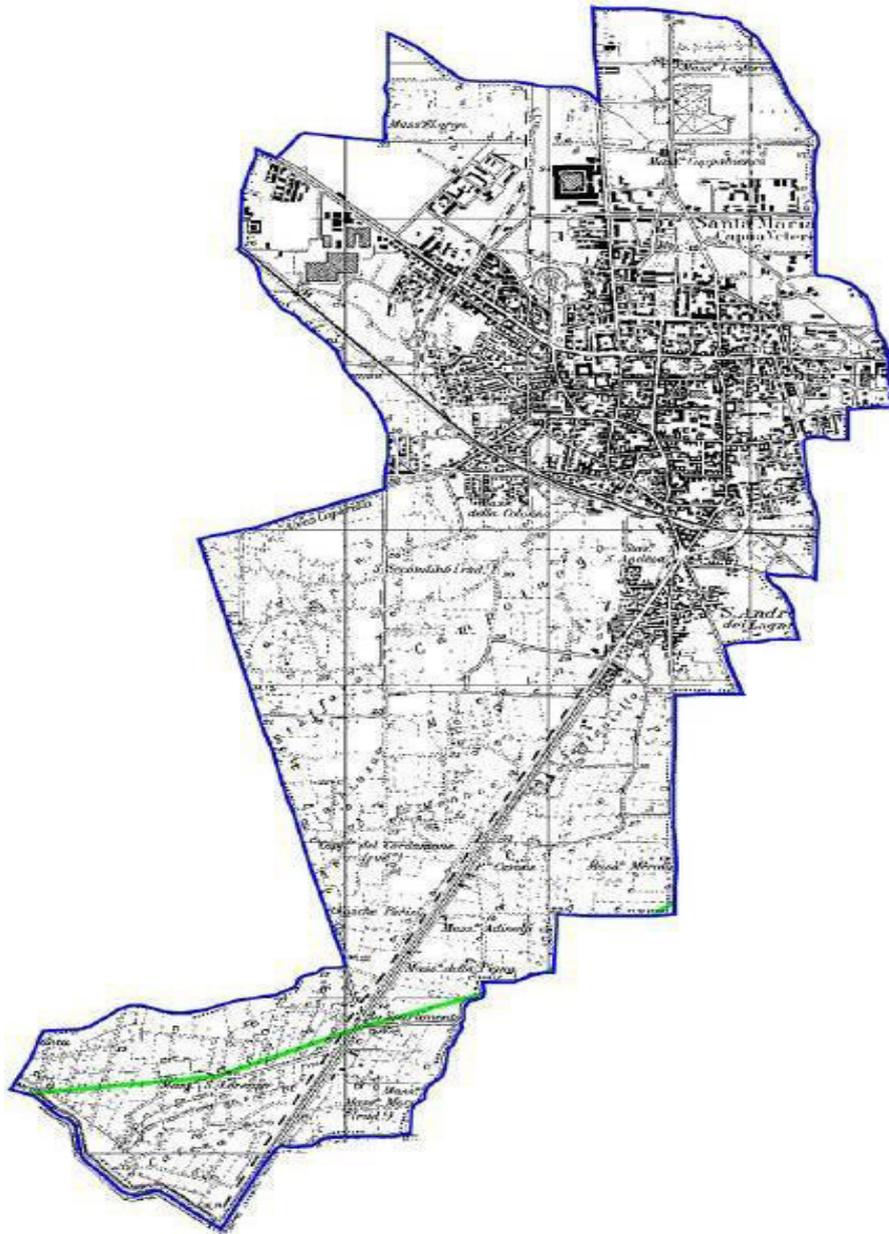


*Fig. 3: Ubicazione dell'area nell'ambito del bacino di riferimento*

Il Piano di Bacino mira alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla salvaguardia della qualità delle acque superficiali e sotterranee. Il Piano offre un ampio quadro di base conoscitiva del contesto fisico, ambientale ed antropico in riferimento alle condizioni del suolo, delle acque con speciale riguardo alle loro quantità e qualità.

In tale Piano sono individuati gli interventi necessari alla difesa del suolo nell'ampio significato della legge, distinti secondo le finalità sopraindicate di prevenzione, sistemazione, conservazione, corretta utilizzazione e risanamento.

Le attività di programmazione, di pianificazione e di attuazione degli interventi sono finalizzate (sulla base dell'individuazione e quantificazione delle situazioni, in atto e potenziali, del degrado del sistema fisico, nonché delle cause) alla sistemazione, conservazione e recupero del suolo; sistemazione e regolazione dei corsi d'acqua; moderazione delle piene; disciplina delle attività estrattive; consolidamento delle aree instabili.



*Fig. 4: Ubicazione dell'area sulla "Carta degli scenari di rischio – Rischio frane"*

Le Autorità di Bacino tramite il Comitato Istituzionale, adottano le misure di salvaguardia con particolare riferimento ai bacini montani, ai torrenti di alta valle ed ai corsi d'acqua di fondovalle. Le misure sono immediatamente vincolanti e restano in vigore fino all'approvazione del Piano di Bacino e comunque per un periodo non superiore a tre anni.

L'Autorità di Bacino del Liri Garigliano Volturno nell'emanazione del Piano di Bacino ha stilato diversi Piani Stralci.

Dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Rischio Frane [PsAI-rF], adottato dal C.I. con delibera n. 1 del 25/02/2003, approvato con D.P.C.M. del 12/12/2006, è stata estratta la "*Carta degli scenari di rischio – Rischio frane*" (fig.4), dove sono individuate le seguenti aree:

- ↪ Area di alta attenzione interessata da frane con intensità elevata;
- ↪ Area a rischio molto elevato per l'incolumità delle persone e per la sicurezza delle infrastrutture del patrimonio ambientale e culturale;
- ↪ Area di attenzione interessata da frane di intensità media che interagiscono in parte o del tutto con beni esposti a rischio;
- ↪ Area con beni a rischio per i quali non sono segnalati danni significativi;
- ↪ Area a rischio molto elevato per la presenza di beni esposti a rischio per i quali sono stati segnalati danni notevoli e/o ripetuti.

Nella fig.4 si nota che per il territorio comunale non sono presenti aree a rischio.

Dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Rischio Idrogeologico [PsAI-Ri], adottato dal C.I. con delibera n. 2 del 05/04/2006 approvato con D.P.C.M. del 12/12/2006 è stata estratta la "*Carta della zonazione ed individuazione degli squilibri*" (fig.5), dove sono individuate le seguenti tipologie di aree:

- ↪ Aree inondabili;
- ↪ Ostruzioni in alveo;
- ↪ Aree allagate;
- ↪ Erosione in alveo;
- ↪ Erosione di sponde;
- ↪ Danni ad infrastrutture.

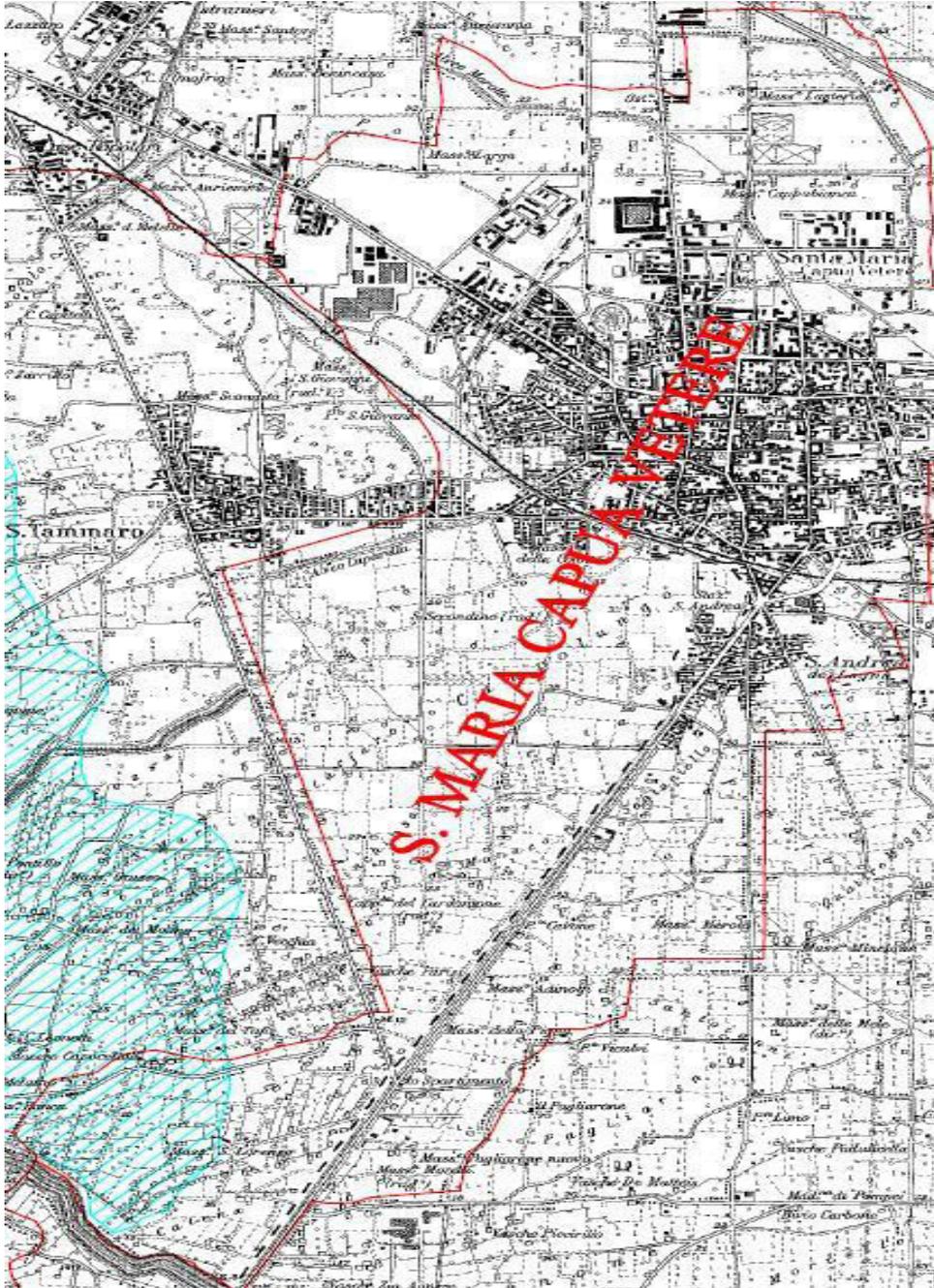


Fig. 5: Ubicazione dell'area sulla "Carta della zonazione ed individuazione degli squilibri"

Nella fig.5 si nota che il territorio comunale compreso nell'estratto di tale carte presenta unicamente una piccola zona a rischio di inondazione in prossimità dei Regi Lagni.

Tale zona viene attualmente utilizzata esclusivamente a scopo agricolo e non sono presenti infrastrutture o abitazioni, per cui la valutazione del rischio è difficilmente quantizzabile; in ogni caso essa viene segnalata nella Carta della Stabilità.

Si segnala che qualora tale zona dovesse essere presa in considerazione per eventuali insediamenti è possibile modificare la classificazione attuale dell'area, che prevede la non edificabilità, con la presentazione all'Autorità di Bacino di un studio idrogeologico e idraulico specifico che contenga indicazione delle misure di mitigazione del rischio, da sottoporre ad approvazione.

### **2.3.5 Raccomandazioni**

Alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti, si evince che l'intero territorio comunale risulta naturalmente stabile, ma che questa stabilità è potenzialmente compromessa da opere antropiche (cavità) di cui si conosce solo in parte l'ubicazione e talvolta neppure è nota l'esistenza.

Pertanto, è doveroso richiamare l'attenzione dell'Amministrazione Comunale su questa situazione che con il tempo può rappresentare un sempre più serio problema di sicurezza della pubblica incolumità anche su vasta scala, oltre ad un onere sempre crescente per via delle maggiori manutenzioni necessarie, nonché per i disagi indotti per il traffico locale. L'unico mezzo di prevenzione per farvi fronte, oltre ad una manutenzione specializzata nelle reti, rimane senz'altro la conoscenza approfondita dell'ambiente in cui si opera.

Per questo motivo si raccomanda espressamente l'esecuzione di un dettagliato rilievo delle cavità sull'intero territorio comunale che registri in un **Catasto Comunale** tutti gli indizi della presenza di cavità nel sottosuolo.

Tale strumento, associato ad un rilievo di tutti i sotto-servizi presenti sotto le pubbliche vie, permetterà di evidenziare le aree con maggiori rischi e dunque adottare preventivamente strumenti operativi per la pubblica incolumità, nonché obblighi di salvaguardia delle strutture con indagini di maggior dettaglio per piani di recupero e di risanamento come già avvenuto in modo puntuale.



Fig. 6: Ubicazione di cavità e cunicoli noti tra via Avezzana e via Mazzocchi

## 2.4 Idrogeologia

Il bacino idrico della zona oggetto di studio deve considerarsi come porzione dell'enorme bacino delimitato dalle propaggini dell'Appennino che interessa tutta la pianura Campana con una circolazione idrica che dai massicci carbonatici defluisce verso il mare.

Al fine di schematizzare e rendere più semplice l'interpretazione del modello idrogeologico dell'area sono stati raggruppati i vari materiali rinvenuti da sondaggi meccanici ed elettrici in base alle loro caratteristiche di permeabilità relativa e del ruolo che ciascuno di essi ha in seno alle diverse strutture idrogeologiche.

### 2.4.1. Complessi idrogeologici

#### 2.4.1.1 Complesso Ignimbrítico

Il complesso ignimbrítico risulta costituito dall'ignimbrite trachi-fonolitica (nota come "Tufo grigio campano") che si trova in affioramento nella valle Caudina e lungo quasi

tutta la fascia pedemontana e la parte di piana antistante ai massicci carbonatici, ma che interessa in profondità la maggior parte della piana Campana stessa.

L'ignimbrite mostra una bassa permeabilità per porosità e fessurazione. Essa non dà luogo a manifestazioni sorgive di rilievo, né risulta particolarmente acquifera nei pozzi che l'impegnano. Solo la parte alta degli affioramenti e le zone superficiali alterate mostrano un discreto grado di permeabilità.

### **2.4.1.2 Complesso Piroclastico**

Il complesso piroclastico è costituito da depositi piroclastici con rarissimi episodi lavici, intercalati da tufi. Esso affiora estesamente nella piana Campana e nella zona dei Campi Flegrei.

Tra le piroclastiti si rinvencono anche tufiti e tufi terrosi, caratterizzati da un'estrema variabilità granulometrica e tessiturale, nonché da brusche variazioni di giacitura e del grado di cementazione.

Il complesso è permeabile per porosità e per fessurazione; il grado di permeabilità relativa è complessivamente alto.

Il complesso, pur avendo un comportamento idrogeologico diversificato a seconda della granulometria, della compattazione o della maggiore o minore diagenizzazione dei termini che lo costituiscono, può assumere localmente unitamente a detriti ed alluvioni il ruolo di "impermeabile relativo" nei confronti dell'acquifero carbonatico la cui falda di base viene così parzialmente tamponata al piede.

Sulle pendici il complesso è costituito quasi esclusivamente da elementi a granulometria fine che, talvolta, agevolano il ruscellamento superficiale; spesso, però, svolgono un'utile azione ritardatrice sui tempi di risposta dell'acquifero.

La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata dalla presenza di "più falde" interconnesse, con fasce di drenaggio preferenziale generalmente coincidenti con le zone in cui è prevalente la componente piroclastica a granulometria relativamente grossolana.

### **2.4.1.3. Complesso Detritico – Piroclastico - Alluvionale**

Nel complesso detritico – piroclastico - alluvionale sono stati associati i depositi detritici di falda, i depositi alluvionali e le piroclastiti rimaneggiate (intercalate in copertura alle associazioni litologiche precedenti).

Si tratta di un complesso caratterizzato da un grado di permeabilità medio-basso, ma variabile anche in modo sostanziale da litotipo a litotipo.

L'infiltrazione efficace è elevata, anche perché la morfologia degli affioramenti è generalmente pianeggiante.

A causa della sostanziale caoticità che caratterizza la giacitura dei vari litotipi (con lenti più o meno estese e tra loro inter-digitate di depositi con differente grado di permeabilità), la circolazione idrica sotterranea si esplica secondo “falde sovrapposte” (appartenenti, quasi sempre, ad un'unica circolazione).

La capacità ricettiva di quest'ultimo acquifero è complessivamente buona, specie per via dell'alimentazione diretta (fenomeno, questo, facilitato dalla morfologia piatta degli affioramenti).

Esso è permeabile per porosità e, subordinatamente, per fratturazione. Il grado di permeabilità è elevato.

#### **2.4.2 Fattori di condizionamento della circolazione idrica sotterranea**

La piana Campana è costituita da un “graben” riempito, nella parte alta, da pile di sedimenti prevalentemente piroclastici (sia sciolti che litoidi) e subordinatamente detritico - alluvionali. Gli spessori dell'intera successione stratigrafica, dell'ordine di alcune migliaia di metri in prossimità delle zone di spiaggia, tendono a diminuire progressivamente via via che ci si avvicina ai massicci carbonatici circostanti.

Sono rappresentati da sedimenti di origine diversa e, quelli piroclastici in particolare, sono legati a differenti episodi esplosivi dei vari apparati vulcanici. Pertanto il sottosuolo presenta frequenti variazioni litologiche e granulometriche, sia in orizzontale che in verticale.

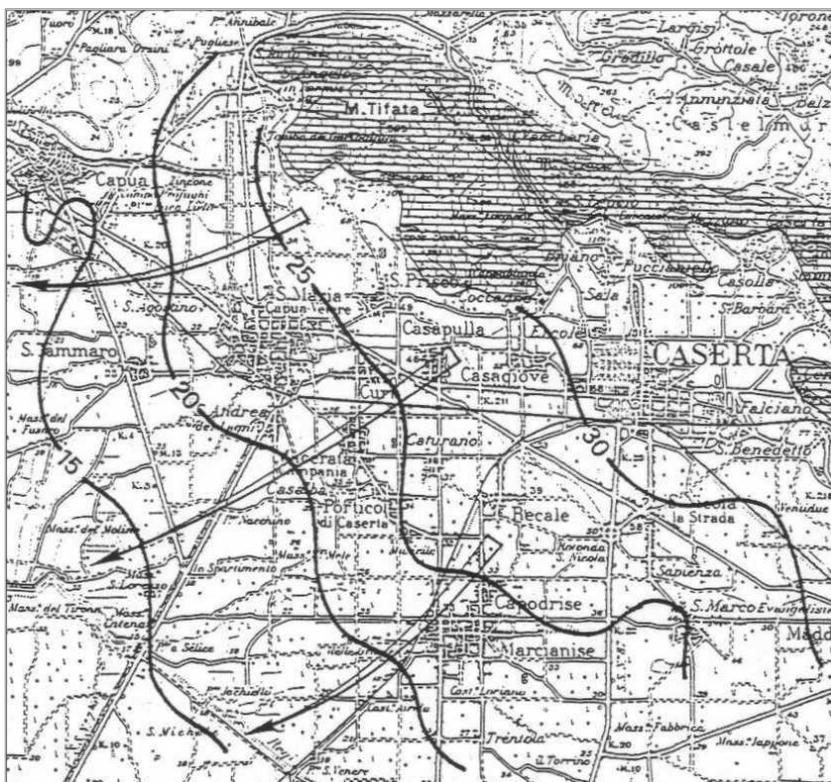


Fig. 7: Linee di deflusso e iso-piezometriche della Piana Campana nell'area interessata

L'acquifero è quindi caratterizzato da una notevole eterogeneità granulometrica (a cui si associano variazioni di permeabilità anche considerevoli) e dalla caoticità dei rapporti geometrici tra i vari litotipi.

Ne consegue che il deflusso idrico sotterraneo è fortemente condizionato dalla interdigitazione di strati e lenti a maggiore e minore permeabilità relativa. Per tale motivo sono presenti più “falde sovrapposte”, le cui caratteristiche (quota piezometrica, spessori, qualità delle acque, ecc.) possono essere differenti anche in punti molto vicini tra loro e lungo la stessa verticale.

In ogni caso la circolazione idrica sotterranea è sostanzialmente unica. Infatti tra le varie falde (che possono essere considerate isolate tra loro solo localmente) esistono interscambi idrici continui, sia in orizzontale (per effetto delle inter-digitazioni esistenti tra i vari strati a permeabilità diversa) che in verticale (per l'esistenza di fenomeni di drenanza diffusi, dovuti all'assenza di strati continui che possono comportarsi da veri e propri impermeabili).

Ci si riferisce ovviamente alla circolazione idrica basale alimentata, oltre che dall'infiltrazione diretta, anche dai massicci carbonatici adiacenti. Falda basale che ha i suoi recapiti preferenziali nei corsi d'acqua, nel mare e nelle aree depresse della fascia costiera.

In alcune zone, altimetricamente più elevate, localmente è comunque possibile l'esistenza, a varie altezze (ed anche in superficie), di modestissime falde "sospese" sui livelli meno permeabili.

Per quanto concerne i fattori di condizionamento della circolazione idrica sotterranea nei massicci carbonatici, c'è da osservare che in essi è presente un fitto intreccio di fratture e faglie.

Il ripetersi (con effetti spesso sovrapposti) di più fasi tettoniche, non solo ha interrotto la originaria continuità fisica dei litotipi carbonatici, ma ha creato più corpi idrici che possono essere talvolta considerati idrogeologicamente indipendenti.

Infatti la circolazione idrica sotterranea è spesso condizionata dalle fasce cataclastiche e/o milonitiche delle principali direttrici tettoniche le quali, creando zone a minore permeabilità relativa, limitano i travasi tra corpi idrici contigui (pur senza creare dei veri e propri spartiacque sotterranei). Travasi, questi, che spesso sono resi difficili anche dalla presenza di modeste differenze di livello piezometrico tra bacini sotterranei adiacenti.

Un ulteriore motivo di condizionamento e di frazionamento della circolazione idrica di base di alcuni massicci carbonatici è legato al fatto che la successione sedimentaria, con a letto le meno permeabili rocce dolomitiche (intercalate, verso il basso, da livelli calcareo-marnosi), si presenta suddivisa in monoclinali complesse nelle quali le dolomie affiorano a quota elevata. Il complesso funge quindi da "impermeabile relativo" rispetto alla circolazione dei calcari sovrastanti.

### **2.4.3 Unità Idrogeologiche**

Per quanto concerne l'indagine idrogeologica, essa è sviluppata al fine di pervenire ad una corretta ricostruzione dello schema di circolazione idrica sotterranea a grande scala del territorio di interesse e di quelli adiacenti.

A tale ricostruzione si giunge attraverso un'accurata ricerca bibliografica, oltre che mediante l'omogeneizzazione e la reinterpretazione dei dati acquisiti ed opportuni controlli in campagna in corrispondenza del territorio interessato dall'indagine.

Da tale indagine è emerso tra l'altro che il territorio investigato può essere suddiviso in almeno due unità idrogeologiche:

- ↳ Unità idrogeologica dei monti Tifatini;
- ↳ Unità idrogeologica della piana Campana.

La prima unità, pur essendo solo adiacente all'area di studio, ne influenza in maniera determinante la circolazione idrica sotterranea in quanto l'alimenta lateralmente. L'area comunale è compresa invece nella seconda unità idrogeologica.

La suddivisione del territorio in unità idrogeologiche risulta indispensabile per il conseguimento degli obiettivi dello studio e per una migliore comprensione dello schema di circolazione idrica sotterranea. Per unità idrogeologica si intende, come è noto, un dominio dotato di una comprovata unità stratigrafica, strutturale e morfologica, ai cui limiti si verificano condizioni che annullano o comunque ostacolano le possibilità di travasi d'acqua ed al cui interno i termini litologici, complessivamente omogenei nel tipo e nel grado di permeabilità, si comportano in modo più o meno uniforme nei riguardi dell'infiltrazione, dell'immagazzinamento e del movimento delle acque sotterranee.

#### **2.4.3.1 Unità idrogeologica dei monti Tifatini**

Nell'unità idrogeologica dei monti Tifatini, costituita prevalentemente da dolomie, calcari dolomitici e calcari, la circolazione idrica sotterranea si presenta molto frazionata, soprattutto per la presenza di importanti complicazioni strutturali di interesse idrogeologico.

Il principale punto di recapito della falda è situato lungo il fronte settentrionale della struttura ed è rappresentato dalle sorgenti di S. Sofia.

Il monte Tifata s.s. risulta tettonicamente isolato dal resto della struttura idrogeologica, poiché una faglia inversa porta le dolomie di cui esso è costituito a sovrapporsi alle rocce carbonatiche dell'adiacente monte S. Leucio. Inoltre alcuni sondaggi meccanici recentemente eseguiti hanno consentito di accertare che il monte Tifata s.s. è completamente sovra scorso sulle "Argille - Varicolori".

Poiché il substrato di sovrascorrimento si trova spesso a quota più alta rispetto ai margini del massiccio, è evidente l'azione di condizionamento che esso esercita sulla circolazione idrica sotterranea. Si può perciò affermare che la falda idrica sotterranea del

monte Tifata s.s. trova il suo recapito, nella sua quasi totalità (3,7 milioni mc/anno circa), nella piana Campana. Un deflusso secondario si ha verso Nord in direzione del Volturno.

Ai fini del presente lavoro, l'anzidetto travaso idrico sotterraneo indica l'esistenza di importanti interconnessioni tra la Falda di pianura e quella del massiccio adiacente, pertanto qualsiasi emungimento non controllato dell'una provoca anche il depauperamento dell'altra.

### **2.4.3.2 Unità idrogeologica di parte della Piana Campana**

L'unità idrogeologica della piana Campana, che interessa in maniera diretta l'area del comprensorio di S. Maria C.V., è delimitata a Nord dal fiume Volturno, a Sud-Est dai Campi Flegrei, a Nord-Est dai massicci carbonatici e a Sud-Ovest dal mare.

Dal punto di vista strutturale, si tratta di un "graben" individuatosi nel Pliocene e successivamente ribassatosi per diverse migliaia di metri. Nell'area centrale, prossima alla foce del Volturno, risulta uno spessore di oltre 4.000 metri di depositi quaternari, prevalentemente piroclastici ed alluvionali, con frequenti episodi marini e lacustri.

Dal punto di vista idrogeologico, in questa enorme pila di sedimenti, il cui spessore diminuisce man mano che ci si avvicina ai massicci carbonatici (monti Tifatini, Monti di Durazzano ecc.), si possono distinguere alternanze di livelli a diversa litologia e granulometria e quindi a diverso grado di "permeabilità relativa".

La circolazione idrica sotterranea avviene quindi per "falde sovrapposte" contenute nei livelli più grossolani.

In fig.7 è illustrata una carta a curve isopiezometriche di questa unità e dei massicci carbonatici adiacenti. Come accade ugualmente in altre piane costiere, anche in questa unità idrogeologica è possibile rinvenire una prima falda freatica che viene preferenzialmente alimentata dagli apporti zenitali diretti e, nelle zone morfologicamente depresse, anche per "drenanza".

La falda superficiale è generalmente poco produttiva perché, specie nelle aree di basso morfologico, in affioramento si rinvengono depositi limoso - argillosi.

Al contrario, nelle stesse aree, le falde sottostanti presentano in genere una buona produttività e sono spesso caratterizzate da fenomeni artesiani. Non sempre però la qualità dell'acqua è ottima, sia per fenomeni di inquinamento esterni che per fenomeni legati alle caratteristiche dell'acquifero.

A Sud del Volturno la falda di pianura, in accordo con lo schema di circolazione idrica dei massicci carbonatici adiacenti, viene alimentata lateralmente dalla falda di base di questi ultimi, dal Volturno fino all'altezza di Maddaloni.

Di particolare interesse è la zona di drenaggio preferenziale lungo la direttrice Caivano - Aversa - Villa Literno. Essa, infatti, si trova sulla naturale prosecuzione verso Ovest della valle Caudina e coincide, probabilmente, con una vecchia zona morfologicamente depressa. Si spiega così il motivo per cui i monti di Durazzano, posti a Nord, non hanno sorgenti.

Dall'andamento delle curve isopiezometriche risulta pure chiaro che la maggiore alimentazione arriva proprio dalla suddetta struttura ed in misura inferiore dalla dorsale di Avella, ubicata più a Sud.

Spostandosi dai massicci verso il mare si può osservare che una parte della falda viene intercettata dai Regi Lagni. Ciò è in accordo con l'esistenza per un'ampia fascia adiacente al canale di una superficie piezometrica prossima al piano campagna nei periodi di piena e situata a pochi metri di profondità in quelli di magra.

Nella zona terminale (a Sud dei Regi Lagni) la falda trova recapito nei canali di bonifica ubicati, lungo la fascia costiera, ad Est delle dune.

Nella zona posta a Nord dei Regi Lagni la variante principale consiste nel fatto che vi confluiscono anche le acque sotterranee provenienti dal Volturno. Nella zona del lago Patria, ed ancora più a Sud, converge invece una falda poco produttiva caratterizzata da un gradiente piezometrico più elevato di quello dell'intera piana.

Da quanto esposto si evince a chiare lettere che nella piana Campana affluiscono, per via sotterranea tutte le acque degli acquiferi circostanti.

La salvaguardia della falda di pianura è quindi fondamentale per preservare gli equilibri idrogeologici di tutta l'area napoletana e casertana, con particolare riferimento ai massicci carbonatici dai quali traggono alimentazione alcuni tra i principali acquedotti campani.

#### **2.4.4 Valutazione delle Risorse Idriche Disponibili**

Si è proceduto ad una quantificazione cautelativa delle risorse idriche medie disponibili relative all'area tramite il calcolo del bilancio idrologico dello stesso territorio.

Per poter fare ciò si è tenuto conto che questa risulta idrogeologicamente inserita nel contesto più ampio dell'unità della piana Campana e che quindi, come tale, risente degli equilibri della stessa.

Per questo motivo, nei paragrafi successivi si è proceduto al calcolo del bilancio idrologico medio sia delle aree di pianura che interessano il Comprensorio di Santa Maria Capua Vetere, nonché delle altre unità idrogeologiche ad esso connesso, quali la piana Campana ed i massicci carbonatici dei monti Tifatini.

Nell'esecuzione dei calcoli relativi ai bilanci dei vari territori sono state utilizzate metodologie diverse a seconda che le aree in questione presentassero o meno diversificazioni dal punto di vista altimetrico, geologico e geomorfologico, essendo questi dei fattori altamente condizionanti i risultati stessi.

Il bilancio idrologico medio si basa sulla valutazione dei parametri che caratterizzano il ciclo idrologico, considerati come valori medi di almeno un trentennio.

Essi devono soddisfare, entro certi limiti, l'equazione:

$$A_e + P = E_r + R + I + D_e$$

Dove :

- A<sub>e</sub>** apporti idrici dall'esterno, per via sotterranea (quando esistono);
- P** piovosità media;
- E<sub>r</sub>** evapotraspirazione reale media;
- R** ruscellamento;
- i** infiltrazione;
- D<sub>e</sub>** deflussi idrici verso l'esterno, per via sotterranea (quando esistono).

Il bilancio, espresso in questa forma, è perciò un'operazione che permette di quantizzare il ciclo idrologico di un bacino sotterraneo, cioè di un'area delimitata da "spartiacque" sotterranei, che presenta una circolazione idrica sotterranea sia autonoma che con interscambi con le falde adiacenti. È chiaro, inoltre, che esso può rappresentare anche una verifica indiretta dell'attendibilità dello schema di circolazione idrica sotterranea e dei limiti imposti al bacino.

#### **2.4.4.1 Bilancio idrologico medio dei monti Tifatini, in particolare del monte Tifata s.s.**

Sulla base di una serie di considerazioni geologico strutturali e idrogeologiche, nel precedente paragrafo sono state definite le porzioni della struttura dei monti Tifatini (monte Tifata s.s.) che contribuisce ad alimentare l'antistante parte della piana Campana.

Infatti si è tenuto conto soltanto delle aree che certamente fanno convergere le loro acque di falda verso la piana di Santa Maria C.V., mentre sono state escluse (e quindi evidenziate come esterne ai bacini) quelle di dubbia interpretazione.

Delle aree suddette è stato calcolato il bilancio idrologico medio annuo al fine di giungere ad una quantizzazione delle risorse idriche mediamente disponibili o dei travasi che si hanno verso la piana.

Si è proceduto al calcolo del bilancio idrologico mediante il metodo delle isoiete per topoieti e si è giunti a definire per singole fasce pluviometriche, e per singoli bacini sotterranei, il valore del deflusso idrico totale medio annuo ( $Q_s$ ).

L'evapotraspirazione reale è stata calcolata mediante la costruzione di un'apposita carta dell'evapotraspirazione ricavata con metodologia analoga a quella delle isoiete.

Mediante media ponderata, infine, è stato calcolato con entrambi i metodi il valore medio di  $Q_s$  relativa all'intera unità idrogeologica ed, in particolare, al bacino sotterraneo di monte Tifata s.s.

La potenzialità idrica media annua del bacino sotterraneo del monte Tifata s.s. risulta uguale a circa 4,0 milioni di mc/a pari alla media dell'infiltrazione potenziale riportata nelle tabelle riepilogative, corrispondenti ad una portata media di oltre 120 l/s.

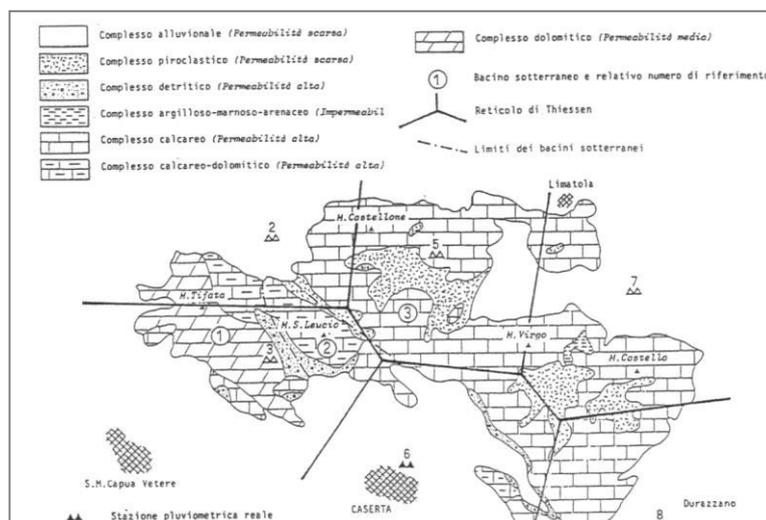
Caratteristica	Simbolo	Valore	Unità
Superficie	S	10.5	Km <sup>2</sup>
Afflussi meteorici	P	11.7*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup> /a

Evapotraspirazione reale	$E_r$	$6.5 \cdot 10^6$	$m^3/a$
Deflusso globale	$Q=P-E_r$	$5.2 \cdot 10^6$	$m^3/a$
Ruscigliamento potenziale	$R_p$	$1.50 \cdot 10^6$	$m^3/a$
Infiltrazione potenziale	$I_p$	$3.70 \cdot 10^6$	$m^3/a$
Alimentazione laterale	$A_l$	Trascurabile	$m^3/a$
Alimentazione totale	$A_t=I_p+A_l$	$3.70 \cdot 10^6$	$m^3/a$
Portate sorgive	$Q_s$	Trascurabili	$m^3/a$
Altri recapiti	$Q_a$	$3.70 \cdot 10^6$	$m^3/a$
Uscite totali	$Q_u=Q_s+Q_a$	$3.70 \cdot 10^6$	$m^3/a$

Tabella 1: Riepilogo dei risultati del bilancio idrogeologico dei Monti Tifatini

Volumi idrici di questo ordine di grandezza sono già captati dalla Regione Campania, per uso potabile, dal campo pozzi di monte Tifata s.s..

Se a ciò si aggiunge che dall'indagine è emerso che tutte le industrie comprese tra Capua e S. Maria Capua Vetere sono dotate di pozzi profondi che raggiungono il substrato (direttamente collegato al monte Tifata s.s.), risulta evidente che attualmente si sono invertiti i rapporti tra i due acquiferi; in altri termini, non è più quello carbonatico ad alimentare la piana ma è la falda di quest'ultima che alimenta parzialmente i pozzi ubicati nell'acquifero del Tifata s.s..



liche (rev. 1)



*Fig. 10: Carta dell'evapotraspirazione*

#### **2.4.4.2. Bilancio idrogeologico medio della Piana Campana**

La porzione di piana Campana, oggetto del calcolo del bilancio idrologico, è quella che contiene l'intero comprensorio di Santa Maria Capua Vetere. I suoi limiti sono marcati da zone di alimentazione, zone di recapito delle acque sotterranee e spartiacque superficiali.

Per il calcolo del bilancio si è proceduto come per il paragrafo precedente e facendo ricorso ai dati contenuti nella bibliografia.

In base a questi ultimi sono state approntate le carte della piovosità media annua (fig. 11) e quella dell'evapotraspirazione reale media annua (fig. 12).

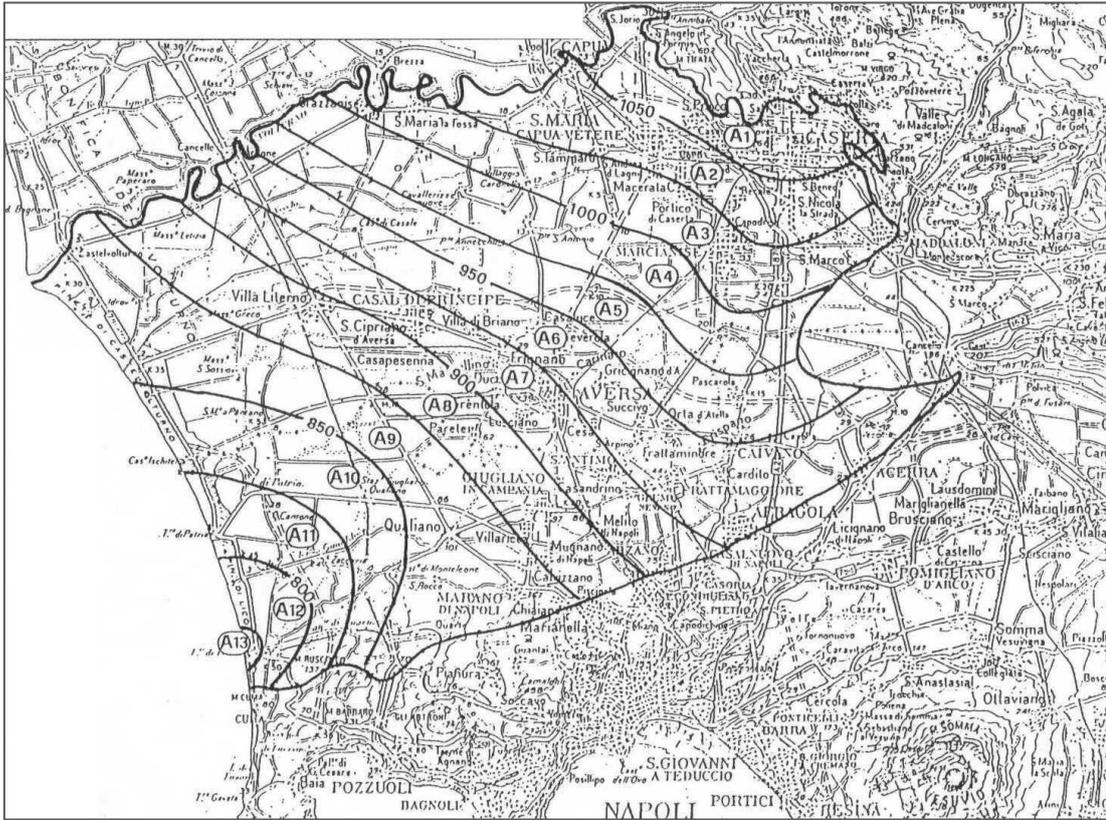


Fig. 11: Fasce di Piovosità

Il territorio è risultato così suddiviso in varie fasce pluviometriche e di evapotraspirazione reale. Con il calcolo dei valori medi è stato possibile risalire ai valori della lama media di piovosità ( $L_m=941,27$  mm/anno) e di evapotraspirazione reale ( $L'_m=553,74$  mm/anno).

Moltiplicando infine i valori ottenuti per la superficie totale interessata ( $745$  km<sup>2</sup> circa) sono stati ottenuti i due valori ( $P=701,25$  milioni di m<sup>3</sup>/anno;  $E=412,53$  milioni di mc/anno) necessari per il calcolo dei volumi medi di acqua di infiltrazione efficace ( $D_m=98.72$  milioni di m<sup>3</sup>/anno).

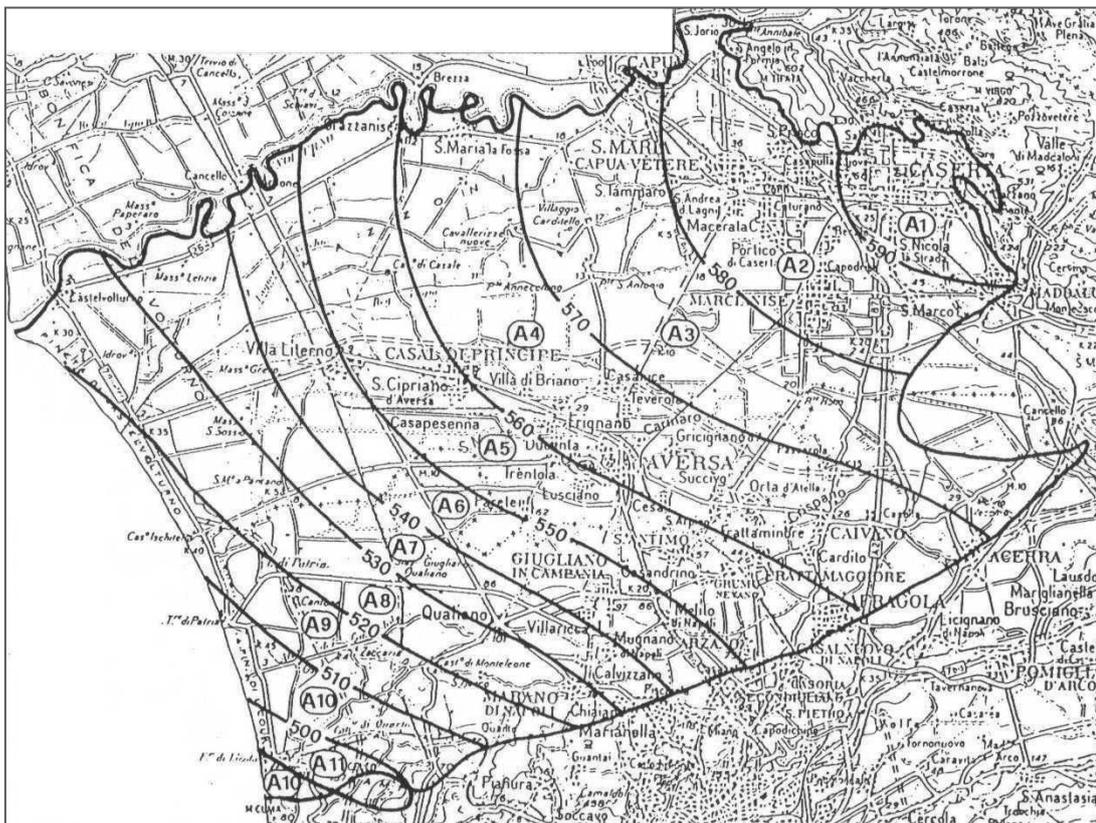


Fig. 12: Fasce di evapotraspirazione

Nell'area in esame l'approvvigionamento idrico per uso irriguo viene effettuato tramite emungimento dal sottosuolo; considerando una superficie irrigua così approvvigionata, dell'ordine dei 55000-60000 ha, si ha un prelievo di circa 230 milioni di mc anno d'acqua.

Dalla stessa falda traggono pure alimentazione i numerosi agglomerati industriali presenti nell'area (Caserta Sud, S. Nicola la strada, S. Marco Evangelista, Marcianise, Aversa Nord, Canello, Villa Literno, Caivano, Acerra e Giugliano-Qualiano) per una portata totale di circa 2000 l/s corrispondente a circa 63 milioni di mc/anno.

Dalla stessa falda traggono infine alimentazione anche le industrie fuori agglomerato, per una portata totale di circa 1500 l/s, corrispondente a circa 47 milioni di mc/anno.

In totale gli emungimenti idrici dal sottosuolo corrispondono, dunque, a circa 340 milioni di mc/anno contro un'alimentazione idrica diretta di circa 288 milioni di mc/anno.

Poiché attualmente sono da considerare nulli o trascurabili le alimentazioni per via sotterranea provenienti dai massicci carbonatici adiacenti alla piana Campana, si deve ritenere che la falda sia globalmente sovra sfruttata, in cifra tonda, di almeno 50 milioni di mc/anno (pari a circa 1,6 mc/s). Detto volume potrebbe essere in effetti maggiore se

si considera che nei conteggi precedenti non si è tenuto conto dei deflussi attualmente esistenti verso il mare e verso i corsi d'acqua.

## 2.4.5 Carta Idrogeologica

Per l'elaborazione della "*Carta Idrogeologica*" in scala 1:5000 (Tavola n. 3) ai fini del presente lavoro si è provveduto ad una misurazione dei livelli piezometrici nel periodo luglio – settembre 2018.

Come già si evinceva nel 2011, dove i valori erano mediamente più alti di circa 2 - 3 metri su quelli rilevati nel 1988, anche i dati odierni mostrano la stessa tendenza ad una generale sostanziale risalita della falda nelle aree urbanizzate e a nord dell'abitato (almeno 1,5 metri). Nelle aree a meridione dell'abitato il livello della falda sembra invece relativamente stazionario. Le cause di questo andamento sono da ascrivere a diversi fattori quali:

- ↳ la maggiore piovosità dell'ultimo decennio e l'abbandono di quasi tutti i prelievi nelle aree urbanizzate sono responsabili della risalita della falda in molte aree;
- ↳ la maggiore piovosità dell'ultimo decennio e l'uso sempre più frequente di tecnologie di irrigazione più potenti determinano un bilancio quasi pari per le aree agricole a meridione dell'abitato.

Infatti se si osservano più in dettaglio i dati lungo le zone di deflusso della falda NE-SW sia per l'area urbana che per le aree agricole meridionali, si nota che esiste un netto gradino idraulico tra le aree urbanizzate e quelle agricole. Tale gradino influenza direttamente il deflusso delle acque di falda.

Sulla cartografia sono evidenziati sia il numero del pozzo che le linee isopiezometriche con il riferimento della quota in m sul livello del mare, nonché la direzione di deflusso.

Dal confronto tra l'andamento delle isoipse dei precedenti rilievi (1988, 2000 e 2011) si rileva che l'andamento delle curve del 2018 molto simile a quello del rilievo 2011 tranne che per la lieve risalita della falda.

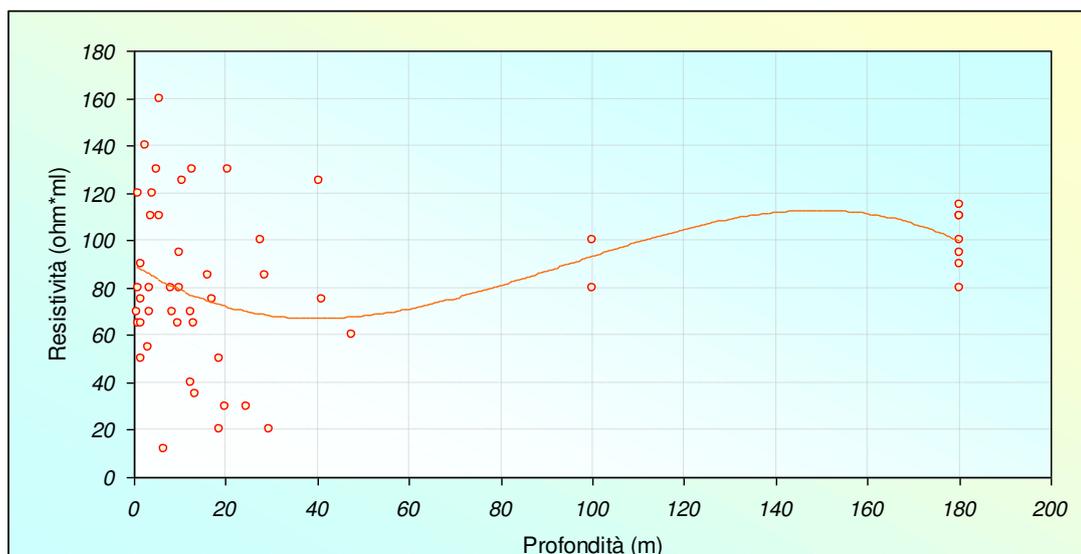
Numero Pozzo	Quota pozzo sul livello del mare	Profondità falda in m	Livello piezometrico in m.s.l.m.
1	32,00	7,60	24,40
2	31,00	8,90	22,10
3	30,00	6,80	23,20
4	30,00	8,80	21,20
5	33,00	8,80	24,20
6	35,00	9,60	25,40
7	39,00	13,50	25,50
8	40,00	13,30	26,70
9	34,00	9,50	24,50
10	17,00	1,90	15,10
11	28,00	5,30	22,70
12	26,00	4,70	21,30
13	26,00	5,20	20,80
14	27,00	6,20	20,80
15	22,00	5,40	16,60
16	25,00	3,60	21,40
17	24,00	5,20	18,80
18	36,00	13,00	23,00
19	32,00	8,90	23,10
20	40,00	13,75	26,25

Tabella 2: Riepilogo delle misure del livello piezometrico tra luglio e settembre 2018

## 2.4.6 Indagine geoelettrica

Allo scopo di convalidare quanto emerso dall'indagine bibliografica, sono stati visionati i sondaggi elettrici verticali eseguiti durante le indagini per il PRG del 1988.

Il metodo dei SEV si fonda sullo studio del campo elettrico creato nel terreno mediante l'immissione di corrente continua: nelle prove eseguite era stato adottato il dispositivo quadripolare AMNB simmetrico (Schlumberger).



*Fig. 13: Relazione tra resistività dei terreni con la profondità*

I valori di resistività registrati, mantenendo fissa la distanza fra gli elettrodi interni (MN) e facendo variare quella tra gli elettrodi esterni (AB), riportati su grafici a scala bi-logaritmica, consentono di valutare le caratteristiche del terreno in corrispondenza del centro dello stendimento. I metodi di interpretazione sono basati sul concetto di un terreno omogeneo composto da strati piani e paralleli con caratteristiche costanti, condizioni che si verificano molto raramente. I risultati che si ottengono non hanno quindi valenza assoluta ma consentono tuttavia di individuare un modello che nel caso in esame coincide con le ipotesi avanzate nei paragrafi precedenti, ossia terreni superficiali molto variabili e difficilmente classificabili, con un substrato relativamente omogeneo che caratterizza un acquifero a permeabilità medio bassa.

## **2.5 Stratigrafia locale**

Nel comune di Santa Maria Capua Vetere affiorano terreni costituiti da livelli di pozzolane, pomici e lapilli stratificati di spessore variabile.

In superficie essi si presentano più o meno alterati e/o pedogenizzati. Riguardo all'origine di questi prodotti piroclastici è ormai certo che essi sono riconducibili ai Campi Flegrei.

Da sondaggi reperiti in bibliografia, sia dalle indagini geognostiche per i PRG 1988 e 2000, nonché del 2011 che dalle numerose indagini eseguite negli ultimi 30 anni, si possono riassumere i dati nella seguente macro successione stratigrafica:

- ☛ *Al di sotto di uno strato di terreno vegetale humificato, il cui spessore raggiunge 50-70 cm dal p.c., si rinvencono fino ad una profondità di circa 8 m pozzolane limose-argillose e/o sabbiose di colore variabile dall'ocra al marrone intenso al grigio scuro,*

*con grado di addensamento molto variabile. Sono frequenti livelli fortemente sabbiosi con grosse pomici e scorie, e livelli costituiti esclusivamente da pomici chiare ricche in sanidino o scorie vulcaniche scure.*

- ➔ *A volte, nella parte meridionale del territorio comunale, intorno ad una profondità di circa 5-6 m dal p.c., si rinviene un livello con spessore variabile da 3 a 6 m costituito da tufo litoide vacuolare di colore giallo o grigio ricco in grosse scorie nere. In alcuni casi sono stati rinvenuti livelli di paleosuoli.*
- ➔ *Da 8 m dal p.c. e sino a circa 40 m si rinvergono livelli sabbiosi di origine piroclastica, più o meno sottili, anch'essi di colore scuro e a tratti con grosse pomici e scorie di colore grigio-nero, o ricche in cristalli di sanidino e con grado di addensamento e litificazione variabile.*
- ➔ *Tra 40 e 50 m si rinvergono livelli limo sabbiosi di colore grigio blu, depositati in ambienti marini come testimoniano i numerosi fossili rinvenuti. Infine oltre quella quota, e per uno spessore di 10 – 15 m, si rinvergono livelli argillosi di colore grigio blu, con qualche lente limo sabbiosa contenente fossili marini.*

Per una corretta individuazione dei litotipi formanti il substrato dell'area comunale sono stati reperiti 191 sondaggi geognostici per circa 3959 metri lineari, suddivisi come evidenzia la fig. 14 per epoche e associate alle indagini allegare agli strumenti urbanistici.

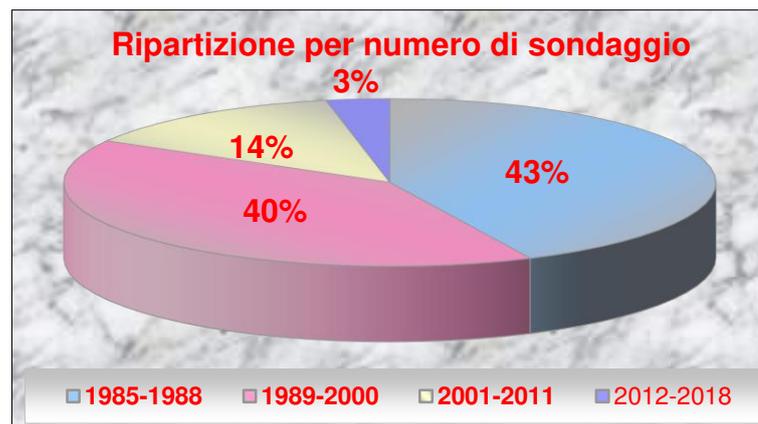


Fig. 14: Ripartizione del numero di sondaggi per epoche

Nell'ambito dei vari sondaggi ben il 41,2 % ha attraversato materiali di riporto (di origine antropica) per uno spessore medio di 4,52 m (con un massimo di 12,50 m).

Si segnala che il 5,45% dei sondaggi ha incontrato cavità, di cui il 61% libere, mentre il 39% risultavano colme da materiali di risulta. In uno dei sondaggi si è incontrata una cavità di tipo libera scavata in materiale di risulta.

Inoltre, circa il 17,57% dei sondaggi ha incontrato lenti tufacee che hanno uno spessore medio di circa 4,78 m (con un massimo di 9,5 m). Tutti questi sondaggi sono ubicati nella parte meridionale del territorio comunale.

Infine dai dati censiti, si rileva che la parte più coerente della formazione piroclastica si incontra in circa 90,30% dei sondaggi e che la quota di rinvenimento è mediamente di 9,18 m.

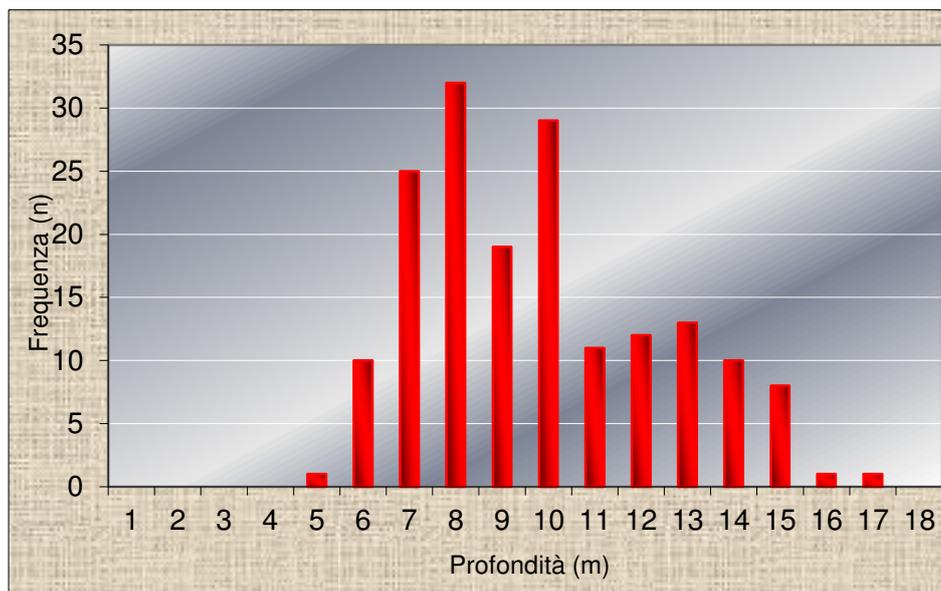


Fig. 15: Istogramma del top della sub formazione piroclastica addensata

Queste risultanze sono perfettamente in linea con quanto emerso dalla letteratura e dalle indagini per i PRG del 1988 e del 2000, nonché per il PUC nel 2011.

La descrizione della successione stratigrafica è volutamente succinta, essa ha per scopo la definizione di formazioni con caratteristiche omogenee; per una corretta e dettagliata stratigrafia dei siti si rimanda all'appendice informatico per le schede delle stratigrafie reperite.

Tutte le prove sono presenti nella “*Carta dell’Ubicazione delle Prove in Sito*” in scala 1:10.000 (Tavola n. 4) dove i sondaggi con lo stesso simbolo vengono differenziati per periodi: sondaggi precedenti al 1988 (colore azzurro), sondaggi del PRG del 1988 (colore blu), sondaggi tra il 1989 e il 2000 (colore rosso), sondaggi tra il 2001 e il 2011 (colore verde), sondaggi tra il 2012 e il 2018 (colore viola).

### **3.0 INDAGINI IN SITO**

La caratterizzazione geotecnica consiste nella formulazione di un modello geomeccanico dei terreni di fondazione, tale da ricondurre la complessa situazione naturale a schemi più semplici facilmente utilizzabili per i calcoli di progetto. Essa è stata esplicitata mediante indagini in sito e di laboratorio.

Le indagini in sito consistono in prove penetrometriche dinamiche S.P.T., prove penetrometriche statiche nonché prove geotecniche di laboratorio su campioni prelevati. L'ubicazione delle prove è riportata nella *“Carta dell'ubicazione delle Prove in Sito”* (Tavola n. 4).

#### **3.1 Prove Penetrometriche**

##### **3.1.1 Standard Penetration Test (S.P.T.)**

Durante le terebrazioni reperite in bibliografia sono state eseguite n.288 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) con attrezzatura standard.

Detta attrezzatura è costituita da un campionatore Raymond a scarpa aperta o chiusa con diametro esterno di 50,8 mm, diametro interno di 34,9 mm, lunghezza totale di 711 mm con un angolo al vertice di 60°.

Il dispositivo di battuta con sganciamento automatico del maglio ha una massa battente di 63,5 kg e un'altezza di caduta di 76 cm. Viene rilevato il numero di colpi necessari per infiggere la punta di 15 cm, ripetendo tre volte l'operazione: la somma delle ultime due misure viene definita  $N_{spt}$ .

Le prove sono state effettuate con cadenza regolare a prescindere dal materiale incontrato.

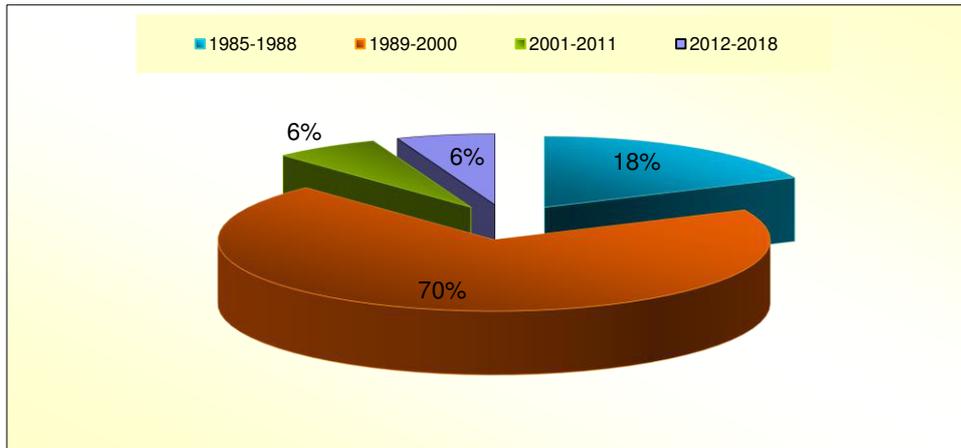


Fig. 16: Prove Penetrometriche SPT – Epoca di esecuzione

L'attendibilità di dette prove può essere confermata a distanza di anni da un'analisi statistica dei dati reperiti.

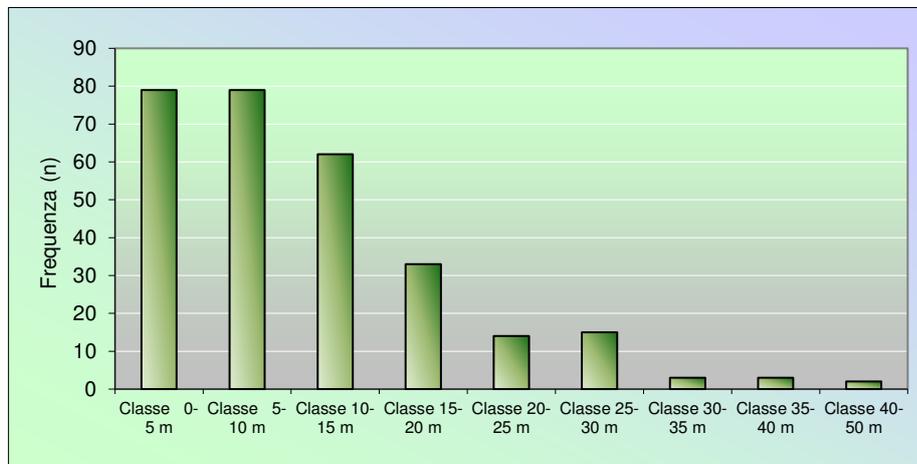


Fig. 17: Prove SPT – Distribuzione in funzione della profondità

Dalla fig.17 si evince che la distribuzione delle prove in funzione della profondità presenta un andamento decrescente con la profondità, questo in accordo con la tipologia delle fondazioni dei fabbricati presenti nell'ambito comunale, dove sono prevalenti le fondazioni di tipo superficiale e sub superficiale.

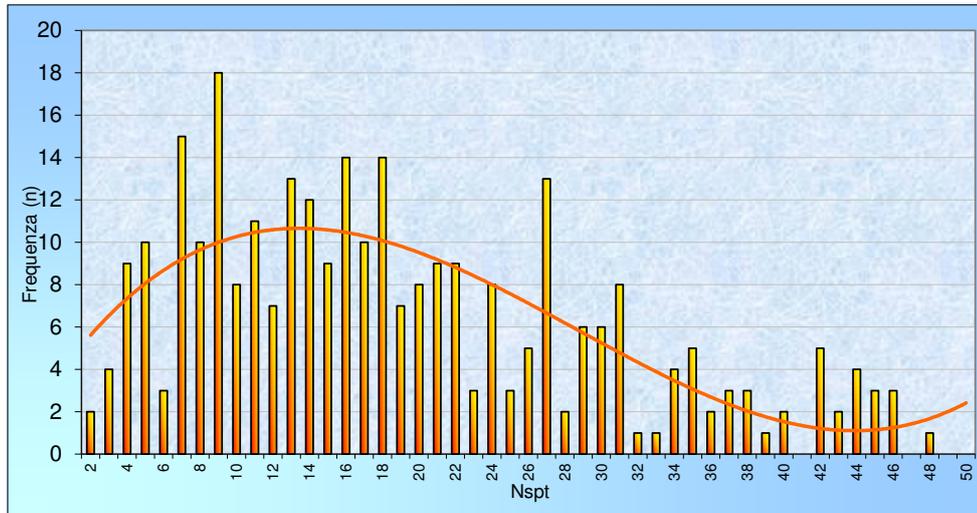


Fig. 18: Distribuzione del numero dei colpi SPT in funzione della profondità

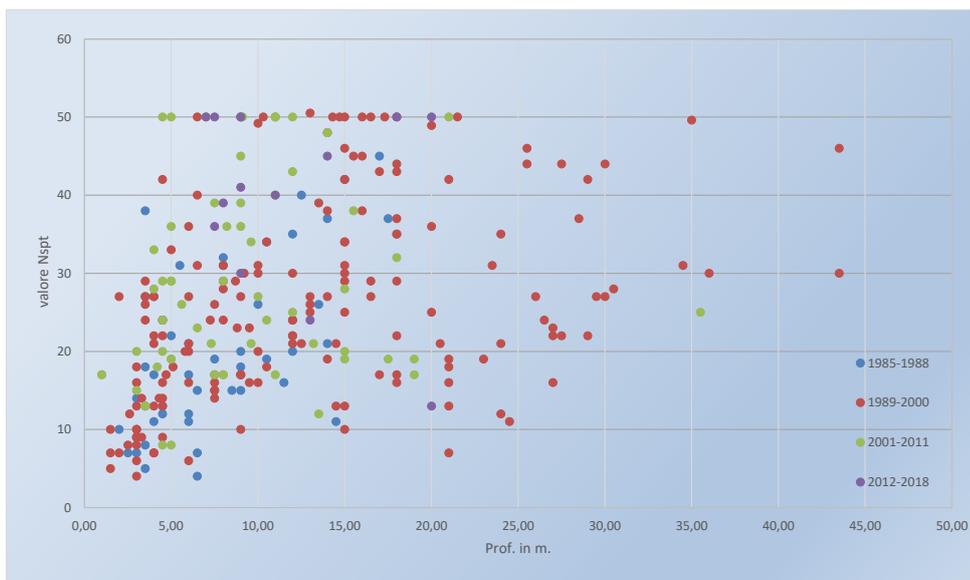


Fig. 19 Variazione di  $N_{SPT}$  con la profondità

Il valore minimo osservato è di 4 colpi ed il valore massimo è 83 (normalizzato nei grafici a 50 colpi che rappresenta il rifiuto strumentale), mentre la media generale è pari a 25,9 colpi con un livello di confidenza pari a 1,5.

La natura dei terreni presenti nell'area, che spaziano dai limi sabbiosi alle sabbie grossolane e ghiaiose, ha consentito di usare maggiormente la punta aperta come da specifica tecnica delle Raccomandazioni AGI.

Dalla Fig.20 si nota come il numero di colpi aumenta con la profondità secondo una funzione di tipo logaritmico; questa situazione risulta compatibile con la presenza di materiali piroclastici per un notevole spessore. L'aumentare del numero di colpi rappresenta sia la maggiore compattazione dei materiali sia la tipologia granulometrica dei materiali stessi. I valori delle prove non sono distribuiti in funzione dei vari strati incontrati in quanto in seno alla stessa formazione piroclastica si riscontrano variazioni litologiche, granulometriche e di cementazione sia verticali che laterali.

In funzione di  $N_{spt}$  sono ricavabili i valori della densità relativa ( $D_r$ ) e dell'angolo d'attrito ( $\phi$ ) utilizzando le curve sperimentali di Meyerhof e Terzaghi-Peck.

I risultati di tutte le prove SPT, correlati con le caratteristiche meccaniche sono convalidati sia dalle altre prove in sito sia dalle analisi di laboratorio.

### **3.1.2 Prove Penetrometriche statiche**

La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensione e caratteristiche standardizzate, infissa a velocità costante nel terreno.

Lo sforzo per la penetrazione viene applicato per mezzo di un dispositivo di spinta che agisce su di una batteria di aste cave alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

L'esecuzione delle prove consente di ottenere valide informazioni ai fini della ricostruzione dei profili stratigrafici e geotecnici.

Dal punto di vista quantitativo, l'andamento della variazione della resistenza alla punta con la profondità permette di individuare la presenza nel sottosuolo di strati di terreno con consistenza bassa o molto bassa. Dal rapporto tra la resistenza all'avanzamento e la resistenza laterale è possibile, mediante correlazioni empiriche, risalire con una certa approssimazione alla natura dei terreni attraversati.

L'attrezzatura è costituita da un dispositivo idraulico di spinta da 20 tonnellate, che agisce alternativamente sulla batteria di aste interne e su quelle di aste cave esterne. La prova è quindi discontinua e le misure di resistenze vengono di norma eseguite ed annotate ogni 20 cm di penetrazione. Viene solitamente usata una punta telescopica o punta Begemann la quale è fornita di un manicotto nella parte superiore per la misura dell'attrito laterale.

Sono state reperite ed ubicate n. 30 prove penetrometriche statiche con una lunghezza media di 10,61m, con prove che raggiungono da 5,8 a 20 m dal p.c..

Le prove mettono in rilievo come nei primi metri si rinvengono materiali incoerenti con caratteristiche di resistenza alla punta scadenti (inferiore a 500 MPa) e questo per uno spessore medio di 4,28 m (minimo 1,8 m e massimo 6,5 m).

Successivamente si incontrano, fino a fine prova, materiali mediamente addensati (tra 500 MPa e 15000 MPa); successivi incrementi sono dovuti alla coesione apparente (cementazione) che può arrivare sino alla litificazione (tufo).

In questi ultimi casi si può osservare un rifiuto strumentale che avviene in ben 21 prove ad una profondità media di 9,05 m dal p.c. (minimo 5,8 m e massimo 15,5 m).

### **3.1.3 Prove Penetrometriche dinamiche**

In bibliografia sono state reperite circa n. 74 prove penetrometriche dinamiche, ma un'analisi è risultata molto difficile per via dell'evoluzione dei macchinari utilizzati nell'arco temporale analizzati.

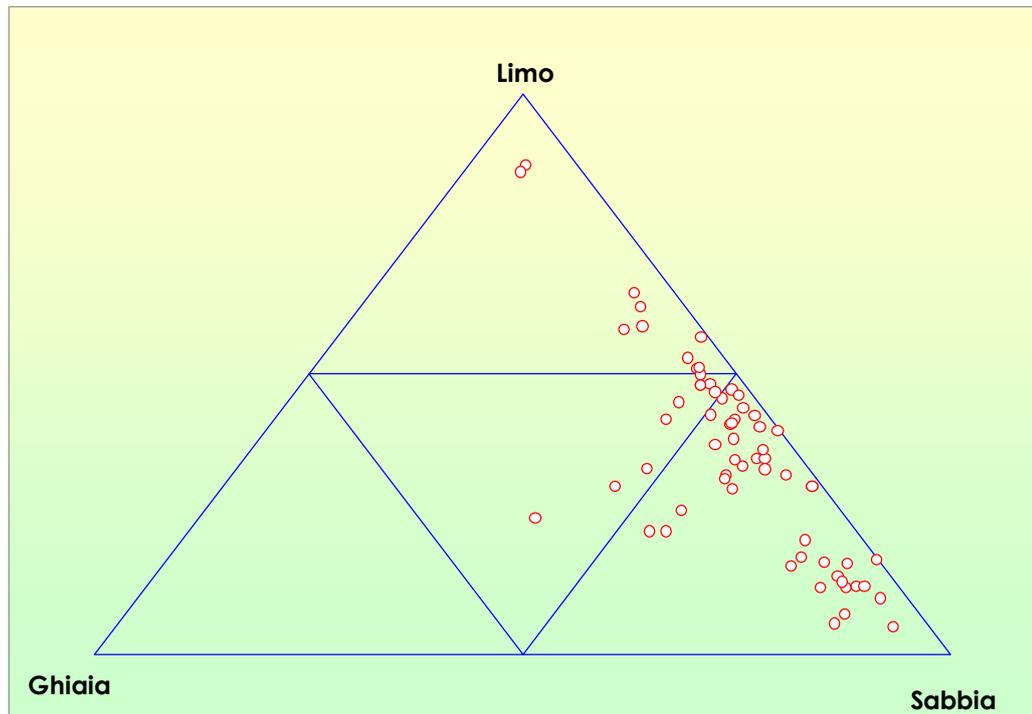
Le prove più antiche risalenti agli anni ottanta erano eseguite con un penetrometro dinamico leggero (DL030) per arrivare ai giorni nostri a prove penetrometriche arrivando ai nostri giorni a prove penetrometriche super pesanti (DSH). I dati risultano poco confrontabili, inoltre il dato del rifiuto o del rinvenimento di strati più compatti non è minimamente comparabile. Per cui visto che tutte le prove dinamiche sono correlabili con le prove SPT, si ritiene più corretto utilizzare unicamente il dato delle prove SPT che sono prove standard in tutto il mondo da quando sono state immesse sul mercato.

## **3.2 Prove Geotecniche di Laboratorio**

Le prove geotecniche di laboratorio sono state effettuate su un totale di 134 campioni indisturbati prelevati con campionatori a parete sottili di tipo Shelby durante sondaggi a carotaggio continuo eseguiti per le indagini geognostiche sia del PRG del 1988, sia per il PUC del 2011 e sia per indagini pubbliche e private sul territorio in esame, gentilmente fornite dai professionisti titolari dei dati.

Le analisi reperite hanno portato alla definizione delle seguenti caratteristiche tecniche:

- a) caratteristiche fisiche generali;
- b) caratteristiche di resistenza a rottura.



*Fig. 20: Distribuzione granulometrica dei campioni esaminati*

Le caratteristiche fisiche generali mettono in evidenza che i termini piroclastici in sito sono assimilabili a sabbie con percentuali variabili di limi e ghiaie in funzione della frazione cineritica e della presenza di elementi pomicei o scorie che formano la frazione ghiaiosa; mentre gli stessi termini piroclastici (a tratti rimaneggiati) sono assimilabili a materiali più sottili e presentano anche frazioni argillose dovute all'alterazione pedogenetica. Da qui una sostanziale uniformità granulometrica che a meno di elementi isolati rientra nelle sabbie sottili (vedi fig.20).

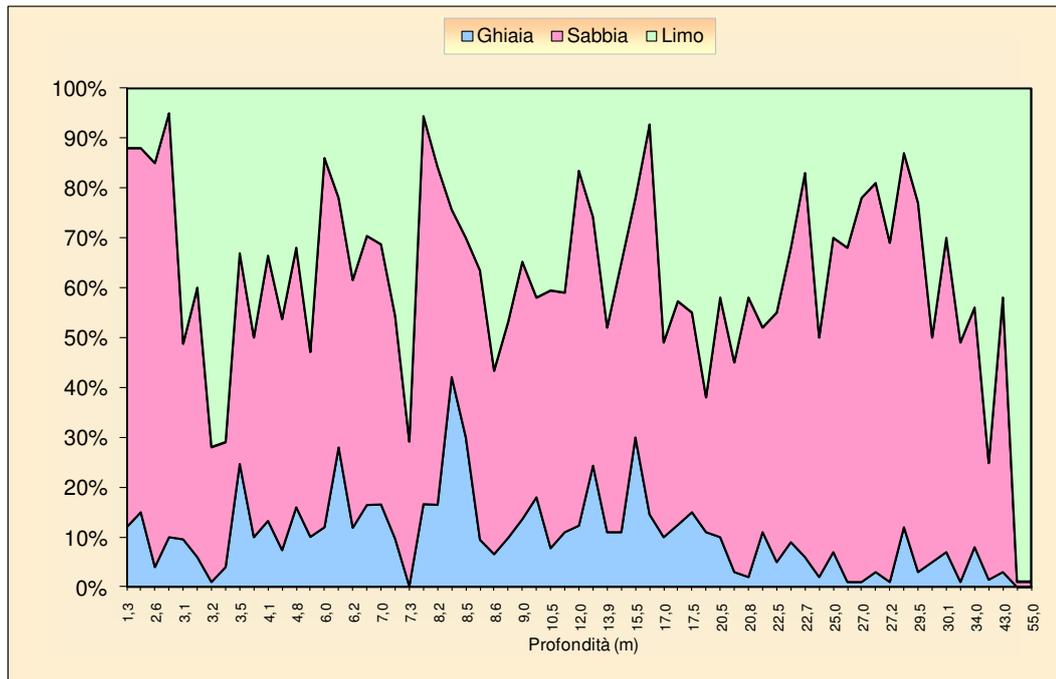


Fig. 21: Distribuzione granulometrica in funzione della profondità

Come si evince dal grafico della fig.21, sebbene sia confermata la sostanziale uniformità della distribuzione granulometrica dei materiali, si possono evidenziare episodi particolari, come la forte diminuzione o scomparsa dell'elemento ghiaioso, che corrispondono per le quote 3,00 e 7,00 m dal p.c. probabilmente alla presenza di paleosuoli, mentre la scomparsa di ghiaia e sabbia i quota 55 m dal p.c. corrisponde a dei depositi marini limo argillosi.

Epoca	Sito	Sond	Campi one	Quota (m)	Unita di vol. gr/cmc	Peso spec. Gr/cmc	Indice dei vuoti	Ang. d'attrito (°)	Coes c Mpa	Eed Mpa	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %
PRG	1	1	1	3,0	1,26	2,47	1,53	31,43	3,00				
PRG	1	1	2	10,5	1,36	2,36	1,23	33,02	1,00				
PRG	2	2	1	3,0	1,22	2,30	1,22	30,26	8,00				
PRG	2	2	2	8,5	1,28	2,49	1,53	33,69	0,00				
PRG	3	3	1	2,5	1,26	2,38	1,40	31,43	0,00				
PRG	3	3	2	11,5	1,38	2,43	1,25	35,84	0,00				
PRG	4	4	1	5,0	1,21	2,27	1,32	31,43	6,00				
PRG	4	4	2	13,0	1,32	2,49	1,49	33,02	0,00				
PRG	5	5	1	3,0	1,32	2,50	1,34	30,96	2,00				
PRG	5	5	2	6,0	1,39	2,31	1,08	31,66	0,00				
PRG	6	6	1	4,3	1,46	2,46	1,16	32,55	1,00				
PRG	6	6	2	10,5	1,64	2,58	1,17	33,02	0,00				
PRG	7	7	1	3,5	1,33	2,47	1,45	30,96	2,00				
PRG	7	7	2	5,0	1,32	2,45	1,45	33,69	0,00				
PRG	8	8	1	3,5	1,31	2,64	1,62	31,89	0,00				
PRG	8	8	2	9,5	1,43	2,48	1,20	35,84	0,00				
PRG	9	9	1	2,5	1,57	2,60	1,04	27,82	8,00				
PRG	9	9	2	6,0	1,32	2,39	1,35	32,12	8,00				
PRG	10	10	1	3,2	1,60	2,53	1,00	28,57	8,00				
PRG	10	10	2	9,5	1,53	2,41	1,15	33,91	1,00				
PRG	11	11	1	3,0	1,21	2,58	1,55	32,58	8,00				
PRG	11	11	2	8,0	1,22	2,57	1,56	34,13	1,00				
PRG	12	12	1	2,0	1,23	2,57	1,34	33,91	2,00				
PRG	12	12	2	5,6	1,25	2,39	1,26	35,21	0,00				
PRG	13	13	1	3,2	1,37	2,33	1,10	31,89	6,00				
PRG	13	13	2	7,0	1,25	2,56	1,45	31,20	7,00				
PRG	14	14	1	3,9	1,24	2,33	1,04	34,78	0,00				
PRG	14	14	2	9,0	1,29	2,35	1,34	34,78	1,00				
PRG	19	19	1	2,5	1,42	2,48	1,13	33,91	2,00				
PRG	19	19	2	12,0	1,47	2,46	1,21	35,84	3,00				
PRG	20	20	1	6,0	1,43	2,50	1,18	34,13	3,00				
PRG	20	20	2	8,5	1,49	2,49	1,26	35,42	2,00				
PRG	21	21	1	14,0	1,46	2,40	1,24	35,63	2,00				
PRG	22	22	1	14,0	1,43	2,40	1,22	34,35	6,00				
PRG	23	23	1	7,0	1,43	2,39	1,08	33,47	4,00				
PRG	24	24	1	5,0	1,40	2,42	1,06	32,58	3,00				
PRG	24	24	2	7,5	1,44	2,40	1,10	35,42	6,00				
PRG	25	25	1	4,0	1,42	2,45	1,14	34,13	3,00				
PRG	25	25	2	7,5	1,47	2,55	1,37	35,21	6,00				
PRG	26	26	1	10,5	1,46	2,52	1,31	35,21	6,00				
PRG	27	27	1	3,5	1,39	2,43	1,13	33,25	3,00				
PRG	27	27	2	7,5	1,40	2,49	1,35	34,99	2,00				
PRG	28	28	1	2,5	1,40	2,57	1,29	33,25	3,00				
PRG	28	28	2	6,5	1,44	2,48	1,29	35,42	4,00				
PRG	29	29	1	1,5	1,39	2,52	1,15	33,02	3,00				
PRG	29	29	2	5,0	1,46	2,50	1,25	33,47	7,00				
PRG	30	30	1	2,0	1,41	2,47	1,11	34,35	1,00				
PRG	30	30	2	5,0	1,46	2,57	1,28	34,78	4,00				
PRG	31	31	1	2,5	1,40	2,44	1,07	33,91	2,00				
PRG	31	31	2	6,5	1,46	2,51	1,13	35,84	3,00				

Tab. 3: Dati geotecnici dei campioni indisturbati del PRG del 1988

Epoca	Sito	Sond	Camp	Quota (m)	Unità di vol. gr/cmc	Peso spec. Gr/cmc	Indice dei vuoti	Ang. d'attritto (°)	Coes c Mpa	Eed Mpa	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %
D	7	1	1	3,5	1,50	2,56	1,25	32,37	16,37				
D	7	1	2	12,3	1,41	2,58	1,27	37,46	7,70				
D	23	1	1	7,3	1,45	2,47	1,33	30,50	1,00		0,2	29,0	70,9
D	26	1	1	1,3	1,15	2,17	1,57	30,23	19,00		12,0	76,0	12,0
D	26	1	2	3,0	1,17	2,24	1,57	32,12	14,00		10,0	85,0	5,0
D	27	2	1	2,5	1,49	2,26	1,65	30,43	19,00		15,0	73,0	12,0
D	27	2	2	6,0	1,28	2,26	1,52	33,98	0,00		12,0	74,0	14,0
D	28	2	1	4,8	1,24	2,59	1,46				16,0	52,0	32,0
D	28	2	2	8,5	1,35	2,57	1,12	39,60	6,00		30,0	40,0	30,0
D	28	2	3	14,0	1,39	2,57	1,37	37,00	14,00		11,0	54,0	35,0
D	30	1	1	9,8	1,36	2,59	1,26				18,0	40,0	42,0
D	30	1	2	13,9	1,35	2,59	1,55	35,11	2,00		11,0	41,0	48,0
D	30	1	3	17,0	1,48	2,56	1,49	33,10	3,00		10,0	39,0	51,0
D	37	1	1	2,6	1,49	2,60	1,12	36,40	4,00		4,0	81,0	15,0
D	38	1	1	3,0	1,55	2,62	1,28	32,30	38,00		6,0	54,0	40,0
D	51	1	0	3,6	1,61	2,61	1,46	30,57	0,00				
D	51	1	1	20,5	1,43	2,63	1,86	35,11	10,30	17,200	10,0	48,0	42,0
D	51	1	2	30,0	1,35	2,62	2,40	31,35	5,70	10,400	5,0	45,0	50,0
D	52	1	1	11,5	1,47	2,61	1,50	34,12	14,00		11,0	48,0	41,0
D	52	1	2	22,5	1,63	2,63	1,35	33,10	10,30	19,270	5,0	50,0	45,0
D	53	1	1	3,0	1,57	2,63	1,39	30,60	14,00	27,447	1,0	27,0	72,0
D	54	1	1	4,0	1,76	2,64	1,25	42,10	20,00		10,0	40,0	50,0
D	54	1	2	22,5	1,56	2,61	1,23	37,57	6,70	9,160	9,0	59,0	32,0
D	55	1	1	4,0	1,63	2,61	1,35	30,57	0,00				
D	55	1	2	21,0	1,64	2,61	1,46	32,37	4,70				
D	56	1	1	3,0	1,52	2,66	1,54	34,60	62,00		4,0	25,0	71,0
D	56	1	2	6,0	1,58	2,64	1,31				28,0	50,0	22,0
D	56	1	3	18,5	1,34	2,60	2,05	34,50	26,00		11,0	27,0	62,0
D	56	1	4	23,5	1,38	2,60	2,25	32,00	0,30	13,221	2,0	48,0	50,0
D	56	1	5	27,0	1,56	2,64	1,75	34,24	8,00	10,446	1,0	77,0	22,0
D	57	1	1	17,5	1,48	2,61	1,58				15,0	40,0	45,0
D	57	1	2	20,5	1,55	2,63	1,41	29,10	5,00	12,721	3,0	42,0	55,0
D	57	1	3	27,0	1,64	2,64	1,37	35,22	4,30	9,137	3,0	78,0	19,0
D	57	1	4	34,0	1,59	2,63	1,44	34,24	23,30	10,101	1,0	48,0	51,0
D	59	1	0	5,0	1,66	2,61	1,27	29,40	4,30				
D	59	1	1	20,5	1,67	2,61	1,14	30,45	2,00				
D	60	1	0	4,3	1,59	2,63	1,50	28,80	15,70				
D	60	1	1	15,5	1,58	2,62	1,35				30,0	48	22,0
D	60	1	2	22,6	1,49	2,64	1,50	35,56	15,00	21,731	6,0	77	17,0
D	60	1	3	43,0	1,53	2,61	1,47	33,13	5,30	21,577	3,0	55	42,0
D	61	1	0	3,6	1,56	2,61	1,40	31,10	3,00				
D	61	1	1	34,0	1,45	2,60	1,81	35,45	12,30	16,135	8,0	48	44,0
D	61	1	2	54,0	1,76	2,72	1,16		64,00		0,0	1	99,0
D	61	1	3	55,0	1,91	2,73	0,91				0,0	1	99,0
D	63	1	0	13,0	1,52	2,60	1,51	36,18	1,00				
D	63	1	1	20,8	1,49	2,62	1,41	30,19	18,70		2,0	56	42,0
D	63	1	2	27,0	1,75	2,65	1,11	34,59	8,30	25,270	1,0	68	31,0
D	63	1	3	30,0	1,67	2,63	1,25	35,56	13,00	17,170	7,0	63	30,0
D	64	1	1	21,0	1,57	2,60	1,37	33,25	8,00		11,0	41	48,0
D	64	1	2	26,5	1,71	2,61	1,10	32,24	15,00	10,035	1,0	67	32,0
D	64	1	3	29,5	1,90	2,62	0,95	34,24	6,30	8,945	3,0	74	23,0
D	65	1	1	25,0	1,56	2,61	1,43	34,24	5,30	13,975	7,0	63	30,0
D	65	1	2	28,0	1,47	2,60	1,63	36,52	1,00	11,884	12,0	75	13,0
D	66	1	0	5,0	1,65	2,63	1,18	32,50	11,00				
D	66	1	1	19,5	1,64	2,63	1,30	30,45	1,00				
D	24	1	1	3,0	1,15	2,48	2,72	27,10	30,00				
D	24	1	2	6,0	1,38	2,53	1,22	35,50	12,00				
D	24	1	3	9,0	1,30	2,47	1,27	36,50	0,00				

Tab. 4: Dati geotecnici dei campioni indisturbati dal 1989 al 2000

Epoca	Sito	Sond	Camp	Quota (m)	Unità di vol. kN/mc	Peso spec. kN/mc	Indice dei vuoti	Ang. d'attritto (°)	Coes c kPa	Eed Mpa	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %
S	1	1	1	10,5	13,21	25,89	1,46	31,41	16,37		7,79	51,64	40,6
S	1	2	1	8,5	14,32	25,85	1,40	31,74	8,99		6,59	36,74	56,7
S	3	1	1	4,0	12,97	23,51	1,39				13,3	53,1	33,6
S	3	1	2	7,0	15,06	23,69	1,21				16,6	52,1	31,3
S	4	1	1	18,0	13,70	24,50	1,29	34,68	16,37				
S	4	2	1	1,5	10,40	24,70	0,74	33,32	14,35				
S	4	3	1	1,5	14,20	24,50	0,71	43,27	17,74				
S	5	1	1	8,2	12,06	25,10	1,51				16,5	67,7	15,8
S	5	1	2	12,0	14,31	24,51	1,17				12,3	71,1	16,6
S	5	1	3	15,5	13,82	24,71	1,29				14,6	78,2	7,2
S	5	2	1	7,3	10,59	24,61	1,85				16,6	77,8	5,6
S	6	1	2	9,0	12,64	25,01	1,42				13,6	51,6	34,8
S	6	1	3	17,0	17,82	25,33	0,85				12,5	44,8	42,7
S	9	1	1	5,0	16,60	26,30	0,83				10,1	37,0	52,9
S	9	2	1	7,0	18,80	26,30	0,77	28,00	8,95		9,7	44,6	45,7
S	9	3	1	3,0	16,60	26,10	0,92	27,00	12,72		9,6	39,2	51,2
S	11	2	1	6,0	17,23	22,62	0,73				16,5	53,9	29,6
S	11	2	2	8,4	16,71	22,09	0,78				42,1	33,6	24,3
S	11	2	3	13,3	15,56	24,65	1,29				24,3	49,8	25,8
S	11	2	4	35,0	13,95	23,89	1,35				1,5	23,4	75,2
S	12	1	1	3,5	13,11	25,12	1,39	37,46	18,00		24,7	42,2	33,1
S	12	1	2	8,5	12,23	25,99	1,54	35,33	16,23		9,9	43,3	46,8
S	13	1	1	6,0	14,55	25,92	1,30	35,30	20,62		11,9	49,7	38,5
S	14	1	1	4,0	15,88	25,30	1,03	35,32	20,63		7,4	46,3	46,3
S	14	1	2	8,5	13,74	26,04	1,57	36,81	20,11		9,5	54,0	36,5

Tab. 5: Dati geotecnici dei campioni indisturbati dal 2001 al 2011

In genere i terreni esaminati, come si può osservare dal grafico della fig.21, presentano un peso dell'unità di volume variabile in funzione dello stato di addensamento. I valori sono compresi tra 10,40 e 19,10 kN/m<sup>3</sup>, dove il valore minimo corrisponde a materiali essenzialmente pomicei (vedi "Tasso") e quello più alto alle argille marine al letto della formazione piroclastica. La media dei valori, tuttavia, di 14,50 kN/m<sup>3</sup> è comunque un valore caratteristico della formazione piroclastica così come si rileva dalla bibliografia.

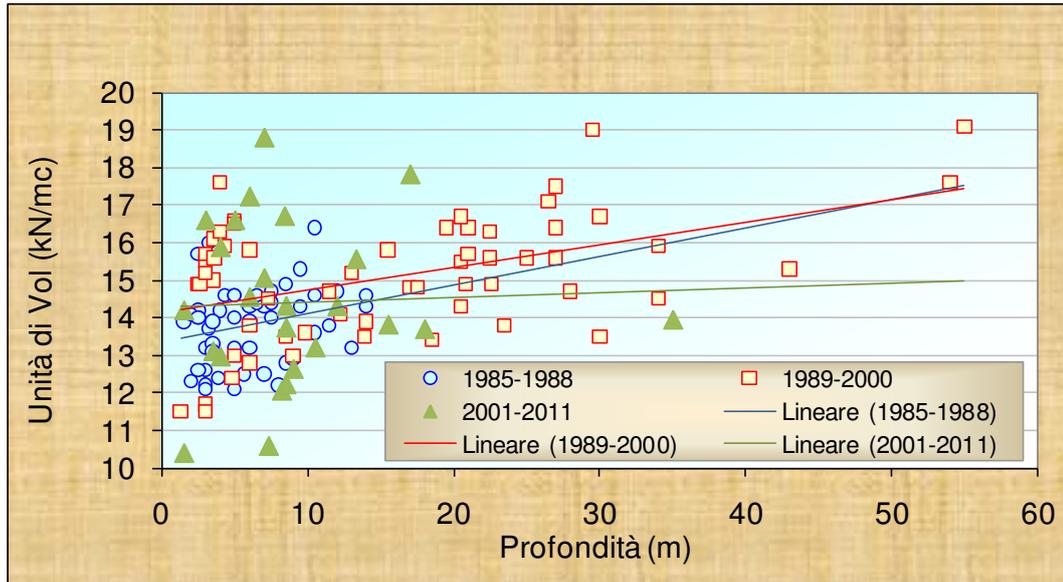


Fig. 22: Variazione del peso dell'Unità di volume in funzione della profondità

L'andamento delle rette di regressione risulta alquanto simile, nonostante la diversa profondità alla quale si riferiscono le due popolazioni.

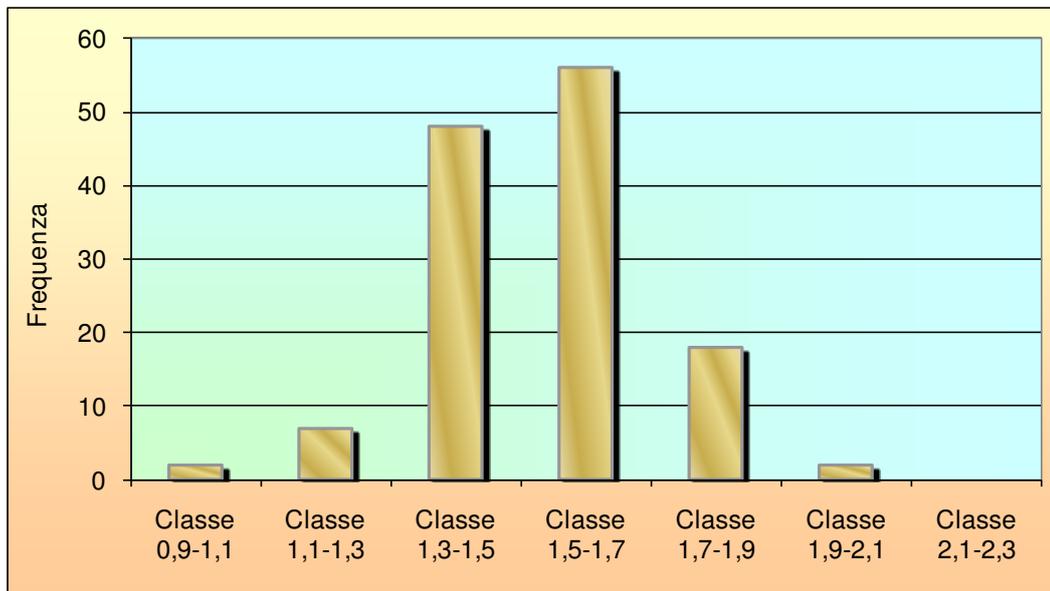


Fig. 23: Distribuzione statistica del peso dell'unità di volume

Questa omogeneità tra i due gruppi viene messa in risalto nella fig.23 dove l'andamento dell'istogramma della distribuzione del valore misurato in classi che non tengono conto della profondità, mostra una distribuzione gaussiana tipica di una popolazione unica. Si può affermare quindi con un'attendibilità del 98 % che tutti i campioni esaminati appartengono ad una formazione piroclastica, esclusione fatta per i due campioni prelevati negli strati marini argillosi.

Il peso specifico presenta un andamento relativamente omogeneo in quanto l'origine genetica dei materiali è simile, come evidenziato, sia pure con difficoltà dalla fig. 24.

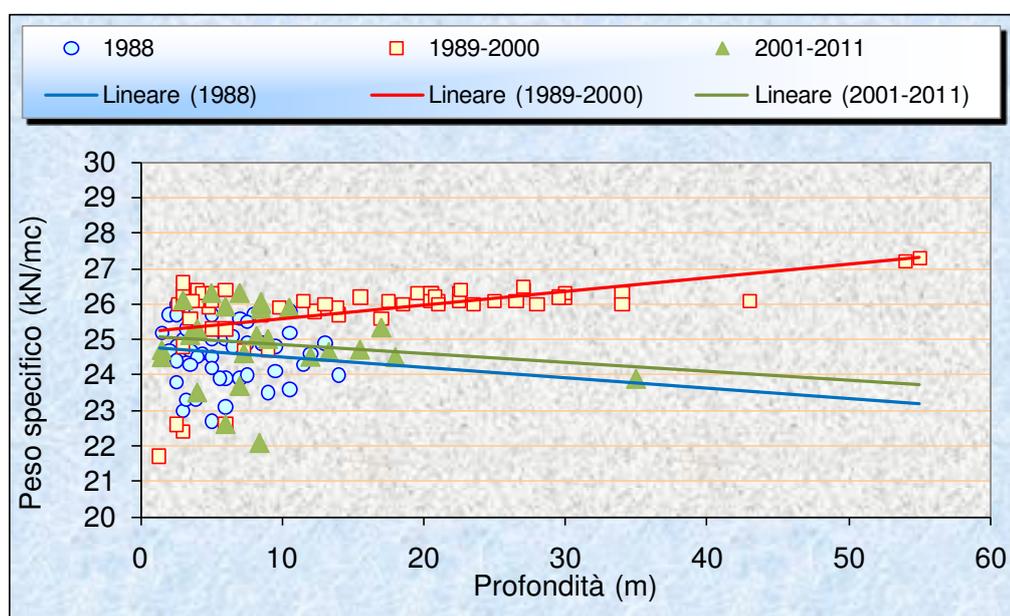


Fig. 24: Distribuzione del peso specifico in base alla profondità

L'andamento delle rette di regressione non deve trarre in inganno, i valori variano da un minimo di 21,70 ad un massimo di 27,3 kN/m<sup>3</sup>, con una media di 25,19 kN/m<sup>3</sup> più che caratteristica per la natura dei materiali considerati. L'apparente divergenza delle rette è annullata dal valore della deviazione standard pari a 1,129 che rappresenta una forte omogeneità per la popolazione sottoposta ad esame.

L'inverso vale per l'indice dei vuoti che nel grafico (fig. 25) mostra rette di regressioni molto regolari ed omogenee per l'intero spessore dei terreni considerati, mentre i valori variano da 0,71 a 2,4 con una media di 1,32 e una deviazione standard pari a 0,26 molto inferiore di quella del peso specifico.

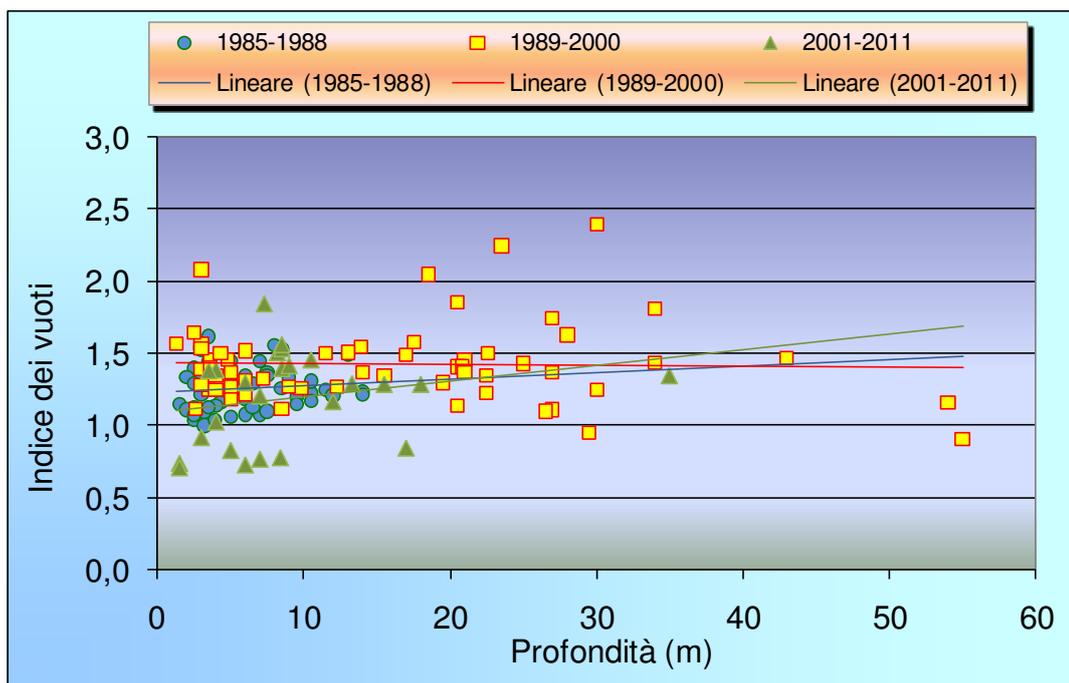


Fig. 25: Distribuzione dell'indice dei vuoti in base alla profondità

Per ciò che concerne gli altri parametri fisici, è evidente che gli andamenti sono direttamente dipendenti dalla granulometria e dallo stato di addensamento dei materiali.

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche a rottura, sono verificate dalle prove di taglio diretto, dove si individuano due classi di valori, quelli vicini a  $30^\circ$  appartenenti ai materiali rimaneggiati o più sottili granulometricamente, e quelli superiori a  $33^\circ$  che sono attribuiti ai materiali più grossolani o talvolta debolmente cementati. I valori misurati variano da un minimo di  $27,0^\circ$  ad un massimo di  $43,27^\circ$  con una media di  $33,49^\circ$  ed una deviazione standard di 2,67, che rappresenta una variazione discreta chiaramente legata non solo alla natura dei materiali ma anche ad una frequente cementazione di livelli sottili. Si osserva, inoltre, che le due popolazioni hanno una deviazione standard diversa, più bassa (1,85) nelle prove più vecchie (1988) mentre è più alta (2,86) nelle prove successive (1989-2000 e 2001-2011), ciò è da attribuire probabilmente ad una naturale evoluzione nei protocolli di sperimentazione sempre più precisi ed attendibili.

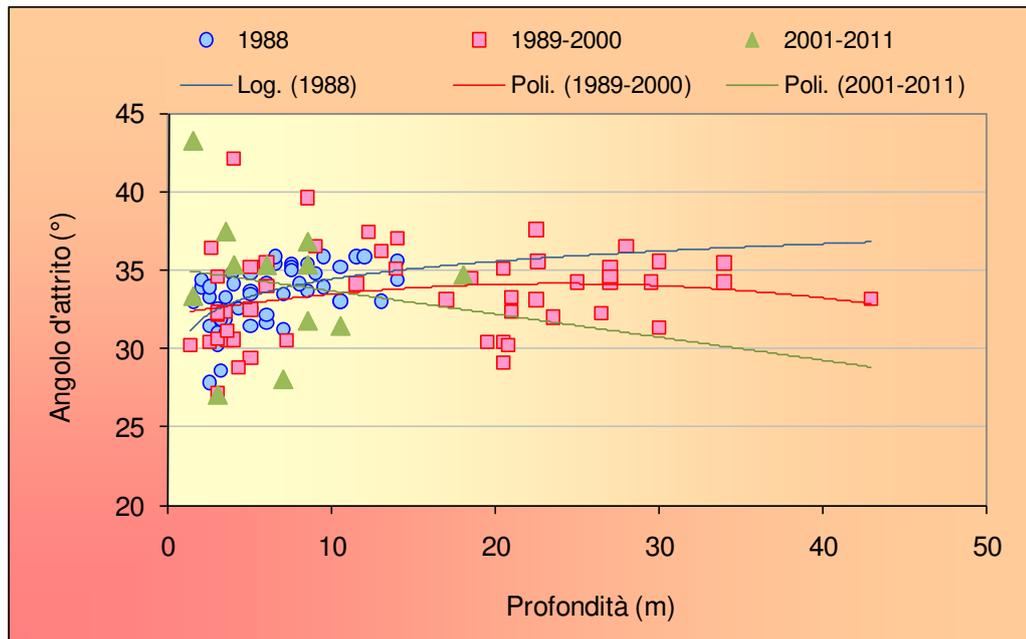


Fig. 26: Distribuzione dell'attrito interno in base alla profondità

La distribuzione dei valori di  $\phi$  ricavati in laboratorio è sostanzialmente simile ai valori ricavati dalle prove SPT. Ciò conforta la bontà di esecuzione delle indagini in sito ed in laboratorio reperite.

La coesione, in genere praticamente nulla, assume talvolta valori diversi da zero pur rimanendo in ambiti piuttosto bassi in funzione della presenza di classi granulometricamente più fini che tendono ad aggregare i termini più grossolani. I valori variano dallo zero a 64 MPa con un valore medio pari a 7,39 MPa con una deviazione standard di 10,51. Quest'ultima indica che ci sono più fattori che rientrano nell'elaborazione del valore della coesione: il più comune è la cementazione che nelle prove di Taglio diretto (Casagrande) compare sotto forma di coesione.

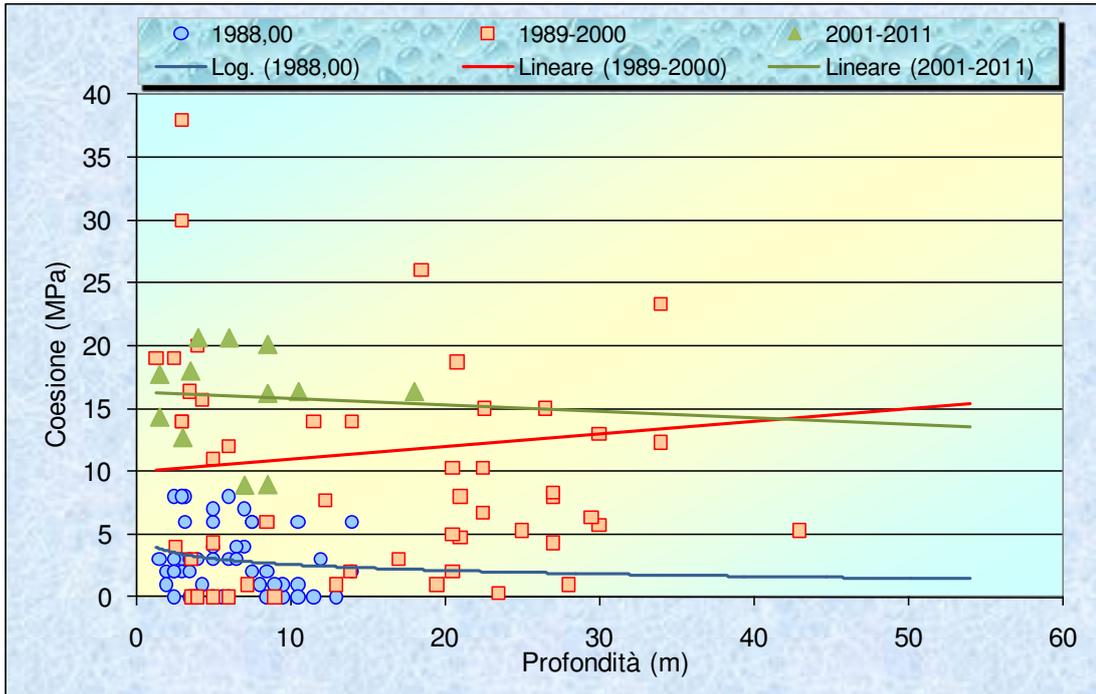


Fig. 27: Variazione della coesione con la profondità

Altro parametro molto importante è la compressibilità; essa è stata verificata con prove udometriche, e purtroppo solo per profondità comprese tra 20 e 30 m dal p.c.

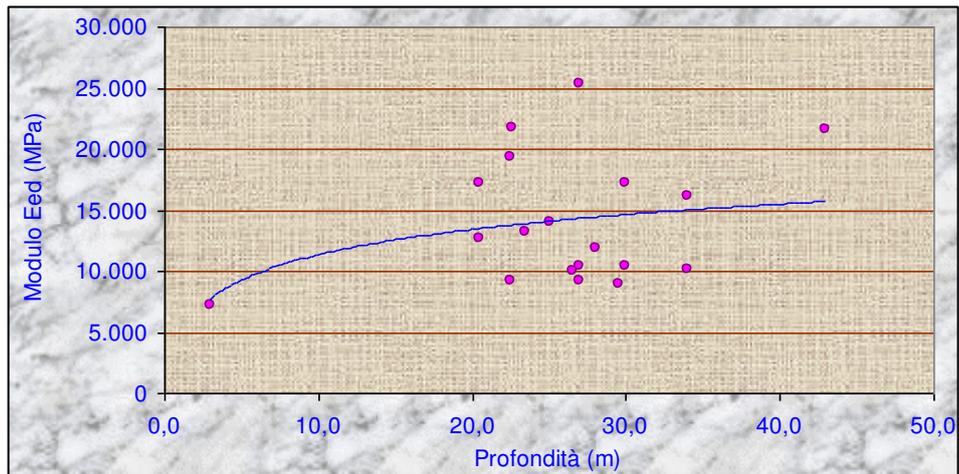


Fig. 28: Variazione di  $E_{ed}$  (100 MPa) in base alla profondità

Inoltre i valori (solo in 19 prove) del modulo edometrico per una pressione di 100 MPa variano da un minimo di 8.945 ad un massimo di 27.447 MPa con una deviazione standard che rende poco attendibile qualsiasi collegamento alla profondità, natura o altro elemento. Essa varia soprattutto in base alla storia geologica del sito in cui è depositato il materiale, alla sua evoluzione chimica ed a successive modificazioni del materiale per auto-metamorfismo o altro fenomeno noto per i materiali piroclastici.

Come già citato nel capitolo 2.5, nelle aree meridionali del territorio comunale è presente una lente tufacea, di colore giallo al top passando rapidamente al grigio nero. Su carote di questo tufo, prelevate tra 6,2 e 13,5 m dal p.c., sono state osservati, per prove di compressione a rottura, i seguenti valori: un minimo di 2.205 MPa ed un massimo di 5.668 MPa, con una media di 3.600 MPa con una deviazione standard di 8,73 su un numero di 34 prove. Questo ad evidenziare l'estrema variabilità della resistenza di tali materiali.

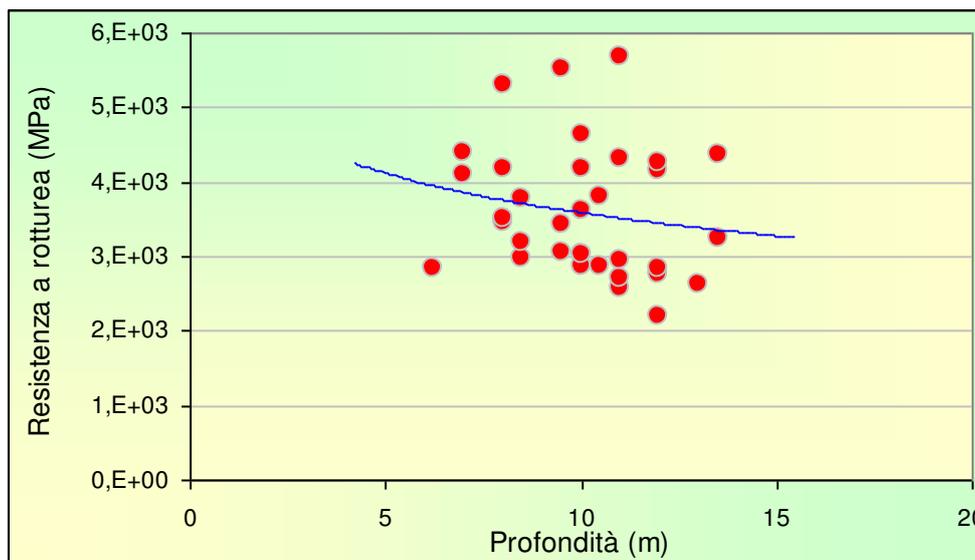


Fig. 29: Variazione della resistenza a compressione delle carote di tufo

### 3.3 Caratterizzazione degli orizzonti litologici

Si riporta qui di seguito una serie di tabelle per i vari orizzonti presenti nelle piroclastiti delle aree investigate, specificando per ognuno dei valori medi per alcuni parametri significativi. La convergenza dei valori è legata all'origine comune dei materiali, le variazioni si intravedono maggiormente nell'associazione dei parametri.

#### Orizzonte di tipo A superficiale

Piroclastici sabbiose con limi sabbiosi di colore dal marrone al grigio, con inglobate sottili pomici, variamente addensate.

	<b>Unità di volume</b> kN/mc	<b>Peso specifico</b> kN/mc	<b>Indice dei vuoti</b>	<b>Ang. d'attrito</b> (°)	<b>Coesione c</b> Mpa	<b>N Spt</b>	<b>Velocità Vs</b> (m/s)
Valore medio	13,76	24,66	1,17	33,80	15,32	32,10	177,34

#### Orizzonte di tipo B dopo i primi 3 m dal .c.

Piroclastici sabbio limose di colore grigio, con inglobate pomici e scorie di dimensioni anche decimetriche, variamente addensate.

	<b>Unità di volume</b> kN/mc	<b>Peso specifico</b> kN/mc	<b>Indice dei vuoti</b>	<b>Ang. d'attrito</b> (°)	<b>Coesione c</b> Mpa	<b>N Spt</b>	<b>Velocità Vs</b> (m/s)
Valore medio	14,80	25,36	1,24	33,95	16,30	24,90	396,83

#### Orizzonte di tipo C dopo i primi 5-7 m dal p.c.

Piroclastiti limose e sabbiose di colore grigio con inglobate pomici e scorie, addensate.

	<b>Unità di volume</b> kN/mc	<b>Peso specifico</b> kN/mc	<b>Indice dei vuoti</b>	<b>Ang. d'attrito</b> (°)	<b>Coesione c</b> Mpa	<b>N Spt</b>	<b>Velocità Vs</b> (m/s)
Valore medio	13,95	23,89	1,35	33,72	10,58	25,00	458,00

## **4.0 RISCHIO SISMICO**

### **4.1 Premessa**

La penisola italiana è una delle zone sismicamente più attive del Mediterraneo. Essa è stata, inoltre, sede di alcune tra le più antiche civiltà, e ciò ha permesso la registrazione di notizie attendibili anche di eventi sismici molto antichi, ma solo a partire dal XIX secolo gli studiosi di sismologia hanno cominciato a estrarre da queste cronache le informazioni riguardanti i terremoti nel tentativo di “scrivere” una storia sismica italiana.

Dalla raccolta e classificazione sistematica di eventi sismici sono nati i primi cataloghi dei terremoti. La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI (Gdl, CPTI, 1999), detta CTPI2, aggiornata al 2002, è stata realizzata utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali resi disponibili dal 1999 in poi.

Numerosi studi hanno sottolineato che la pericolosità sismica non dipende solo dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l’epicentro e la località interessata, ma soprattutto dalle caratteristiche geologiche dell’area di interesse. Infatti, la geometria della struttura del sottosuolo, le variazioni dei tipi di terreni e delle sue proprietà con la profondità, le discontinuità laterali, e la superficie topografica sono all’origine delle larghe amplificazioni delle vibrazioni del terreno e sono stati correlati alla distribuzione del danno durante i terremoti distruttivi.

Questi fattori sono particolarmente importanti per la corretta valutazione dell’azione sismica nell’ambito della difesa dai terremoti, per tale motivo, ai fini della riduzione del rischio sismico, è importante riconoscere le aree in cui le oscillazioni del suolo sono più ampie e definire le frequenze con le quali esse tendono ad oscillare.

L’azione esercitata localmente dagli strati più superficiali, che operano sia da filtro che da amplificatore, costituisce quello che va sotto il nome di Effetto di Sito. Riconoscere in dettaglio le aree caratterizzate in media da uguale Risposta di Sito, dovuta alle caratteristiche geologiche o alla topografia, è diventata una richiesta fondamentale negli studi geologici e geofisici relativi alle costruzioni.

Anche la nuova normativa sismica del territorio italiano (OPCM, n° 3274/2003 Ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006 e D.M. 17/01/2018), sottolinea l’importanza della conoscenza delle condizioni geologiche del sito per adeguare le tecniche di costruzione.

### **4.2 Rischio sismico**

Il Rischio Sismico si definisce come l'insieme dei possibili danni che un terremoto può provocare, in un determinato intervallo di tempo e in una determinata area, in relazione alla sua probabilità di accadimento ed al relativo grado di intensità (severità del terremoto) in rapporto alle principali caratteristiche della comunità esposta.

L'intensità o severità di un terremoto può essere valutata in due modi:

- ↳ misurando l'energia sprigionata dal sisma, e su tale calcolo si basa la scala Richter;
- ↳ valutando le conseguenze sull'uomo, sulle costruzioni e sull'ambiente, suddividendo tali effetti in livelli in base alla scala realizzata dal sismologo Mercalli.

La determinazione del rischio è legata a tre fattori principali:

$$\text{RISCHIO} = \text{PERICOLOSITÀ} * \text{ESPOSIZIONE} * \text{VULNERABILITÀ}$$

La **pericolosità** esprime la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, un'area sia interessata da terremoti che possono produrre danni. Dipende dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l'epicentro e la località interessata nonché dalle condizioni geomorfologiche. La pericolosità è indipendente e prescinde da ciò che l'uomo ha costruito.

L'**esposizione** è definita come la maggiore o minore presenza di beni esposti al rischio, la possibilità cioè di subire un danno economico, ai beni culturali, la perdita di vite umane.

La **vulnerabilità** consiste nella valutazione della possibilità che persone, edifici o attività, subiscano danni o modificazioni al verificarsi dell'evento sismico. Misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere ed assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel suo complesso esprime in condizioni normali. Ad esempio nel caso degli edifici la vulnerabilità dipende dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione ed esprime la loro resistenza al sisma.

In Italia, negli ultimi duemila anni si sono verificati migliaia di terremoti e, tra questi, oltre 150 hanno raggiunto o superato il IX grado della scala MCS, e, come evidenziava il Prof. Barberi nel 1991, la penisola italiana negli ultimi tre secoli è stata scossa da circa 20 terremoti di magnitudo (M) pari o superiore a 6, con una media nell'Appennino di un terremoto distruttivo ogni 15 anni.

In Italia il rischio sismico non è legato solo alla sismicità del territorio, ma anche ad altri fattori, quali l'elevata densità di popolazione, che fa sì che ogni evento interessi un numero elevato di persone, ed il fatto che parte del patrimonio edilizio non è stato realizzato con criteri antisismici.

### 4.3 Microzonazione sismica in Italia

Per Zonazione Sismica di un territorio si intende l'insieme di criteri geologici, geofisici ed ingegneristici atti ad individuare e a delimitare aree a risposta omogenea rispetto al rischio sismico.

I criteri e le metodologie d'intervento dipendono dall'estensione delle aree che si prendono in considerazione. Si parla quindi di Microzonazione Sismica o Zonazione di Secondo Grado (Int. Geot.Ass, TC4, 1999) se la scala d'indagine è comunale.

Nell'effettuare la Microzonazione Sismica esistono diversi parametri da valutare. Primo fra tutti il periodo di ritorno di interesse di un terremoto. In particolare, poiché il tempo di durata di un edificio è di cento anni, si considera che tale costruzione dovrà essere in grado di sopportare, senza riportare danni, il terremoto con periodo di ritorno di cento anni, e un terremoto di intensità maggiore che abbia periodo di ritorno più lungo, subendo dei danni che non comportino il rischio di vite umane.

Altri parametri da valutare sono l'effetto legato a un evento sismico in un'area posta ad una certa distanza dall'area sismogenetica e l'accelerazione massima "a" del suolo durante il terremoto. Entrambi i parametri vengono calcolati mediante l'ausilio di relazioni empiriche.

Per quanto riguarda l'accelerazione massima "a" del suolo durante il terremoto, due sono le relazioni più conosciute che ne permettono il calcolo conoscendo l'intensità dell'evento sismico:

- la relazione di Richter :

$$\log a = (I/3) - 0.5$$

- la relazione di Cancani-Sieberg:

$$\log a = (I/3) - 1$$

Entrambe le relazioni sono valide per terremoti crostali, ma si differenziano in quanto la relazione di Richter fa riferimento a tipologie costruttive moderne, mentre quella di Cancani-Sieberg a tipologie costruttive più antiche.

La valutazione della distanza dall'area sismogenetica, **R**, o l'accelerazione massima "a" del suolo durante il terremoto, possono essere calcolati anche a partire dalla magnitudo **M** di un terremoto, secondo la relazione di Grandori (1980):

$$a_m = (1230 e^{0.8M}) / (R + 25)^2$$

L'esigenza di elaborare una classificazione sismica del territorio nazionale in Italia nacque all'indomani del terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908. Nel corso degli anni successivi vennero così istituiti, con decreto, degli elenchi di comuni nei quali l'attività costruttiva doveva essere regolata da norme precise, ovviamente più severe e rigide rispetto al resto del Paese come per esempio la Legge n. 64 del 2/2/74 che ha sancito la normativa sismica in vigore in Italia fino al 2003.

Tale legge prevedeva la suddivisione del territorio in aree sismiche di I, II e III categoria (Tabella 5), assegnando per ogni categoria un «grado di sismicità» pari rispettivamente a 12, 9 e 6. Il grado di sismicità era legato al «coefficiente d'intensità sismica» **c** dalla relazione:

$$c = (S - 2) / 100$$

Il coefficiente **c** ha le dimensioni di un'accelerazione in termini di frazioni dell'accelerazione di gravità **g** e rappresentava la massima accelerazione alla quale si vuole che gli edifici rispondano in maniera elastica.

Area Sismica	Coefficiente d'intensità sismica
I	0,10
II	0,07
III	0,04

Tab. 5: Aree sismiche e accelerazioni previste dalla Legge n. 64 del 2/2/74

Nel 2003 con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 relativa a "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"(G.U. n. 105 del 8.5.2003), viene adottata la nuova classificazione

sismica del territorio nazionale che recepisce i risultati raggiunti dal Gruppo di lavoro. In base alla nuova normativa, **la pericolosità viene espressa come l'accelerazione orizzontale al suolo ( $a_g$ ) che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni, e che rappresenta l'accelerazione a cui gli edifici devono resistere senza crollare.**

Tutto il territorio nazionale viene ripartito in quattro zone (Allegato 1 dell'OPCM n. 3274/2003) nelle quali applicare, in modo differenziato, le norme tecniche per la progettazione, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici. Nella Tabella 6 sono riportati il valore di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) espresso in percentuale di  $g$  ed i valori dell'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico nelle norme tecniche sulle costruzioni. Tali valori sono riferiti alle accelerazioni attese in seguito ad un evento sismico in siti su roccia o suolo molto rigido (**con  $V_s > 800$  m/s**).

Zona Sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (norme tecniche)
1	Maggiore di 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	Minore di 0,05	0,05

*Tab.6: Categorie di rischio e accelerazioni previste dalla normativa sismica dell'OPCM, n° 3519/2006*

Le valutazioni di  $a_g$  sono state effettuate mediante:

- ↪ l'identificazione delle aree sismogenetiche, in base a dati geologici, geofisici, e ai cataloghi sismologici, sia storici che strumentali;
- ↪ la determinazione del periodo di ritorno di terremoti di diversa intensità per ogni zona sismogenetica;
- ↪ la valutazione di  $a_g$  per ogni area di  $0,05^\circ$  di lato del territorio nazionale, utilizzando leggi medie di attenuazione dell'energia sismica con la distanza.

In base alla nuova normativa (All. 1, 2b dell'OPCM n. 3274/2003) è stata prodotta una nuova mappa della classificazione sismica del territorio nazionale, in termini di accelerazione massima ( $a_{max}$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferiti

a siti su roccia o suolo molto rigido (**Categoria A, con  $V_s > 800$  m/s**) (Fig.30), affidando alle Regioni l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche sulla base dei criteri generali dell'Allegato 1.

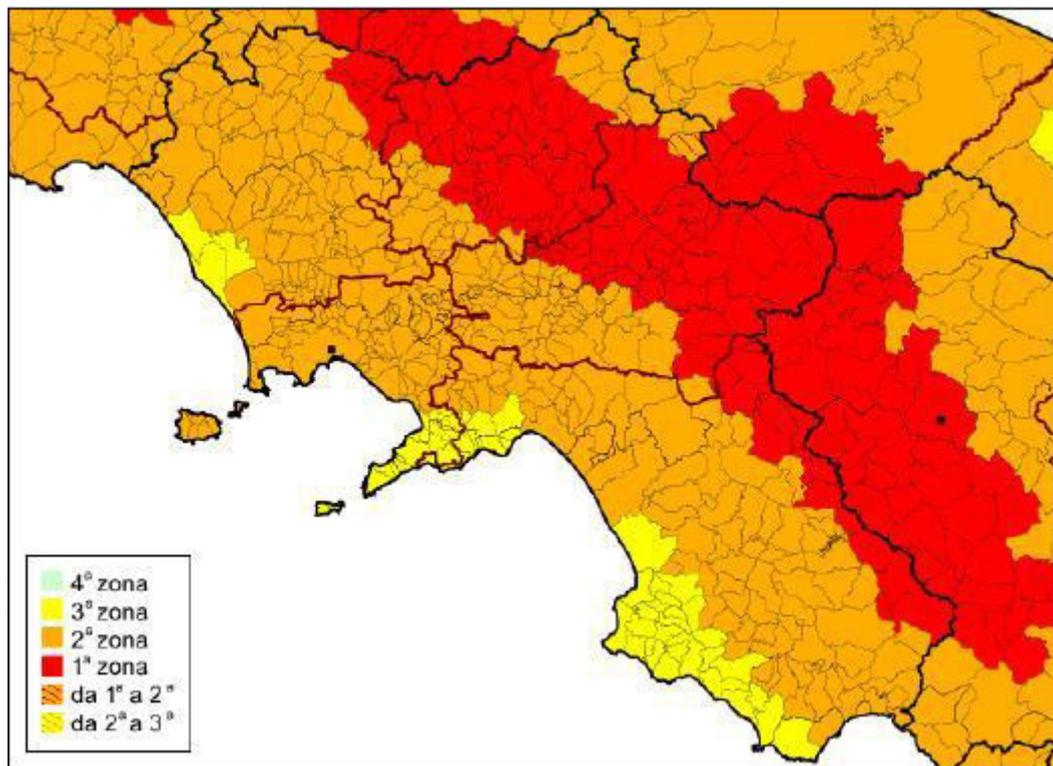


Fig. 30: Zone sismiche della regione Campania (2003). Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003

In seguito all'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 è stata realizzata anche una mappa di pericolosità sismica (Fig.31), che rappresenta un riferimento per l'individuazione delle zone sismiche. Per la realizzazione di questa mappa sono stati utilizzati ed elaborati un gran numero di dati, ed in particolare:

- ↪ è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9;
- ↪ è stata prodotta una versione aggiornata del catalogo CPTI (Gdl CPTI, 1999) detta CPTI2;
- ↪ sono state verificate, alla luce dei dati dei terremoti più recenti, le relazioni di attenuazione di  $a_{max}$  definite a scala nazionale ed europea.



*Fig.31: Mappa di pericolosità sismica (INGV,2004)*

#### **4.4 Zonazione sismogenetica**

Fino al 2002, il punto di riferimento per la valutazione della pericolosità sismica nell'area italiana è stata la zonazione sismogenetica ZS4 (Scandone e Stucchi, 2000). Con nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile, è stata sviluppata una nuova zonazione sismogenetica, denominata **ZS9** (Fig.32).

La zonazione sismogenetica ZS9 è il risultato delle modifiche, degli accorpamenti e delle elisioni delle numerose zone di ZS4 e dell'introduzione di nuove zone. La zonazione ZS9 comprende 42 zone-sorgente, che sono state identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A ad F). Nel processo di realizzazione di ZS9, l'unione di più zone ZS4 è avvenuta in base alle caratteristiche del dominio cinematico al quale ognuna delle zone veniva attribuita.

Oltre alla riduzione del numero di zone rispetto alla ZS4, la ZS9 è caratterizzata anche da modifiche dei limiti delle zone, che sono state effettuate tenendo conto dei nuovi dati relativi alle geometrie di singole sorgenti o di insiemi di queste. Si deve però tener presente che i confini geografici di molte zone di ZS9 rappresentano il frutto di un compromesso tra numerosi parametri, di conseguenza sono affetti da un certo margine di incertezza. Per far fronte a questa problematica, nella redazione di ZS9 si è fatto ricorso ai “bordi morbidi”, cioè ad una fascia (definita in chilometri) di dimensioni variabili, nella quale si produce uno smussamento della distribuzione della pericolosità, producendo così gradienti meno accentuati ai confini tra le diverse ZS.

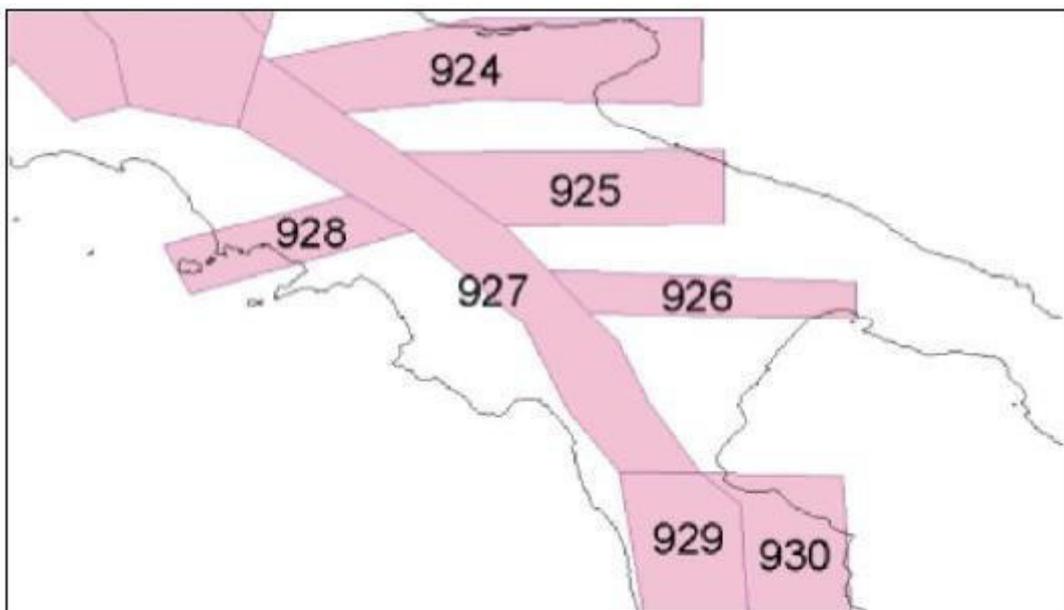
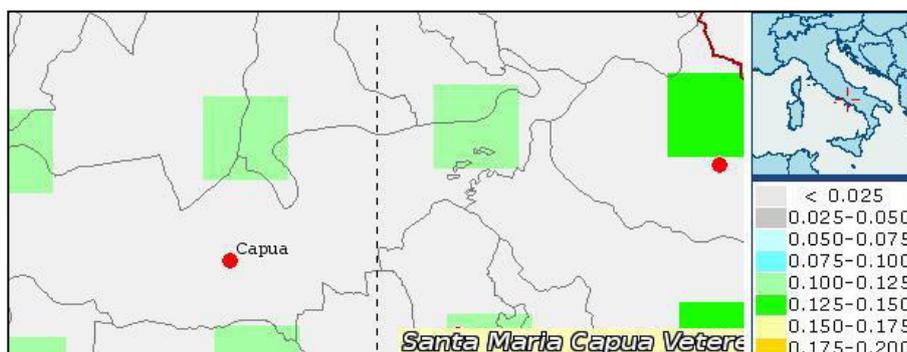


Fig. 32: Zonazione Sismogenetica ZS9 dell'Appennino Meridionale

#### 4.5 Pericolosità e classificazione sismica in Campania

La carta della pericolosità sismica calcolata in base alle distribuzioni di  $a_{max}$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, effettuata dal GdL INGV (2004) e redatta in conformità alle disposizioni dell'OPCM 3519 del 28/04/2006, prevede per la Campania la presenza di 8 classi di  $a_{max}$ , con valori che variano gradualmente tra 0,075 g lungo la costa a 0,275 nell'area dell'Irpinia, ad eccezione delle aree vulcaniche Vesuvio-Ischia-Campi Flegrei dove si hanno valori mediamente compresi tra 0,175 g e 0,200 g.



*Fig.33: Mappa di pericolosità sismica secondo le N.T.C.*

In riferimento alla mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica derivante dal progetto S1 dell'INGV (Fig. 33), disponibile on-line sul sito dell'INGV, si indica che il territorio comunale di Santa Maria Capua Vetere (CE) rientra nelle celle contraddistinte da valori di  $a_g$  di riferimento compresi tra 0,100 g - 0,125 g. (I punti della griglia sono riferiti a: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

## **4.6 Microzonazione**

### **4.6.1 Obiettivo della microzonazione**

Gli studi di microzonazione sismica hanno lo scopo di riconoscere le condizioni locali che, in caso di evento sismico, possono dar luogo ad effetti di sito, cioè ad amplificazioni del moto sismico e a fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazione, cedimenti differenziali etc ...). I livelli di analisi previsti ed i soggetti coinvolti nella realizzazione degli studi sono così definiti per il livello I.

Il Livello I è di competenza regionale o, in assenza di studi regionali, del soggetto attuatore dello studio di microzonazione e rappresenta un livello propedeutico agli studi successivi. Le analisi vengono fatte utilizzando dati già esistenti e di facile reperibilità, ed hanno lo scopo di individuare cautelativamente le aree che

sono potenzialmente soggette ai diversi effetti di sito, quali ad esempio effetti di amplificazione locale, liquefazione ed instabilità dei pendii. I risultati ottenuti hanno carattere qualitativo e devono essere periodicamente aggiornati e verificati in considerazione delle nuove conoscenze derivanti da nuove analisi o da analisi più approfondite.

#### **4.6.2 Indagini eseguite sull'area di studio**

Sul territorio comunale è stata espletata una approfondita indagine sismica con la realizzazione di n.10 profili sismici di tipo MASW che integrano i 23 profili MASW eseguiti nell'indagine PUC 2011 e dai 38 profili MASW eseguiti sul territorio nel periodo 2012-2018, al fine di fornire i dati necessari per la definizione della tipologia di suolo presenti e fornire dati sulla velocità delle Onde Vs nei terreni oggetti di fondazioni. L'ubicazione di tutte le prove sismiche MASW (suddivise per periodo con colore diverso) è riportata sulla "Carta dell'ubicazione delle prove in sito" (Tavola n°4).

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

La determinazione della velocità delle onde di taglio VS tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da r come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_S$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. n. 3274/03; O.P.C.M. n. 3431/05; D.M. 17/01/2018). Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_S$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% di quella delle onde di taglio ( $V_S$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza <15% nella determinazione delle  $V_S$ .

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Micro-tremor), FTAN (Frequency Time Analysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_S$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede quattro passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle VS dei terreni con approccio Multicanale.

I risultati ottenuti dalle prospezioni MASW eseguite in proprio sono riepilogate nella documentazione allegata alla presente relazione, mentre nella tabella seguente si propongono per ogni profilo realizzato la Velocità  $V_{seq}$  per i calcoli strutturali e l'indicazione del tipo di suolo associato come definito nelle NTC 2018.

Prova Numero	Anno	Ubicazione	V <sub>s<sub>eq</sub></sub> in m/s	Categoria Suolo
1	2011	Cimitero	457	B
2	2011	Via Eugenio della Valle	383	B
3	2011	Zona C1 Nord/Ovest	331	C
4	2011	Via del Lavoro Itatel	351	C
5	2011	Il Trav. Via Galatina	428	C
6	2011	Via Galatina Protezione Civile	360	C
7	2011	Via Convento delle Grazie	354	C
8	2011	Corso Garibaldi - Teatro	340	C
9	2011	Via Curri	328	C
10	2011	Via de Gasperi	557	B
11	2011	Zona Ospedale	359	C
12	2011	Via Martirid del Dissenso	501	B
13	2011	Via Napoli Trav. Sant'Aniello	386	B
14	2011	Loc. Sant'Andrea - SIATA	377	B
15	2011	Loc. Sant'Andrea - Isola ecologica	335	C
16	2011	Via Croce Santa dei Cappuccini	345	C
17	2011	Via Colonna	282	C
18	2011	Via Staffano	289	C
19	2011	Loc. Sant'Andrea - Zona PIP	182	C
20	2011	Loc. Spartimento	241	C
21	2011	Via Vecchia Pagliarone	199	C
22	2011	Via Piro	255	C
23	2011	Via degli Artisti	296	C
24	2018	Via dei Romani	307	C
25	2018	Via Galatina	349	C
26	2018	Via degi Orti	353	C
27	2017	Piazza 1 Ottobre	324	C
28	2017	Via De Michele	367	B
29	2017	Via Verdi	342	C
30	2017	Trav. Via Melorio	343	C
31	2016	Via Porta Fluviale	316	C
32	2016	Corso Aldo Moro	319	C
33	2016	Via S. Francesco D'Assisi	366	B
34	2016	Scuola Mascagni	325	C
35	2015	Via Gorizia	342	C
36	2013	Loc. Spartimento	284	C
37	2013	Via Merano	372	B
38	2015	Via Pratilli	357	C
39	2013	Via Roma Vico IV	297	C
40	2013	Via degli Etruschi	349	C
41	2013	Corso Aldo Moro	396	B
42	2013	Via Mario Fiore	335	C
43	2013	Via del Lavoro	367	B
44	2013	Via Martucci	347	C
45	2013	Via Monfalcone	364	B
46	2012	Via Albana	357	C
47	2013	Stadio Gladiator	442	B
48	2012	Loc. Campolongo	397	B
49	2012	Cimitero	400	B
50	2012	Via Vittorio Emmanuele	275	C
51	2012	Via Appia	394	B
52	2012	Via Roberto D'Angiò	334	C
53	2012	Via Bolzano	365	B
54	2012	Via Danimarca	370	B
55	2013	Piazza 1° Ottobre	350	C
56	2014	Via Mazzocchi	342	C
57	2015	Via Albana	343	C
58	2012	Ex Casa Comunale	350	C
59	2013	Scuola Mazzocchi	459	B

Tab. 9: Risultati della rielaborazione delle prospezioni MASW bibliografiche.

NUMERO MASW	VALORI $V_{seq}$ (m/s)	CLASSE Sottosuolo
1	305	C
2	534	B
3	379	B
4	388	B
5	284	C
6	332	C
7	310	C
8	344	C
9	371	B
10	295	C

Tab. 10: Risultati della campagna di prospezioni MASW 2018.

### 4.6.3 Criteri e metodologia di microzonazione

Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della risposta sismica locale (RSL) mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche. Fattori stratigrafici e morfologici locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde nel passaggio dal bedrock alla superficie. L'effetto di filtraggio conduce ad una redistribuzione dell'energia con l'amplificazione del moto vibratorio associato ad alcune frequenze.

Esistono diverse metodologie per la stima dell'amplificazione sismica in superficie. Sono note in letteratura metodologie speditive, basate sulle caratteristiche lito-stratigrafiche del sito e sulla stima della velocità delle onde S nei livelli di copertura. Per tener conto dei fenomeni di amplificazione del moto sismico, il valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ), è stato moltiplicato per un coefficiente che comprende l'effetto

dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e per uno che tiene conto dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del *Coefficiente Topografico* ( $S_T$ ) riportati nella Tab. 11-A in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 (NTC 2018) e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>	---	1,0
<b>T2</b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
<b>T3</b>	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media $\leq 30^\circ$	1,2
<b>T4</b>	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media $> 30^\circ$	1,4

Tab. 11: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografico  $S_T$

Nell'Amplificazione Stratigrafica per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  valgono 1. Per le categorie B, C, D i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T^*_C$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 12, nelle quali  $g=9,81$  m/s<sup>2</sup> è l'accelerazione di gravità e  $T^*_C$  è espresso in secondi.

Categoria Suolo	$S_S$	$S_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 * F_0 * \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10*(T^*_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 * F_0 * \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05*(T^*_C)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 * F_0 * \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25*(T^*_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 * F_0 * \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15*(T^*_C)^{-0,40}$

Tab. 12: Espressioni dei coefficienti di amplificazione Stratigrafica  $S_S$  e  $S_C$

A partire dal modello sismico monodimensionale è possibile calcolare il valore delle  $V_{Seq}$ , che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione delle onde di taglio. La

classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{seq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove:

$h_i$  indica lo spessore dell'  $i$ -esimo strato;

$V_{S_i}$  indica la velocità delle onde di taglio nell'  $i$ -esimo strato;

$N$  indica il numero di strati;

$H$  indica la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Di seguito si riporta la tabella contenuta nel D.M. del 17 gennaio 2018 in base allo schema di classificazione dei siti.

Classe	Descrizione
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri.
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 100 m/s e 180 m/s.
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri.

Tab. 13: Classificazione dei suoli in base alla  $V_{seq}$

Per quanto attiene al fattore di amplificazione topografico in assenza di pendii, di incisioni oltre 1 metro nelle aree di interesse urbanistico, si ritiene che il territorio d'interesse sia costituito da aree senza amplificazione sismica legata alla topografia.

#### 4.6.4 Considerazioni sulla liquefazione delle sabbie

La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale ( $\mu$ ) durante sollecitazioni di tipo ciclico.

Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale ( $\sigma$ ), si ha l'annullamento della resistenza al taglio ( $\tau$ ), secondo la seguente relazione:

$$\tau = (\sigma - \mu) * \text{tg}\varphi$$

Come suggerisce la norma, da studi statistici si è verificato che il fuso granulometrico a rischio possiede un  $D_{50}$  compreso tra 0,01 e 2,5 mm.

Sono inoltre esclusi i depositi presenti ad una profondità superiore a 15 m, in quanto il carico litostatico è talmente elevato da non poter essere raggiunto dalla pressione neutra. L'assenza di strati sabbiosi immersi in falda non consente la liquefazione dei terreni in caso di evento sismico.

Poiché la liquefazione si verifica in condizioni in cui le sabbie incoerenti presentano una composizione granulometrica piuttosto uniforme, si potrebbe escludere dalla verifica i casi in cui si presentano livelli sabbiosi con fusi molto estesi o eterogenei come in genere le sabbie piroclastiche. Inoltre la coesione, seppur minima, che per questi tipi di materiali viene rilevata nelle prove di laboratorio geotecnico, è in realtà la misura di una forma di "cementazione" presente che dovrebbe scongiurare il pericolo di liquefazione.

Inoltre l'assenza di qualsiasi riferimento storico o evidenze superficiali di eventi di liquefazioni pregressi, associato a quanto descritto nei capoversi precedenti, mostra apparentemente per il territorio comunale una bassa probabilità per eventi di liquefazione nell'ambito dei rischi conseguenti ad azioni sismiche.

Ciò premesso, vanno sempre effettuate le verifiche puntuali del potenziale di liquefazione in risposta ad un evento sismico nei casi previsti dalla normativa vigente per tutte le opere da realizzare o da ristrutturare.

#### **4.6.5 Carta Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - (classi di Pericolosità Sismica Locale – P S L)**

Seguendo gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento omogeneo rispetto alla sollecitazione sismica.

La “*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS*” (tavola 5) costituisce una zonazione di 1° livello di approfondimento di tipo avanzato. A tal fine sono stati utilizzati gli elaborati cartografici e le indagini disponibili.

La Carta MOPS integra la carta della microzonazione in prospettiva sismica prevista dalla L.R. n.9/83 e individua sulla base delle osservazioni geologiche, geomorfologiche, e della valutazione dei dati acquisiti in ambito geofisico e geotecnico, le microzone all'interno delle quali possono verificarsi diverse tipologie di effetti locali o di sito prodotti dall'azione sismica. Ogni zona è stata quindi caratterizzata in base alle caratteristiche litostratigrafiche, in funzione degli effetti prodotti da un eventuale evento sismico: amplificazione, instabilità ecc.

Nell'ambito della redazione del PUC, il presente studio di zonazione sismica condotto al I° livello di approfondimento, in ottemperanza a quanto previsto dalle OPCM 4007/2012 e Delibera di Giunta Regionale n.118/2013, costituisce lavoro propedeutico e obbligatorio per affrontare i successivi livelli di approfondimento (II e III livello). Ciò anche in virtù del fatto che nelle finalità della normativa, la zonizzazione di che trattasi è intesa a carattere generale e pertanto, non può rappresentare la puntuale identificazione delle caratteristiche sismiche di un sito specifico.

La “*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS*” (tavola 5 - scala 1:5000), è stata redatta in ottemperanza a quanto previsto dalla Delibera della Giunta Regionale n. 118 del 27/05/2013 secondo quanto definito negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (Standard ICMS 2008).

Pertanto, alla luce di quanto premesso e in virtù dei dati acquisiti, la Carta delle MOPS costruita sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni e alle instabilità sismiche, prevede la seguente suddivisione in zone omogenee di territorio.

**Zone stabili:** non si prevedono effetti locali di nessuna natura e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base

(amplificazioni uguali all'unità e litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento, con morfologia pianeggiante o poco inclinata).

Nell'ambito del territorio comunale, non sono state rinvenute zone stabili.

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni sismiche locali:** si attendono fenomeni di amplificazione del moto sismico come effetto della situazione litostratigrafica e morfologia locale. In legenda si riporta oltre al simbolo e al codice, una descrizione della litologia prevalente e dell'ambiente genetico deposizionale.

Gran parte del territorio comunale può essere ricondotta a questa zona, in quanto caratterizzata da una sostanziale omogeneità dal punto di vista geomorfologico e sismico.

Nell'ambito di tale zona, sono state individuate cinque sotto-zone di seguito specificate e riportate nella carta:

**ZONA B1** (campitura giallo chiaro): collocazione area nella zona più meridionale del territorio comunale. La successione stratigrafica prevede:

CL: 2-3 m di Limi e limi argillosi alluvionali, coesivi

SM1: 2 m di Sabbie e limi piroclastici rimaneggiati incoerenti

SM2: 5 m di Sabbie e limi piroclastici pseudo incoerenti

CIN: più di 10 m di Cineriti debolmente cementate

Effetti attesi: molto bassi.

**ZONA B2** (campitura arancio chiaro): collocazione area nella zona meridionale del territorio comunale. La successione stratigrafica prevede:

SM1: 2-3 m di Sabbie e limi piroclastici rimaneggiati incoerenti

SM2: 5 m di Sabbie e limi piroclastici pseudo incoerenti

TF: 2-5m di Tufo giallo da pseudo litoide a litoide

CIN: più di 10 m di Cineriti debolmente cementate

Effetti attesi: molto bassi per via delle debole esposizione del patrimonio pubblico e privato.

**ZONA B3** (campitura arancione): collocazione area nella zona centrale del territorio comunale. La successione stratigrafica prevede:

SM2: 6-8 m di Sabbie e limi piroclastici pseudo incoerenti

CIN: 4 m di cineriti debolmente cementate

TF: 3-5m di Tufo giallo da pseudo litoide a litoide

CIN: più di 6 m di Cineriti debolmente cementate

Effetti attesi: bassi per via delle debole esposizione del patrimonio pubblico e privato.

**ZONA B4** (campitura bruno chiaro): collocazione area nelle zone intorno all'abitato comunale. La successione stratigrafica prevede:

SM2: 3-7 m di Sabbie e limi piroclastici pseudo incoerenti

CIN: 15 m di Cineriti debolmente cementate

Effetti attesi: bassi per via delle buone condizione litostratigrafiche e per l'assenza di elementi di instabilità.

**ZONA B5** (campitura verde oliva): collocazione area nell'abitato comunale. La successione stratigrafica prevede:

RI: 2-3 m di Riporto antropico

SM2: 3-7 m di Sabbie e limi piroclastici pseudo incoerenti

CIN: 15 m di Cineriti debolmente cementate

Effetti attesi: medio-alti per via dell'alta esposizione e la presenza di cavità nel sottosuolo.

**Zone suscettibili di instabilità:** gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali possono essere instabilità di

versante, liquefazione, cedimenti differenziali e faglie attive e capaci, oltre naturalmente i fenomeni di amplificazione.

Non sono state cartografate aree instabili in prospettiva sismica, tuttavia sono state riconosciute Aree di Attenzione laddove sono presenti cavità note e/o dove sono avvenuti sprofondamenti documentati.

Nei riguardi della liquefazione, per quello che concerne l'area di studio, a vantaggio della stabilità si può rilevare che non sono noti fenomeni di liquefazione storicamente collegati agli eventi sismici che si sono susseguiti nel tempo e che l'assetto geo-litologico dell'area ha evidenziato una elevata percentuale di componente fine (limi e argille) all'interno del fuso granulometrico.

#### **4.6.6 Carta della Zonazione in prospettiva sismica**

La “*Carta della zonazione in prospettiva sismica*” (Tavola n. 6) è stata elaborata identificando:

- ↳ le categorie di suoli identificati dalle prospezioni sismiche MASW;
- ↳ la zona sismica con la sua accelerazione orizzontale massima al suolo ( $0,25 \text{ m/s}^2$ )
- ↳ il fattore che tiene conto del profilo stratigrafico distinguendo le aree pianeggianti con terreno in sito da quelle sempre pianeggianti ma con coperture di materiali antropici;
- ↳ il fattore che tiene conto dell'amplificazione topografica anche se irrilevante per effetto dell'assenza di pendenze significative;
- ↳ il valore dell'accelerazione spettrale di picco.

Sono dunque distinte n. 4 microzone legate ai sopraindicati parametri.

## 5.0 CONCLUSIONI

Le indagini geologiche sopra descritte sono state eseguite nel rispetto della L.R. n. 9/83, art. 11 e della L.R. n. 16 del 22/12/2004 nonché degli OPCM 3274/03, OPCM 3431/05, OPCM 4007/2012, del D.G.R. n. 118 del 27/05/2013, del D.M. 17/01/2018 e si ritengono sufficienti per una corretta conoscenza del sottosuolo.

Le indagini, i rilievi e gli studi bibliografici eseguiti, dettagliatamente descritti nella presente relazione e graficamente sintetizzati nella cartografia tematica prodotta, nonché l'esame comparato della precitata cartografia e dei dati geognostici, stratigrafici, geotecnici e di risposta dinamica, hanno consentito il computo qualitativo e quantitativo delle incidenze puntuali in termini di rischio geologico-sismico e, quindi, di utilizzo antropico dell'area comunale.

Occorre precisare, in ogni caso, che tutte le indicazioni concernenti le caratteristiche dei terreni fornite nella presente relazione sono utilizzabili solamente ai fini della programmazione urbanistica del territorio mentre per la realizzazione di qualsiasi tipo di manufatti, così come previsto dalle normative Tecniche 2018, si dovrà procedere a puntuale e sistematica indagine geologica per la conferma del modello geologico del sottosuolo e quindi delle singole scelte progettuali.

Le situazioni riscontrate, pur non costituendo elemento ostativo alle mire di programmazione e attuazione urbanistica, impongono comportamenti che tendono al rispetto delle condizioni del territorio.

Nella parte più antica del nucleo abitato è stata accertata la presenza di numerose cavità che condizionano qualsiasi tipo d'intervento da realizzare. Pertanto si ritiene indispensabile che il Comune si doti di un Catasto delle Cavità Sotterranee (CCS).

Tanto per incarico ricevuto.

S. Maria C.V., 18 Gennaio 2019

 Il Geologo  
*Giuseppe A. Diplomatico*

## INDICE

<b>1.0</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>1</b>
1.1	Metodologia d'indagine	1
1.1.1	Indagini eseguite in sito	2
<b>2.0</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA</b>	<b>4</b>
2.1	Geologia generale	4
2.2	Morfologia	7
2.3	Stabilità dell'area	8
2.3.1	Genesi dei dissesti	9
2.3.2	Cenni storici sulle cavità	10
2.3.3	Influenza delle cavità in caso di evento sismico	11
2.3.4	Rapporti con l'Autorità di Bacino	12
2.3.5	Raccomandazioni	17
2.4	Idrogeologia	18
2.4.1	Complessi Idrogeologici	18
2.4.1.1	Complesso Ignimbrítico	18
2.4.1.2	Complesso Piroclastico	19
2.4.1.3	Complesso Detritico - Piroclastico - Alluvionale	20
2.4.2	Fattori di condizionamento della circolazione idrica sotterranea	20
2.4.3	Unità Idrogeologiche	22
2.4.3.1	Unità Idrogeologica dei Monti Tifatini	23
2.4.3.2	Unità idrogeologica di parte della Piana Campana	24
2.4.4	Valutazione delle Risorse Idriche Disponibili	26
2.4.4.1	Bilancio idrogeologico medio dei Monti Tifatini, in particolare del Monte Tifata s.s.	27
2.4.4.2	Bilancio idrogeologico medio della Piana Campana	30
2.4.5	Carta Idrogeologica	33
2.4.6	Indagine geoelettrica	34
2.5	Stratigrafia locale	35

<b>3.0</b>	<b>INDAGINI IN SITO</b>	<b>39</b>
3.1	Prove Penetrometriche	39
3.1.1	Standard Penetration Test (S.P.T.)	39
3.1.2	Prove Penetrometriche statiche	42
3.1.3	Prove Penetrometriche dinamiche	43
3.2	Prove Geotecniche di Laboratorio	43
3.3	Caratterizzazione orizzonti litologici	55
<b>4.0</b>	<b>RISCHIO SISMICO</b>	<b>56</b>
4.1	Premessa	56
4.2	Rischio sismico	57
4.3	Microzonazione sismica in Italia	58
4.4	Zonazione sismogenetica	62
4.5	Pericolosità e classificazione sismica in Campania	64
4.6	Microzonazione	65
4.6.1	Obiettivo della microzonazione	65
4.6.2	Indagini eseguite sull'area di studio	65
4.6.3	Criteri e metodologia di microzonazione	69
4.6.4	Considerazioni sulla liquefazione delle sabbie	72
4.6.5	Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	73
4.6.6	Carta della Zonazione in prospettiva sismica	76
<b>5.0</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>77</b>

## ALLEGATI

- Indagine Sismica MASW
- Carta Geolitologica in scala 1/5.000 in rev. 1 (Tavola 1);
- Carta della Stabilità delle aree in scala 1/5.000 in rev. 1(Tavola 2);
- Carta Idrogeologica in scala 1/5.000 in rev. 1 (Tavola 3);
- Carta dell'Ubicazione delle Prove in sito in scala 1/10.000 in rev. 1(Tavola 4);
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1/5.000 in rev. 0 (Tavola 5);
- Carta della Zonazione in Prospettiva Sismica in scala 1/5.000 in rev. 1 (Tavola 6);
- Supporto informatico contenente la relazione, le carte tematiche e tutti i documenti di supporto dei dati e prove reperite.