

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

**PIANO URBANISTICO COMUNALE**

**ADEGUAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO E DELLE  
CARTE TEMATICHE**

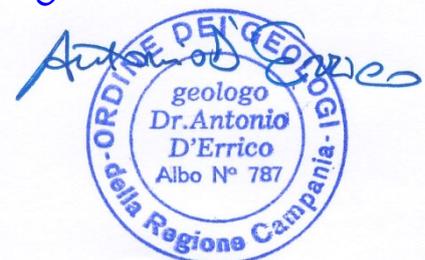
**Relazione Geologica**

Rev.3 del Novembre 2023

*Geologo incaricato: dr. Giuseppe A. Diplomatico*



*Collaboratore: dr. geologo Antonio D'Errico*



## **1.0 PREMESSA**

A seguito dell'incarico ricevuto dall'Ufficio Tecnico Comunale giusta Determinazione n° 620 del 19/10/2023 (registro 2137 del 26/10/2023), il sottoscritto dr. geologo Giuseppe Antonio Diplomatico, con la collaborazione del dr. geologo Antonio D'Errico, ha redatto la presente relazione geologica inerente alla richiesta da parte del Genio Civile di Caserta (prot. 2023.0376613 del 25/07/2023) per le integrazioni allo studio geologico relativo al Piano Urbanistico Comunale di Santa Maria Capua Vetere con esclusione dei punti di competenza dell'Ufficio Tecnico Comunale.

L'adeguamento dello studio geologico del 2018 nasce dalla necessità di aggiornare tutti i dati già rappresentati che nel corso di questi ultimi 5 anni (2018 – 2023) potevano avere subito delle modifiche, vedi il livello della falda freatica, nuovi sprofondamenti, evidenze di nuove cavità.

Naturalmente ciò comporta il rifacimento di quasi tutte le carte Tematiche già presenti nello studio 2018.

Infine per quanto attiene la microzonazione sismica, la stessa è stata adeguata agli **Standard di rappresentazione e archiviazione informatica Versione 4.2 dicembre 2020**

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

L'ampiezza dell'indagine è stata 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, tenendo conto sia delle problematiche in esame, sia della costituzione del sottosuolo, già piuttosto nota.

Lo studio ha riguardato tra l'altro una integrazione allo studio del 2018 per l'inserimento di alcuni criteri relativi a prescrizioni emanate dalla Protezione Civile in merito a: liquefazione dei suoli e microzonazione sismica di livello 2.

Dall'approfondita disamina dei dati presenti in letteratura scientifica, nei precedenti studi geologici eseguiti dallo scrivente 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, vengono riportati solo i dati più significativi.

La ricerca bibliografica ha consentito di estrapolare alcuni dati utili riferiti a diverse fasi di indagini precedenti:

- ↪ Indagini geognostiche del P.R.G. eseguite dal sottoscritto nel 1988;
- ↪ Indagini geognostiche dal 1988 e fino all'anno 2000, eseguite per opere pubbliche e private;
- ↪ Indagini geognostiche dall'anno 2000 all'anno 2011 eseguite per opere pubbliche e private;
- ↪ Indagini geognostiche nell'anno 2011 eseguite dal sottoscritto per la stesura della Relazione geologica inerente al PUC del Comune di S. Maria C.V.;
- ↪ Indagini geognostiche dall'anno 2012 all'anno 2018 eseguite per opere pubbliche e private.

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 rilievo sul campo di verifica di quanto emerso dalle fasi precedenti, in particolare per quanto attiene all'idrogeologia e alla stabilità, in particolare agli eventi di sprofondamenti successivi al 2018 registrati dall'Ufficio Tecnico Comunale;
- ↪ 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 (2018);
- ↪ una specifica indagine sismica per la determinazione della frequenza di sito con l'esecuzione di n. 10 prove HVSr (2023);
- ↪ l'elaborazione di una relazione illustrativa di commento ai risultati e alle cartografie realizzate.

### **1.1.1 Indagini eseguite in sito**

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.

Per ottemperare, quindi, è stata eseguita dal sottoscritto nel 2018 una campagna di indagini sismiche composte da N. 10 prove sismiche MASW (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie) e nel 2023 una indagine sismica con n. 10 prove HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

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.

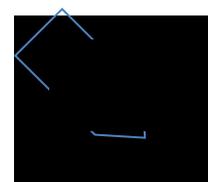
Tutte le indagini utilizzate sono state riportate sulla allegata “*Carta dell'ubicazione delle Prove*” (Tavola 4).

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. 2) 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. 2) in scala 1/5.000 (Tavola 4);
- ↪ Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) (rev. 1) in scala 1/5.000 (Tavola 5);
- ↪ “Carta della Microzonazione Sismica livelli II – Valori FA” (rev.0) in scala 1/5.000 (Tavola 6);
- ↪ “Carta della Microzonazione Sismica livelli II – Valori FV” (rev.0) in scala 1/5.000 (Tavola 7);
- ↪ “Sezione Geolitologica” (rev.1) (Tavola 8).



## 2.0 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA

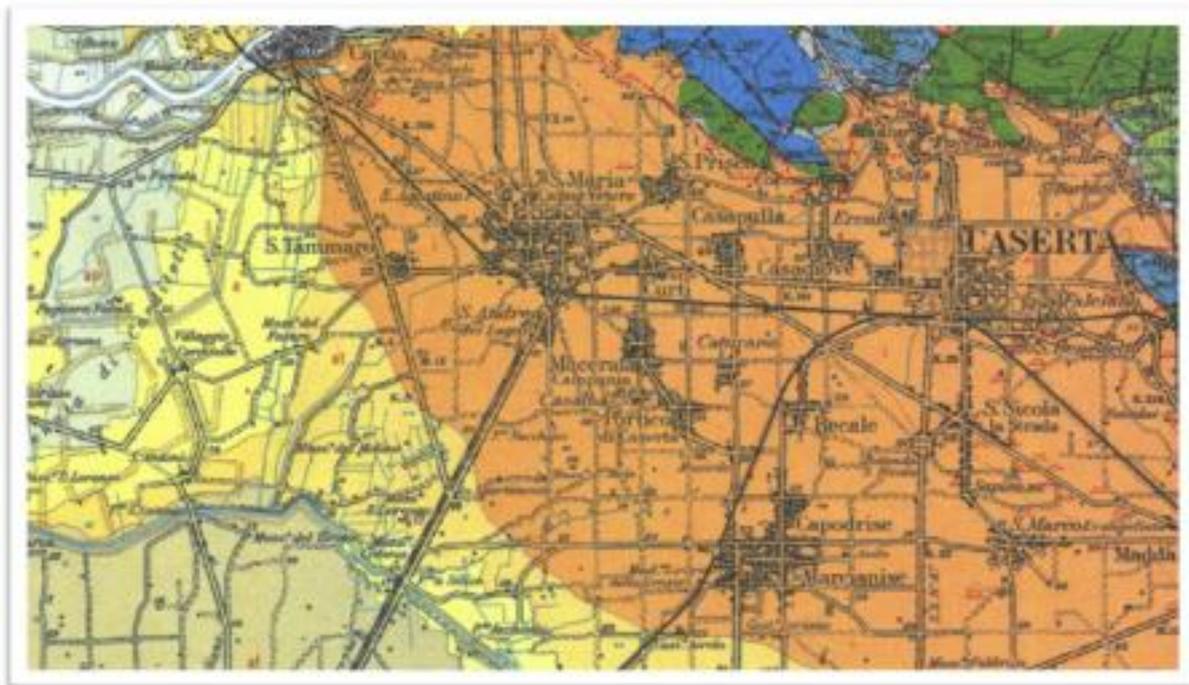
### 2.1 Geologia generale

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

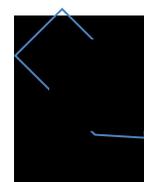
La ricostruzione degli eventi geologici che sono intervenuti a caratterizzare quest'area va inquadrata nell'ambito dell'evoluzione della Piana Campana a cui geograficamente appartiene, pertanto verranno sinteticamente descritti i principali eventi sedimentari e tettonici che ne hanno caratterizzato la 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 alle 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 rinvergono 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.*



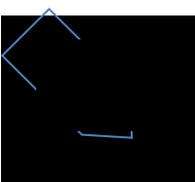
La differenza tra questi materiali dipende esclusivamente dal grado di auto-metamorfismo dei materiali. L'età dei depositi di tale ciclo è valutata tra 35.000 e 32.000 anni.

- ↳ **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 situ, incoerenti, appartenenti al II ciclo Flegreo (Pleistocene);



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

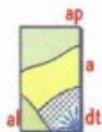
Ignimbrite petrograficamente da trachitica a trachionolitica, talora con fessurazione prismatico-colonnare ("tufo grigio campano" Auct.): alla base compatta, da marrone bruciato a violacea, con piccole pomice e scorie ocra e nere appiattite; verso l'alto lapidea, grigiasta, a scorie e pomice nere, anche 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 eugiliche, lenti di lapilli e pomice rimaneggiati e di piccole dimensioni; lenti travertinose a SW di Riardo e travertini a Sud di Maddaloni (tr).

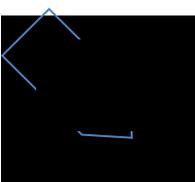
Limi ed argille: di origine piroclastica, sono il risultato della ri-deposizione dei materiali erosi dai Regi Lagni e/o del Fiume Volturno (Olocene).



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 pomice e intercalazioni di torba in lenti allungate (Lagno Vecchio a SE di Canello, Pantano della Riccia, F. Savone), 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 (dt); detrito di falda sciolto o debolmente cementato e coni 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 41 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.



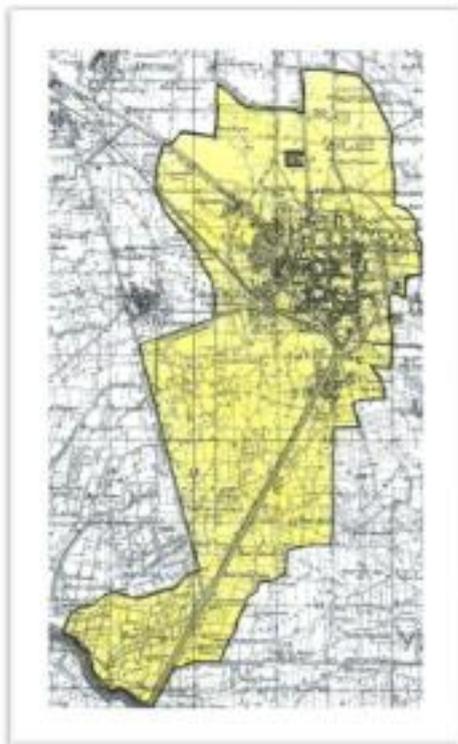


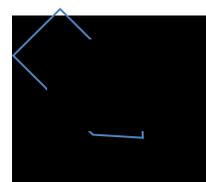
Fig.2: Ubicazione dell'area

### 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 registrati legati a cavità antropiche nel sottosuolo;
- ↪ Le aree con presenza di cavità antropiche o naturali documentate;
- ↪ Le aree di rischio potenziale in funzione essenzialmente della probabilità di presenza di cavità in quanto non sono presenti altri fattori di rischio.



### 2.3.1 Faglie Attive e Capaci

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Dal rilevamento geologico effettuato nell'intero territorio comunale non sono stati individuati indizi che dimostrano la presenza di faglie attive o capaci.

Sulla base della consultazione del database del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) del Servizio Geologico d'Italia-ISPRA, risulta che nel territorio in esame non sono presenti faglie attive e capaci, ovvero che possono creare deformazioni in superficie. Tuttavia, si riporta la faglia attiva e capace più prossima al territorio comunale, che dista poco più di 1 km dal confine orientale.

Tale faglia (come riportato in Fig.3) ha codice **42303** e denominazione “**Volturno Plain**”.

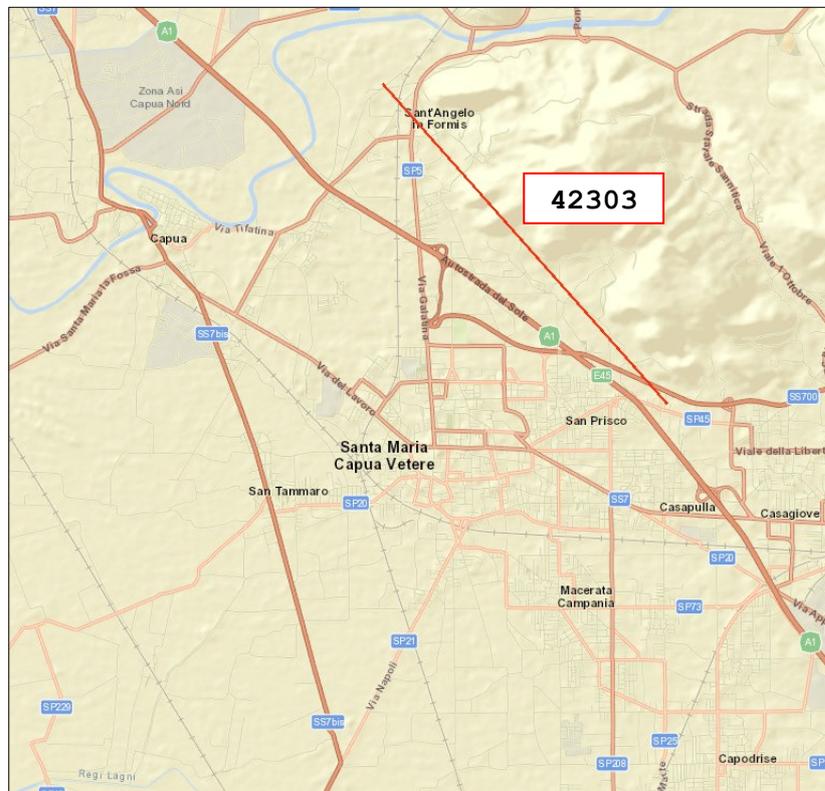


Fig. 3 – Ubicazione della faglia attiva e capace più prossima al sito in esame

## Fault description

### GENERAL IDENTIFICATION

Fault Code	42303
Fault Name	Volturno Plain
Region Name	Campania
Tectonic Environment	ND
System Name	Volturno Plain
Synopsis	
Rank	Primary

### GEOMETRY AND KINEMATICS

Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	120
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	5.8
Mapping Scale	1:
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal

### ACTIVITY

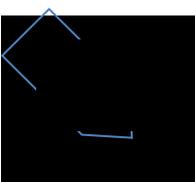
Surface Evidence	ND
Last Activity	Late Pleistocene

### SLIP PARAMETERS

Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	0.35
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	36,000.00
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	

### FINAL REMARKS

Capability Consensus	Medium reliability
----------------------	--------------------



Study Quality	FAIR
Notes	
Fault Trace Reference	
Last Update	

Alla luce di quanto riportato si evidenzia che non sono presenti, sia in bibliografia che dai rilievi superficiali, evidenze di faglie attive e/o capaci che interessano il territorio comunale di Santa Maria Capua Vetere.

### **2.3.2 Genesi dei dissesti sul territorio**

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 connessi ai sottoservizi che a caratteristiche tecniche delle cavità. I dissesti in aree private difficilmente sono documentati se non provocano danni ingenti o contenziosi.

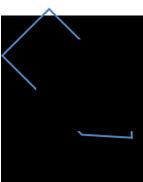
Le condizioni di equilibrio del sottosuolo della città sono alterate dalla presenza delle cavità sia in materiali fortemente addensati sia in materiali quasi incoerenti.

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 legate anche alla faticenza 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.

### **2.3.3 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 fogne 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.

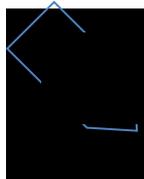
Nei rioni più antichi la maggior parte dei cunicoli hanno origine dal pozzo di servizio alla grotta e si prolungano nelle più svariate direzioni.

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.

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

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.

Nella bibliografia sono presenti vari studi relativi agli effetti delle onde sismiche in presenza di cavità nel sottosuolo.

Sotto azioni sismiche, le cavità sotterranee possono essere oggetto di instabilità con conseguenti danneggiamenti ad eventuali strutture e/o infrastrutture che interagiscono con esse.

Il verificarsi di sprofondamenti e collassi di cavità in condizioni sismiche è legato a diversi meccanismi di collasso che principalmente dipendono dai seguenti fattori (estratto da “Definizione di metodi di studio delle zone suscettibili di amplificazione - Contributi alle Linee Guida Amplificazioni” Ver 6.0 del 13/12/2021 di Sandro Coticelli):

- 1) *Tipologia di cavità (e.g. singola cavità, cavità a camere e pilastri, sistemi di cavità);*
- 2) *Forma della cavità;*
- 3) *Dimensione della cavità;*
- 4) *Spessore della copertura al di sopra della cavità (ovvero profondità della cavità);*
- 5) *Carichi agenti al piano campagna (es. riporti, edifici, strade, ...);*
- 6) *Resistenza e comportamento meccanico del materiale in cui è ricavata la cavità;*
- 7) *Intensità dell'azione sismica.*

In presenza di cavità nel sottosuolo, il passaggio di un'onda sismica dà luogo a fenomeni di interazione tra le onde stesse e i vuoti della cavità con conseguenti effetti sulla stabilità della cavità e sul moto sismico che ne risulta modificato. Dall'interazione dell'onda sismica e la cavità possono verificarsi:

- a. *danneggiamenti e/o collassi di pilastri, setti, volte, fianchi per instabilità della cavità senza effetti in superficie;*
- b. *danneggiamenti e/o collassi della cavità con effetti in superficie;*
- c. *amplificazione/deamplificazione del moto sismico in superficie.*

I primi due fenomeni sono legati al superamento, a causa dello scuotimento sismico, delle forze resistenti lungo le superfici libere della cavità, con la conseguente formazione di crolli, fratture e cedimenti che possono causare l'instabilità della cavità e generare



danneggiamenti e collassi che possono propagarsi fino al piano campagna. La presenza di cavità nel sottosuolo genera anche complessi fenomeni di amplificazione del moto sismico, legati principalmente alla formazione di onde superficiali lungo le superfici libere della cavità. (Estratto da “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Cavità Sotterranee (CS) ver. 1.0 del 07/12/2022 a cura di F. Brammerini et alii.”)

Sulla base degli elementi minimi disponibili desunti da indagini pregresse (ubicazione di cavità o sprofondamento collegati a cavità forniti dall’Ufficio Tecnico Comunale) è stata individuazione una Zona di Attenzione per Cavità Sotterranee (ZACD) in condizioni sismiche (Carta delle MOPS).

Nell’area ZACD, nelle Aree edificate (recenti o consolidate), per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull’edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di MS al fine di individuare le ZS e le ZR.

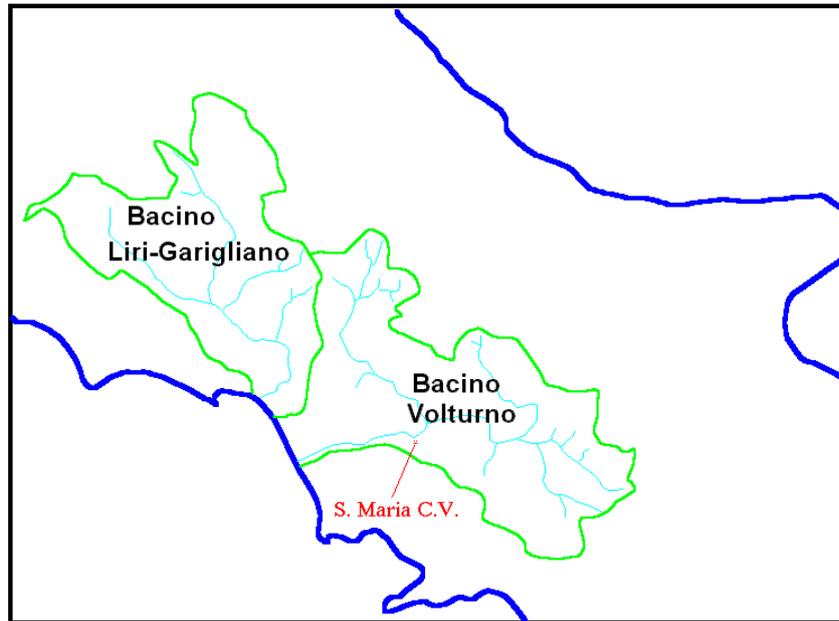
### **2.3.5 Rapporti con l’Autorità di Bacino**

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.



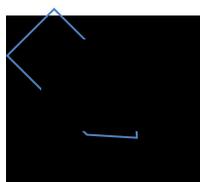


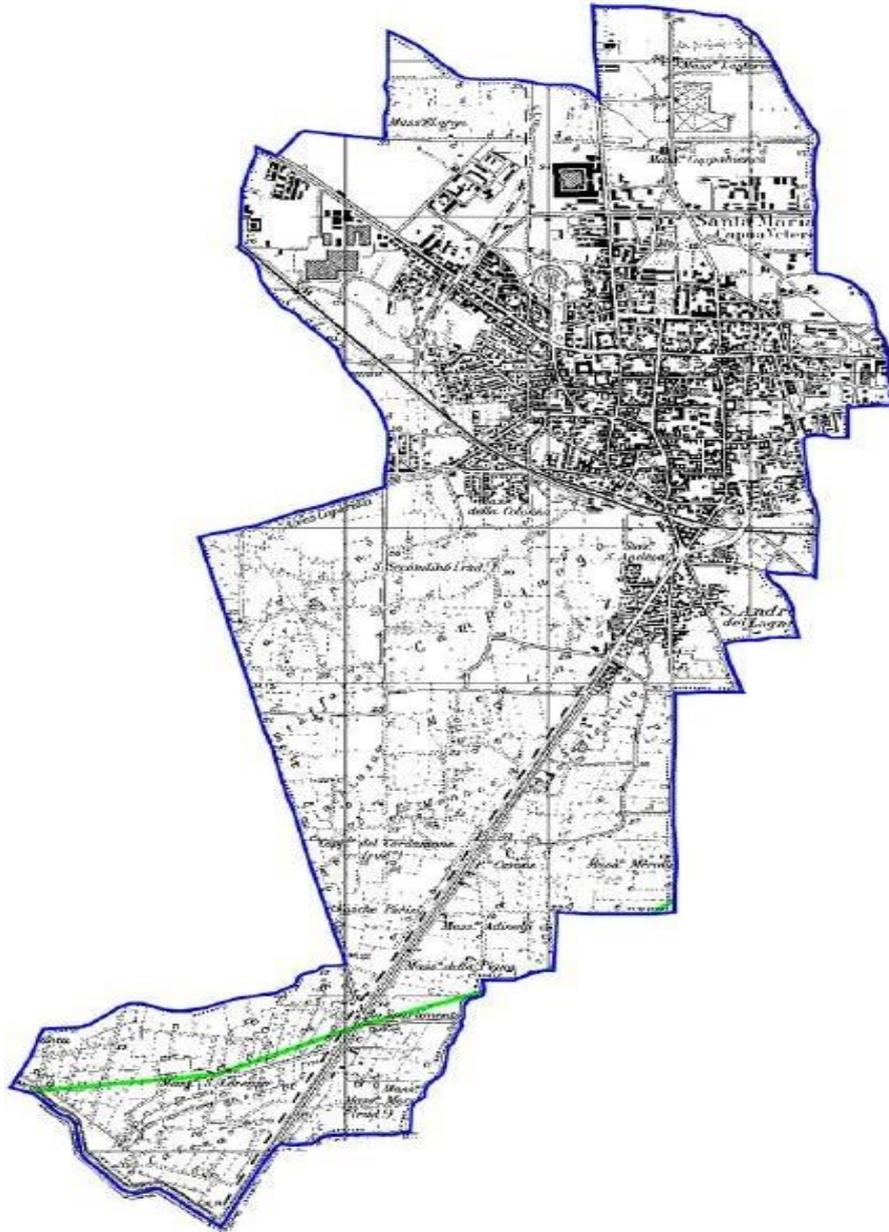
*Fig. 4: Ubicazione dell'area nell'ambito del bacino di riferimento principale*

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. 5: 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.

Sono stati visionati:

- ↪ Progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni - Relazione specifica A.d.B. Campania Centrale - R.4.2 (Nov. 2015);
- ↪ Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni – Bacino Volturno - Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno – Norme di Attuazione (Set. 1999);
- ↪ Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni – Bacino Volturno - Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno – Norme di Attuazione – Variante al P.S.D.A. – BASSO VOLTURNO da Capua alla foce – Comitato Istituzionale 03 marzo 2004

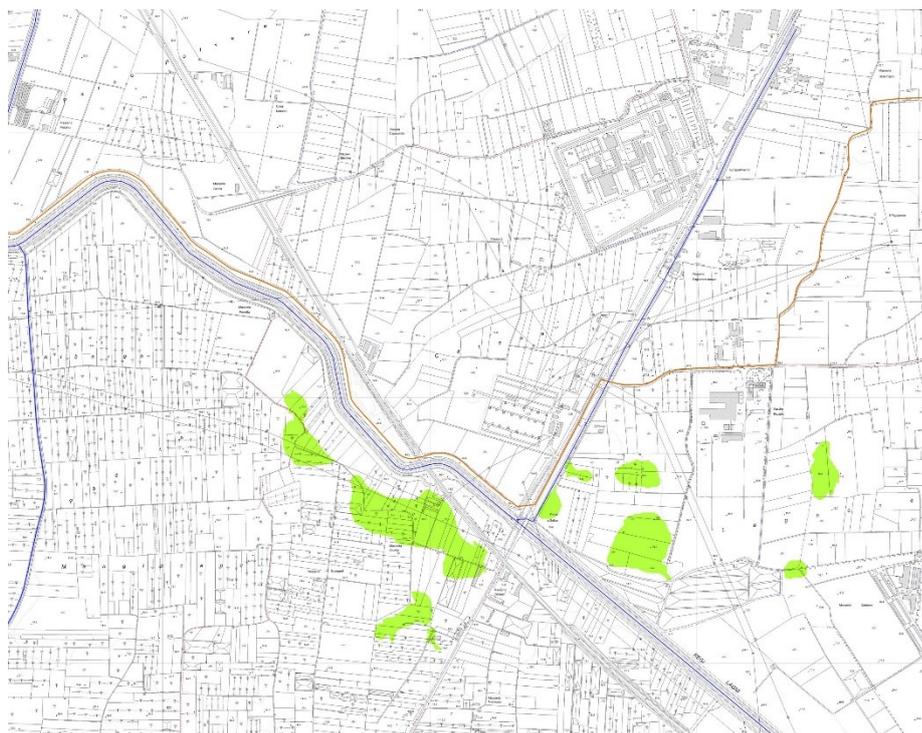


Fig. 6: Area a rischio esondazioni collegate al Bacino dei Regi Lagni. (RI-430151)



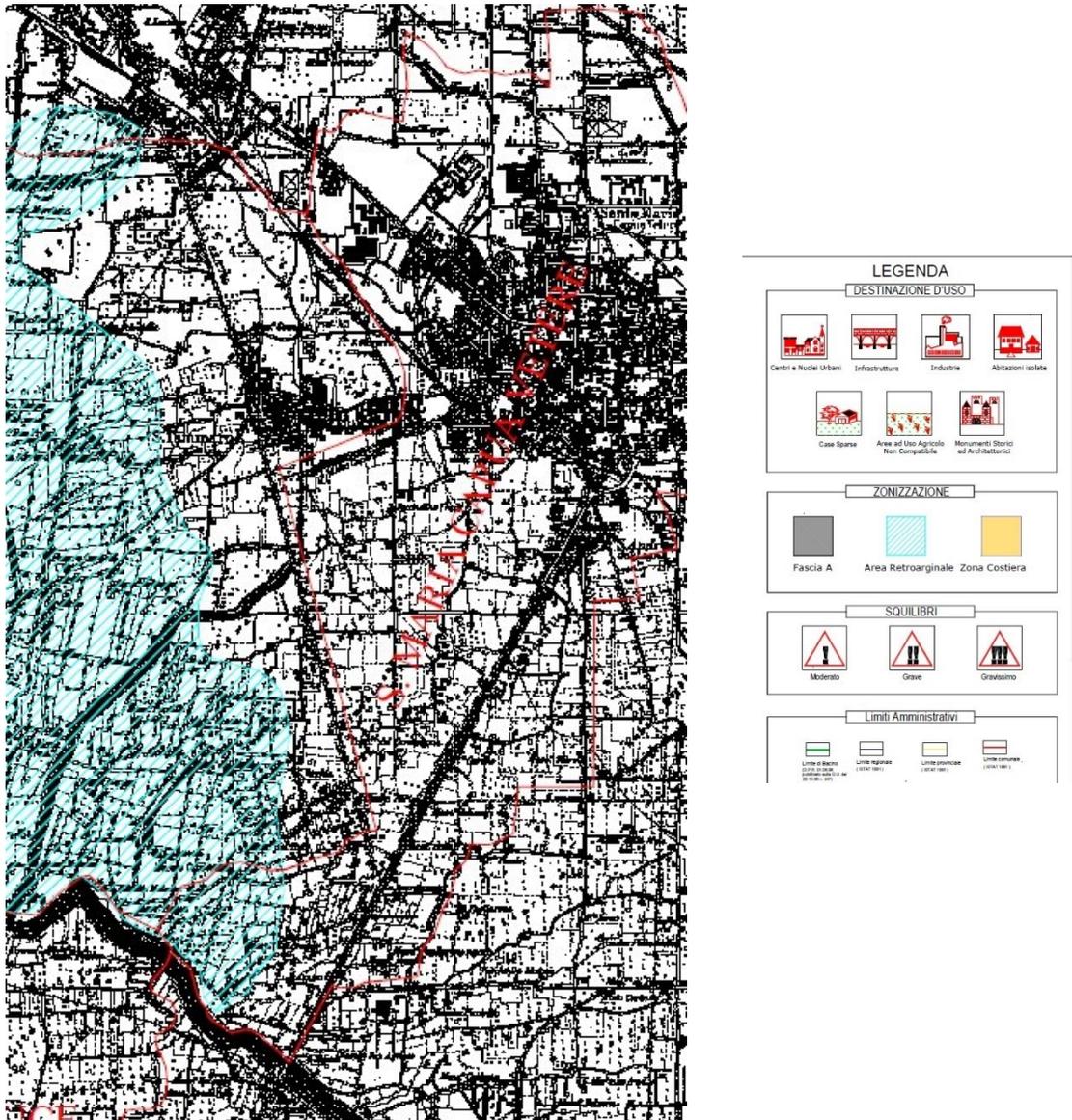


Fig. 7: Area a rischio esondazioni collegate al Bacino del Fiume Volturno (PSDA\_carta N.4.43\_bav)

L'area meridionale evidenziata da un retino azzurro è classificata come Area Retroarginale – R dalla Variante al Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni per il basso Volturno da Capua al mare [PSDA-bav] approvata con DPCM del 10/12/2004. Pertanto detta area è soggetta al rispetto delle Norme di Attuazione del PSDA-bav ed in particolare alle disposizioni degli artt. 7 e 13, nonché alle prescrizioni dell'art. 16 per le costruzioni ricadenti in area R.

### 2.3.6 Raccomandazioni

Alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti, si evince che l'intero territorio comunale risulta parzialmente stabile, la 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'Ufficio Tecnico 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 nuovamente 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 per un aggiornamento continuo dell'Area Z<sub>ACD</sub> rappresentata nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

Tale strumento, associato ad un rilievo di tutti i sotto-servizi presenti sul territorio comunale, 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 specifiche indagini di maggior dettaglio per piani di recupero e di risanamento come già avvenuto in modo puntuale.

Inoltre, l'area meridionale individuata come Area Retroarginale – R è soggetta al rispetto delle Norme di Attuazione del PSDA-bav ed in particolare alle disposizioni degli artt. 7 e 13, nonché alle prescrizioni dell'art. 16 per le costruzioni ricadenti in area R.

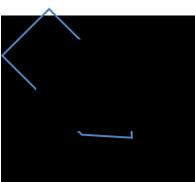


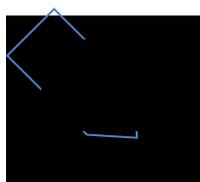


Fig. 8: Ubicazione di cavità e cunicoli noti tra via Avezzana e via Mazzocchi

In merito ad eventuali interventi nell'area  $ZACD$  dovranno essere riportate nelle NTA e nel RUEC le seguenti prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare:

- ↪ Tipologia di cavità (e.g. singola cavità, cavità a camere e pilastri, sistemi di cavità);
- ↪ Forma della cavità;
- ↪ Dimensione della cavità;
- ↪ Spessore della copertura al di sopra della cavità (ovvero profondità della cavità);
- ↪ Carichi agenti al piano campagna (es. riporti, edifici, strade, ...);
- ↪ Resistenza e comportamento meccanico del materiale in cui è ricavata la cavità;
- ↪ Studio di Risposta Sismica Locale di Livello 3 (Linee Guide ICMS).

Qualora ulteriori indizi di sussistenza di cavità vengano rilevati da studi di dettaglio in aree non perimetrare a rischio, resta l'obbligo di rimodulare il perimetro dell'area a rischio cavità; pertanto si raccomanda all'U.T.C. di predisporre un obbligo per i progettisti di effettuare comunicazione formale delle evidenze relative ad eventuali cavità riscontrate.



## **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.

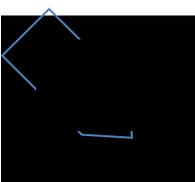
L'ignimbrite mostra una bassa permeabilità per porosità e fessurazione. Essa non dà luogo a manifestazioni sorgive di rilievo, né risulta particolarmente acquifera nei pozzi che l'impegnano. Solo la parte alta degli affioramenti e le zone superficiali alterate mostrano un discreto grado di permeabilità.

#### **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 rinvengono 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.

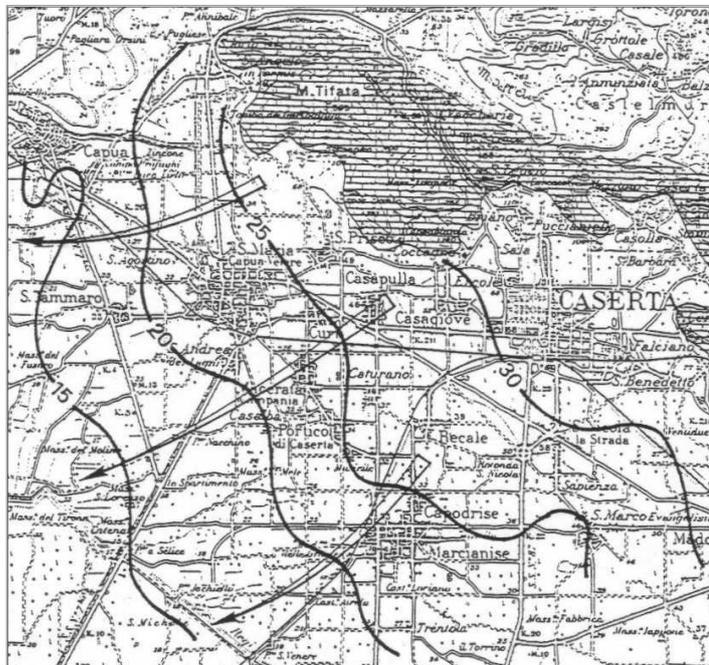


Fig. 9: Linee di deflusso e iso-piezometriche della Piana Campana nell'area interessata

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.

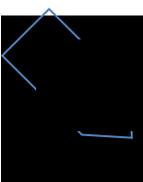
In alcune zone, altimetricamente più elevate, localmente è comunque possibile l'esistenza, a varie altezze (ed anche in superficie), di modestissime falde "sospese" sui livelli meno permeabili.

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 rinvencono 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 Volturmo 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 Volturmo 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 Volturmo. 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.



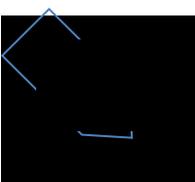
La salvaguardia della falda di pianura è quindi fondamentale per preservare gli equilibri idrogeologici di tutta l'area napoletana e casertana, con particolare riferimento ai massicci carbonatici dai quali traggono alimentazione alcuni tra i principali acquedotti campani.

#### **2.4.4 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, con un controllo nel mese di ottobre 2023 che non ha rilevato nessuna variazione significativa rispetto al 2018.

Se si osservano 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, dovuto all'assenza di prelievi significativi nell'area urbanizzata, 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.



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 1: Riepilogo delle misure del livello piezometrico (misure del 2018 verificate nel 2023)

## 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, aggiornati al 2023, 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 rinengono 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 rinengono 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 rinengono livelli argillosi di colore grigio blu, con qualche lente limo sabbiosa contenente fossili marini.*

Alcuni sondaggi hanno attraversato materiali di riporto (di origine antropica) per uno spessore medio di 4,50 m.

Si segnala che in alcuni sondaggi hanno incontrato cavità, libere o colme da materiali di risulta.

Inoltre, altri sondaggi hanno incontrato lenti tufacee che hanno uno spessore medio di circa 4,50 m. 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 nei sondaggi ad una quota di rinvenimento di circa 5-6,00 m dal p.c..

Queste risultanze sono perfettamente in linea con quanto presente in letteratura.

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 utilizzate e certificate sono presenti nella “*Carta dell’Ubicazione delle Prove in Sito*” in scala 1:5.000 (Tavola n. 4).



### **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. e D.P.S.H. con l'aggiunta di prove geotecniche di laboratorio su campioni prelevati ed infine delle prove sismiche HVSR. L'ubicazione delle prove in sito è riportata nella "*Carta dell'ubicazione delle Prove in Sito*" in scala 1/5000 (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 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) con attrezzatura standard.

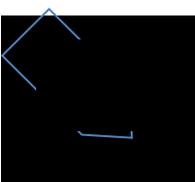
Detta attrezzatura è costituita da un campionatore Raymond a scarpa aperta o chiusa con diametro esterno di 50,8 mm, diametro interno di 34,9 mm, lunghezza totale di 711 mm con un angolo al vertice di 60°.

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.

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.

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.



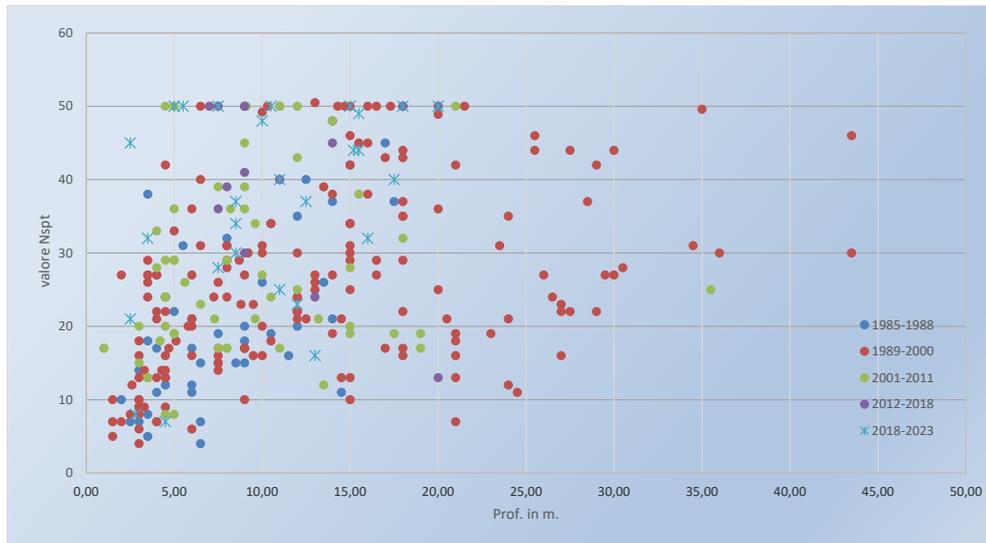
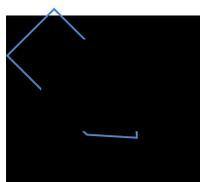


Fig. 10: *Variazione di  $N_{spt}$  con la profondità dati bibliografici e nuovi (2018-2023)*

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.



Sond.	SPT 1	SPT 2	SPT 3	SPT 4	SPT 5
1	3.50-3.95/ <b>32</b>	10.50-10.95/ <b>72</b>			
2.2	5.00-5.45/ <b>73</b>	15.00-15.45/ <b>66</b>			
3	2.00-2.45/ <b>20</b>	5.00-5.45/ <b>21</b>	11.00-11.45/ <b>74</b>	18.00-18.45/ <b>82</b>	
5	7.00-7.45/ <b>51</b>	9.00-9.45/ <b>52</b>			
6.1	5.00-5.45/ <b>29</b>	10.50-10.95/ <b>24</b>			
6.2	4.00-4.45/ <b>28</b>	12.00-12.45/ <b>43</b>			
7.1	8.20-8.65/ <b>36</b>	12.00-12.45/25	15.50-15.95/ <b>38</b>		
7.2	7.30-7.75/ <b>21</b>				
8	2.80-3.25/ <b>8</b>				
9	8.00-8.45/ <b>29</b>	11.50-11.95/ <b>39</b>	16.50-16.95/ <b>53</b>		
10	2.50-2.95/ <b>43</b>	5.50-5.95/ <b>92</b>	12.00-12.45/ <b>23</b>	15.50-15.95/ <b>49</b>	
11	15.00-15.45/ <b>44</b>	17.00-17.45/ <b>43</b>			
12	10.00-10.45/ <b>25</b>	13.00-13.45/ <b>16</b>			
13	5.00-5.45/ <b>23</b>	13.00-13.45/ <b>37</b>	20.50-20.95/ <b>45</b>		
14	2.50-2.95/ <b>22</b>	10.00-10.45/ <b>48</b>	12.50-12.95/ <b>35</b>	15.50-15.95/ <b>43</b>	
15	7.50-7.95/ <b>28</b>	8.50-8.95/ <b>30</b>			
16.1	8.00-8.45/ <b>20</b>	13.50-13.95/ <b>20</b>	21.50-21.95/ <b>28</b>		
16.2	7.20-7.65/ <b>28</b>	10.00-10.45/ <b>24</b>	19.00-19.45/ <b>41</b>		
16.3	7.20-7.65/ <b>28</b>	10.80-11.25/ <b>31</b>	18.00-18.45/ <b>27</b>		
17	5.00-5.45/ <b>46</b>	10.00-10.45/ <b>33</b>			
18	7.00-7.45/ <b>59</b>	11.00-11.45/ <b>63</b>	14.00-14.45/ <b>49</b>		
19	9.00-9.45/ <b>41</b>	14.00-14.45/ <b>45</b>	20.00-20.45/ <b>13</b>		
20	9.00-9.45/ <b>41</b>	14.00-14.45/ <b>45</b>	20.00-20.45/ <b>13</b>		
21	8.00-8.45/ <b>39</b>	13.00-13.45/ <b>24</b>			
22	7.50-7.95/ <b>50</b>	11.00-11.45/ <b>40</b>	15.00-15.45/ <b>32</b>	18.00-18.45/ <b>83</b>	20.00-20.45/ <b>Rif</b>
25	6.00-6.45/ <b>26</b>	9.00-9.45/ <b>28</b>	12.00-12.45/ <b>37</b>		
28	4.50-4.95/ <b>8</b>	9.10-9.55/ <b>Rif</b>	18.00-18.45/ <b>32</b>	21.00-21.45/ <b>Rif</b>	
29	5.00-5.45/ <b>57</b>	9.00-9.45/ <b>45</b>			
30	5.00-5.45/ <b>29</b>	11.00-11.45/ <b>&gt;100</b>	19.00-19.45/ <b>17</b>		
31	4.20-4.65/ <b>18</b>	9.60-10.05/ <b>21</b>			
32	4.50-4.95/ <b>29</b>	11.00-11.45/ <b>&gt;100</b>	19.00-19.45/ <b>19</b>		
33	5.00-5.45/ <b>29</b>	11.00-11.45/ <b>&gt;100</b>	19.00-19.45/ <b>17</b>		
34	4.20-4.65/ <b>18</b>	9.60-1.05/ <b>21</b>			
35	3.80-4.25/ <b>18</b>	7.30-7.75/ <b>21</b>	11.00-11.45/ <b>17</b>		
36	1.50-1.95/ <b>19</b>	3.50-3.95/ <b>21</b>	5.50-5.95/ <b>16</b>	8.00-8.45/ <b>12</b>	
37	2.50-2.95/ <b>15</b>	7.00-7.45/ <b>17</b>	12.00-12.45/ <b>72</b>		
38	1.00-1.45/ <b>17</b>	3.00-3.45/ <b>13</b>	5.00-5.45/ <b>19</b>	7.50-7.95/ <b>17</b>	
39	8.00-8.45/ <b>39</b>	13.00-13.45/ <b>24</b>			
40	5.60-6.05/ <b>26</b>	9.60-10.05/ <b>34</b>	13.20-13.65/ <b>21</b>		

Tab. 2: Elenco prove SPT significative

Tutte le prove sono presenti negli Allegati G3 e G5 contenenti le stratigrafie dei sondaggi presi in considerazione.

### 3.1.2 Prove Penetrometriche dinamiche DPSH

Sono allegate una serie di prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPHS, eseguite spesso in associazione con i sondaggi riportati nella Tavola 4 “Ubicazione delle prove in sito”, le cui caratteristiche tecniche vengono di seguito riportate:

Caratteristiche tecniche: TG 63-200 KN	
Peso massa battente M = 63,50 Kg	Altezza caduta libera H = 0,75 m
Lunghezza delle aste La = 1,00 m	Angolo apertura punta a = 60 °
Peso aste per metro Ma = 6,3 Kg	Avanzamento punta $\delta$ = 0,20 m

La prova penetrometrica dinamica consiste nell’infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un’immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

#### Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$



Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{SPT}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta $R_{pd}$

Formula degli Olandesi

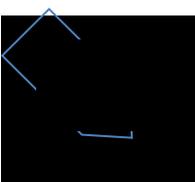
$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

$R_{pd}$	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

### Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

#### **ANGOLO DI ATTRITO**

- ↪ Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- ↪ Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- ↪ Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $s > 5$  t/mq.



- ↻ De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito  $< 38^\circ$  .
- ↻ Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof.  $> 2$  m e per valori di angolo di attrito  $< 38^\circ$ ).
- ↻ Schmertmann (1977) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi).
- ↻ Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova  $> 8$  m sopra falda e  $> 15$  m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- ↻ Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- ↻ Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof.  $> 8$  m sopra falda e  $> 15$  m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- ↻ Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo  $< 5\%$  a profondità  $< 5$  m e con (%) di limo  $> 5\%$  a profondità  $< 3$  m.
- ↻ Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Tutte le prove eseguite sono allegate alla presente indagine (Allegato G6).

I dati emersi confermano il quadro stratigrafico precedentemente descritto ed è in linea con i valori degli SPT e dei risultati delle prove di laboratorio allegate.

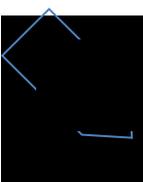
### **3.2 Prove Geotecniche di Laboratorio**

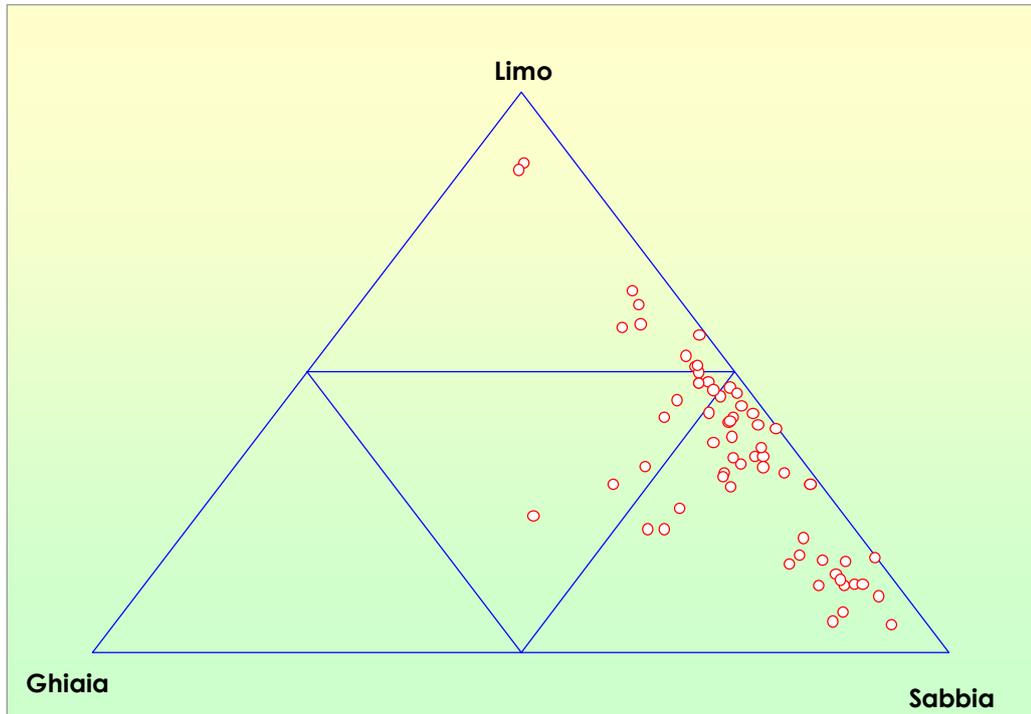
Le prove geotecniche di laboratorio reperite in bibliografia provengono da campioni indisturbati prelevati con campionatori a parete sottili di tipo Schelby durante sondaggi a carotaggio continuo.

In questo studio sono state riportate solo le prove più significative (20) realizzate per indagini commissionate dal Comune di Santa Maria Capua Vetere che confermano i valori attribuiti alle varie formazioni negli studi precedenti.

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

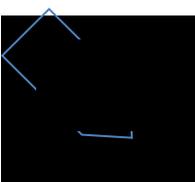
- a) caratteristiche fisiche generali;
- b) caratteristiche di resistenza a rottura.





*Fig. 11: 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.11).



Sito	Sond	Camp	Quota (m)	Unità di vol. kN/m <sup>3</sup>	Peso spec. kN/m <sup>3</sup>	Indic e dei vuoti %	Ang. d'attrito (°)	Coes c kPa	Eed 200 KPa MPa	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
1 - Scuola elementare S. Andrea	S1	C1	3,00	14,63	24,96	1,21	27,88	3,57	15,04	8,60	33,54	55,46	2,41
2 - Palazzetto dello sport	S1	C1	4,00	14,00	24,10	1,35	30,20	1,20		20,30	49,40	20,80	9,50
	S1	C2	8,00	15,10	25,80	1,34	30,60	0,70		23,60	49,30	21,40	5,70
5 - Via Albana	S1	C1	2,00	13,81	25,26	1,51	32,37	3,37		8,28	34,58	54,70	2,43
	S1	C2	5,00	13,99	25,37	1,63							
	S1	C3	8,00	13,13	24,96	1,37	33,78	4,23		15,88	48,69	33,89	1,54
	S1	C4	11,50	14,50	24,76	1,30	34,18	2,97		28,90	44,25	25,68	1,17
	S1	C5	15,00	17,69	24,93	0,92	32,17	2,37		25,04	39,09	34,34	1,53
	S2	C1	12,00	16,36	25,07	1,32				20,40	46,91	31,30	1,39
	S2	C2	15,00	17,56	24,87	0,94				17,34	50,51	30,76	1,40
17 - Cimitero	S1	C1	3,50	13,11	24,48	1,38	37,46	18,00		24,69	42,20	29,07	4,04
	S1	C2	8,50	12,23	19,43	1,54	35,33	16,23		9,88	43,30	46,48	0,34
18 - IACP	S1	C1	6,00	14,55	29,17	1,30	35,30	20,62		11,89	49,65	37,17	1,29
19 - Via Melorio	S3	C1	4,00	15,88	27,32	1,03	35,32	20,63		7,40	46,32	39,87	6,41
	S3	C2	8,50	13,74	35,38	1,56	36,81	20,11		9,48	53,98	36,33	0,21
27 - Ist. Mazzocchi - S. Andrea	S1	C1	10,50	13,21	25,69	1,46	31,41	14,68		7,79	51,64	40,57	
	S2	C1	8,50	14,32	33,18	1,40	31,74	8,99		6,59	36,74	56,67	
34 - Scuola Uccella	S1	C1	2,00	17,60	26,30	0,85			8,49	19,61	41,64	38,75	
	S1	C2	7,00	16,30	25,40	0,86				11,20	35,82	52,98	
	S2	C1	4,00	11,60	24,80	1,42				21,48	43,79	34,78	
	S2	C2	8,50	15,00	25,20	0,96	34,40	6,00		14,25	36,92	48,84	

Tab. 3: Dati geotecnici dei campioni indisturbati significativi

In genere i terreni investigati presentano un peso dell'unità di volume variabile in funzione dello stato di addensamento. I valori sono compresi tra 11,60 e 17,69 kN/m<sup>3</sup>. valori caratteristici della formazione piroclastica così come si rileva dalla bibliografia precedente.

Il peso specifico presenta un andamento relativamente omogeneo in quanto l'origine genetica dei materiali è simile.

Per l'indice dei vuoti i valori variano da 0,85 a 1,63.

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 rotture, sono verificate dalle prove di taglio diretto, dove si individuano due classi di valori, quelli vicini a 30° appartenenti ai materiali rimaneggiati o più sottili granulometricamente, e quelli superiori a 33° che sono attribuiti ai materiali più grossolani o talvolta debolmente cementati. I valori misurati variano da un minimo di 27,88° ad un massimo di 37,46°, che rappresenta una variazione discreta chiaramente legata ad una cementazione apparente di alcuni materiali.

La distribuzione dei valori dell'angolo di attrito ( $\varphi$ ) 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. 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.

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, valori a rottura medi di 3.600 Mpa come descritto in bibliografia.

I certificati delle prove di laboratorio prese in considerazione sono presenti nell'Allegato G4.

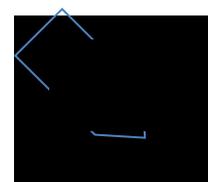
### 3.3 Caratterizzazione degli orizzonti litologici

Si riporta qui di seguito una serie di dati geotecnici per i vari orizzonti presenti nelle piroclastiti delle aree investigate, specificando per ognuno i valori medi di 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	14,79	25,25	1,24	30,90	8,31	14,66	177,34



### **Orizzonte di tipo B dopo i primi 3 m dal p.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	14,39	26,03	1,27	33,61	14,15	34,75	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.

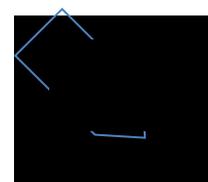
	<b>Unità di volume</b> kN/mc	<b>Peso specifico</b> kN/mc	<b>Indice dei vuoti</b>	<b>Ang. d'attrito</b> (°)	<b>Coesione c</b> Mpa	<b>N Spt</b>	<b>Velocità Vs</b> (m/s)
Valore medio	14,80	26,30	1,28	33,38	8,48	40,89	458,00

## **3.4 Misure H.V.S.R. (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio*)**

Come accennato in premessa, sono state eseguite n° 10 misure HVSR ex novo all'interno del territorio comunale di Santa Maria Capua Vetere (CE).

La misura HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una tecnica sismica passiva a stazione singola (originariamente proposta da Y. Nakamura), finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito a partire dalla registrazione delle vibrazioni in un suo punto. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche senza terremoti ed è il principio alla



base della sismica passiva a stazione singola. La tecnica dei rapporti spettrali è totalmente non invasiva, molto rapida e si può applicare ovunque; non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimento di cavi né di energizzazione esterna diversa dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

In sintesi la suddetta tecnica prevede:

- ✓ l'acquisizione delle vibrazioni attraverso una terna ortogonale di sensori velocimetrici (geofoni) per un tempo sufficientemente lungo (tipicamente alcuni minuti);
- ✓ la trasformazione dei segnali nel dominio delle frequenze per ciascuna delle tre componenti (X, Y e Z);
- ✓ il calcolo del rapporto tra gli spettri di potenza delle componenti orizzontali (H) e quello della componente verticale (V);
- ✓ l'individuazione della frequenza di vibrazione  $f_0$  in corrispondenza della quale il suddetto rapporto presenta un picco significativo.

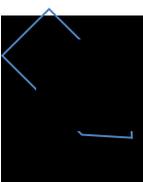
Il rapporto tra le componenti orizzontali (H) del moto del suolo e quelle verticali (V), da cui H/V (o HVSR), mette in luce la *frequenza di risonanza di un terreno*.

La risonanza è dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica. La frequenza fondamentale di risonanza  $f$  del terreno dipende dallo spessore H del terreno stesso e dalla velocità media V delle onde che lo attraversano. Dunque, conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità media delle onde S e viceversa conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore dello strato di copertura.

In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido) è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la frequenza di risonanza e lo spessore dello strato soffice; questa relazione è regolata dall'equazione seguente:

$$f = V_s / 4H$$

dove  $V_s$  è la velocità media delle onde S dello strato di copertura (sedimento), ed H è lo spessore dello strato di copertura. Emerge quindi che la tecnica H/V può fornire indicazioni di carattere stratigrafico: nota la  $V_s$  delle coperture si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e viceversa.



A tal proposito sono stati prodotti degli abachi preliminari per:

1. Stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati;
2. Valutare qualitativamente l'entità di questo contrasto.

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti con il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e orientare le indagini successive.

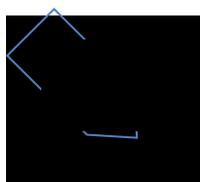
La *frequenza caratteristica di risonanza di sito* rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare determinate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare l'effetto di "doppia risonanza" che è estremamente pericoloso per la stabilità delle stesse.

$f_0$ (Hz)	$h$ (m)	
< 1	> 100	<b>Centinaia di metri</b>
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	<b>Decine di metri</b>
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	<b>Qualche metro</b>

**H/V >3 Alto contrasto**  
**2<H/V<3 Basso Contrasto**

Fig. 12: Correlazione tra frequenze (Hz) e Spessori (m)

Per l'acquisizione di dati HVSR è stato utilizzato il sismografo **Vibralog** della M.A.E., con risoluzione 24 bit e 3 canali e a cui si collega un sensore da superficie costituito da un unico contenitore con integrati una terna di geofoni con una frequenza di 2Hz. La



suddetta terna è composta da due geofoni orizzontali perpendicolari tra loro ed uno verticale che hanno la stessa risposta/sensibilità in termini di ampiezza.

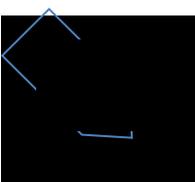


*Fig. 13: Sismografo Vibralog*

Di seguito sono riassunte le Specifiche tecniche del sismografo **Vibralog**:

- ❖ Geofoni con frequenza da 2 Hz
- ❖ Componente verticale n.1
- ❖ Componenti orizzontali n.2
- ❖ Sfasamento delle componenti orizzontali: 90 gradi
- ❖ Frequenza naturale: 2 – 0,75 Hz
- ❖ Resistenza della bobina a 25°C +/- 5%: 380  $\Omega$
- ❖ Sensibilità tensione a 3810 Ohm +/- 10%: 2V/ in /sec
- ❖ Massa +/- 5%: 23 g
- ❖ Messa in piano per mezzo di piedini con ghiera di regolazione e bolla di livello
- ❖ Contenitore: alluminio
- ❖ Dimensioni: diametro 140 mm, altezza 100 mm
- ❖ Peso: 4 Kg

Durante l'esecuzione della prova il sensore è stato orientato verso in nord geografico per una convenzione di campagna ed in modo da valutare eventuali direzionalità del segnale; è stato messo in bolla per garantirne l'equilibrio durante la fase di acquisizione ed impedire qualsiasi eventuale vibrazione e/o movimento che avrebbe potuto inficiare la registrazione.



L'accoppiamento sensore-terreno è garantito dall'infissione di particolari ed appositi "piedini" che ne assicurano la stabilità; inoltre il cavo di collegamento tra sensore e la centralina di registrazione è stato "fissato" in modo da evitare che potesse subire movimenti e/o sollecitazioni anche lievi dovuti all'effetto del vento e/o di vibrazioni artificiali provenienti dalle zone circostanti.

La registrazione ha avuto durata di 30 minuti, per garantire la rilevazione di un numero significativo di sorgenti ed ottenere una misura affidabile e rappresentativa.

Il file registrato è composto da tre tracce di cui la prima viene attribuita al sensore della componente verticale (Z), mentre la seconda e la terza rispettivamente alla componente orizzontale orientata ad Est (X) e a quella orientata a Nord (Y).

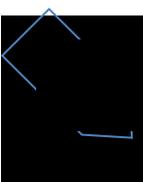
A partire dalle suddette tracce sismiche si procede con l'individuazione di un numero sufficiente di finestre temporali che risultino quanto più rappresentative dell'analisi HVSR.

I criteri principali per la selezione di tali finestre sono due:

- ✓ la durata, che deve essere tale da garantire che in ognuna di esse siano presenti almeno dieci periodi della frequenza di picco  $f_0$  (primo criterio di affidabilità secondo SESAME);
- ✓ l'assenza al loro interno di eventi transitori (condizioni del suolo, vento, pioggia, macchine, etc.), dovuti a sorgenti locali.

In condizioni normali le 3 componenti spettrali hanno ampiezze simili, mentre alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma ad "occhio"; le componenti orizzontali devono viaggiare quasi sempre parallelamente, mentre quella verticale si distacca da queste ultime solo in corrispondenza dei picchi.

Il risultato dell'interpretazione e dell'elaborazione della registrazione è un valore di frequenza  $f_0$  di picco associata a dei criteri di affidabilità; più precisamente il progetto SESAME ha stabilito una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V: si tratta di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare per le quali sono necessarie ulteriori indagini.



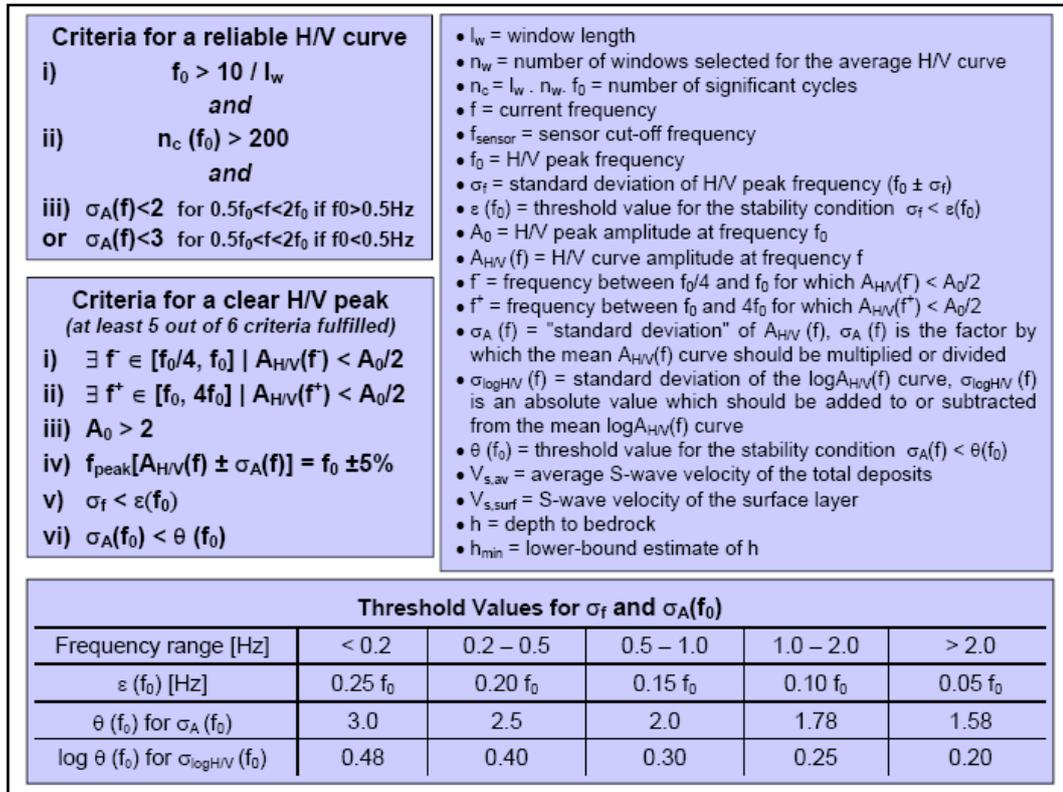


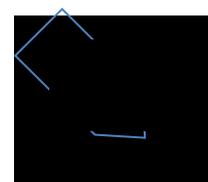
Fig. 14: Criteri di affidabilità in base al progetto SESAME

### 3.4.1 Esame dei risultati

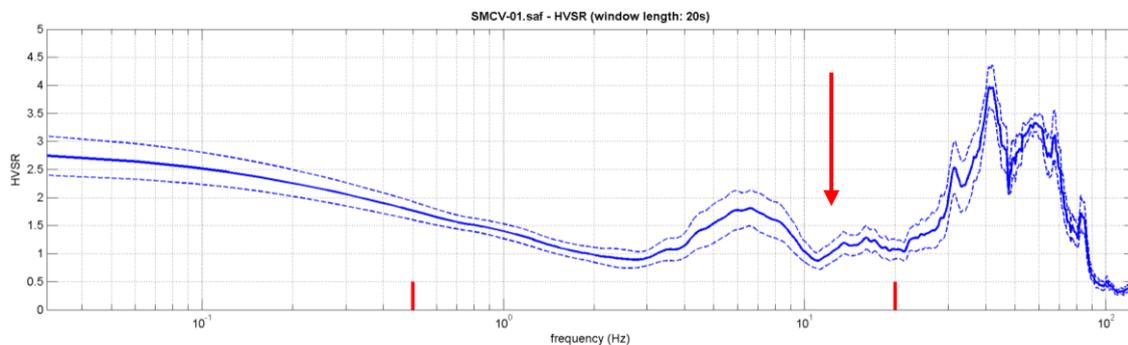
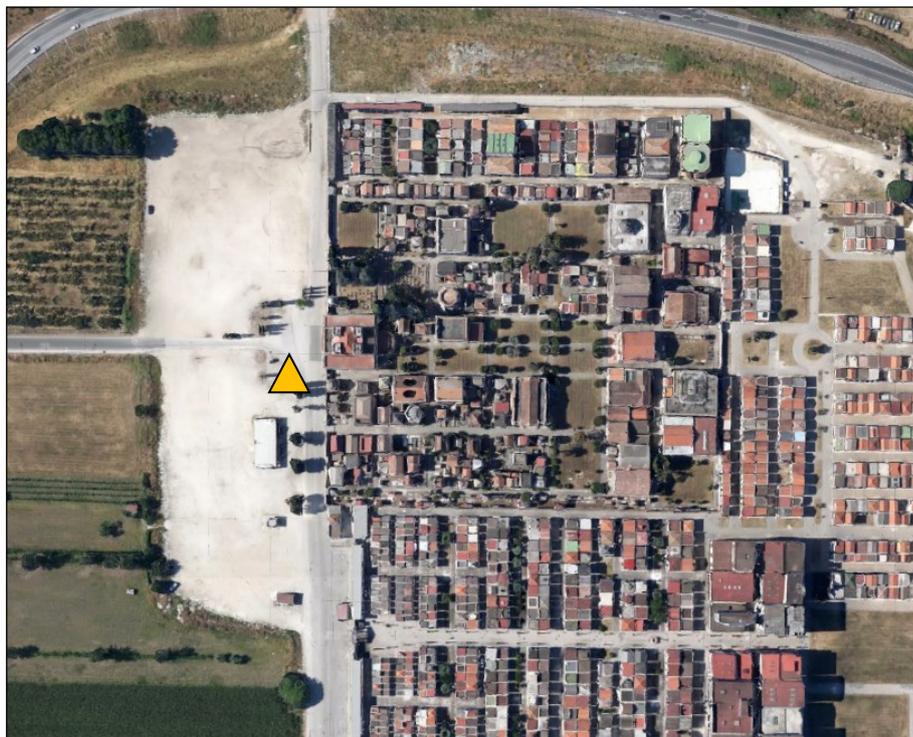
Dall'elaborazione dei dati (con i software *winMasw 3C 6.0* e *Geopsy*) sono stati ricavati i seguenti valori di frequenza fondamentale ( $f_0$ ):

PROVA	LOCALITÀ	FREQUENZA DI PICCO (HZ)
HV-1	Cimitero	6,6
HV-2	Via Vittorio Emanuele II	5,8
HV-3	Via Giotto	0,9
HV-4	Largo Torre di Sant'Erasmus	6,4
HV-5	SS. 7 Via Caserta	0,9
HV-6	Via Generale Giosuè Ritucci	1,0
HV-7	Via San Secondino	13,0
HV-8	Via Cardamone	14,3
HV-9	Via Piro	14,0
HV-10	Trav. Via Napoli SS. 7 bis	8,7

Tab. 4: Frequenza di Picco delle prove HVSR eseguite (2023)



## HV-1

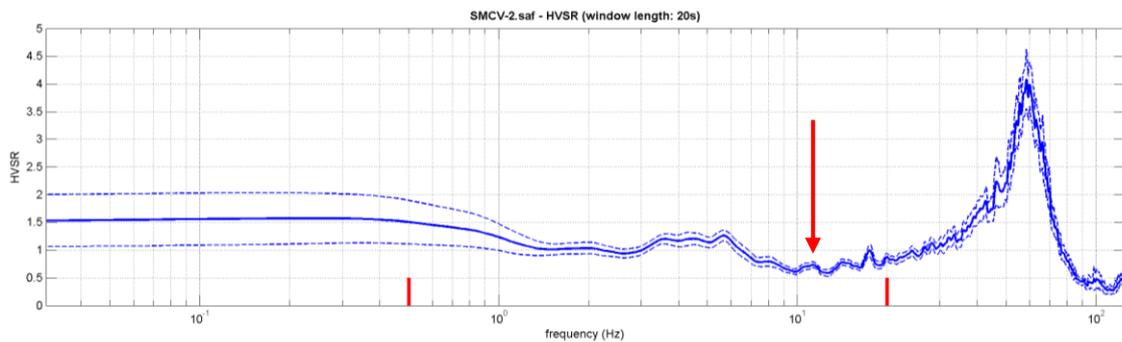


**Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 6,6 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la presenza di un contrasto di impedenza, presumibilmente legato ad un passaggio litologico, come la presenza del tetto del tufo, posto a circa 12-15 metri di profondità dal piano campagna.



## HV-2

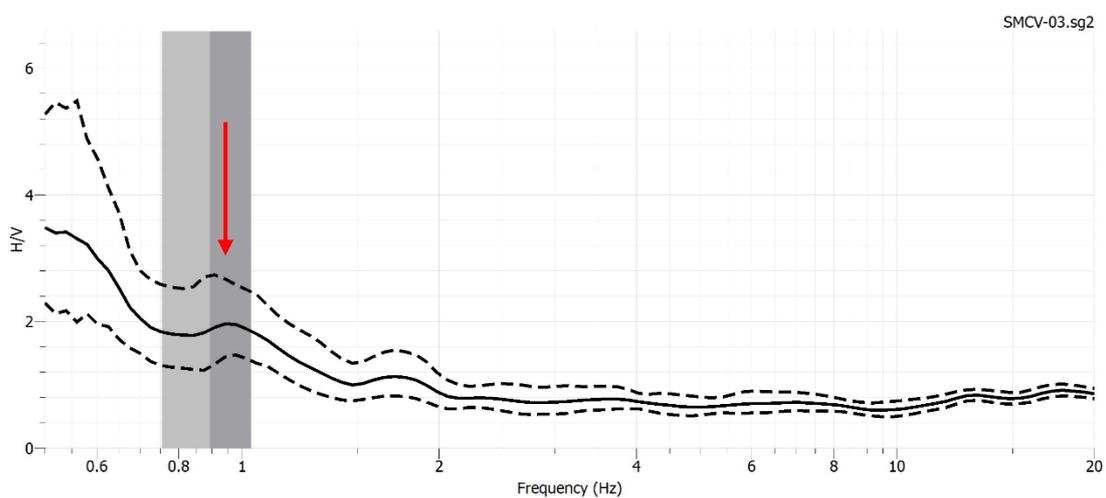
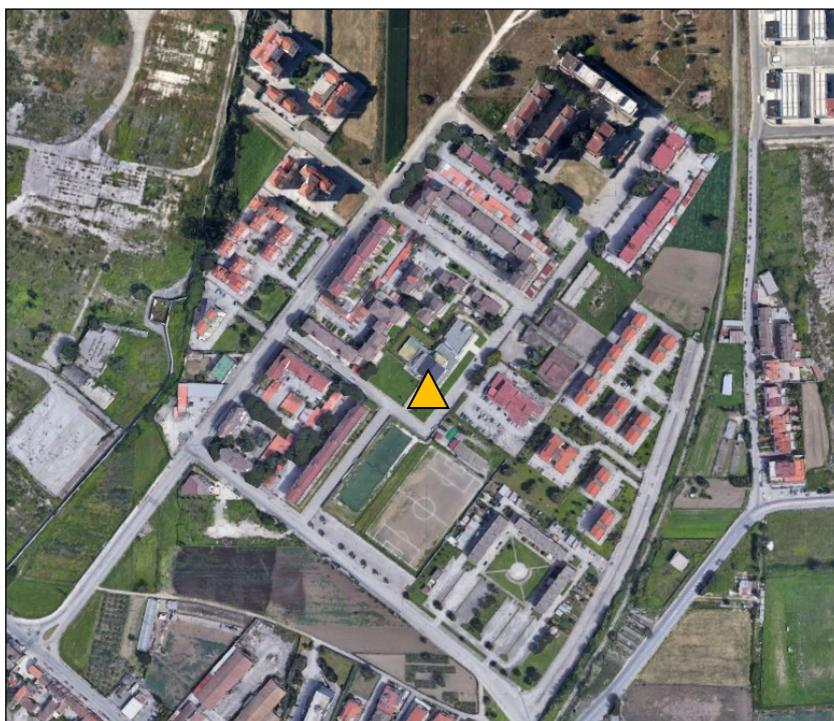


**Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 5,8 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la presenza di un contrasto di impedenza, presumibilmente legato ad un passaggio litologico, come la presenza del tetto del tufo, posto a circa 15-18 metri di profondità dal piano campagna.



### HV-3

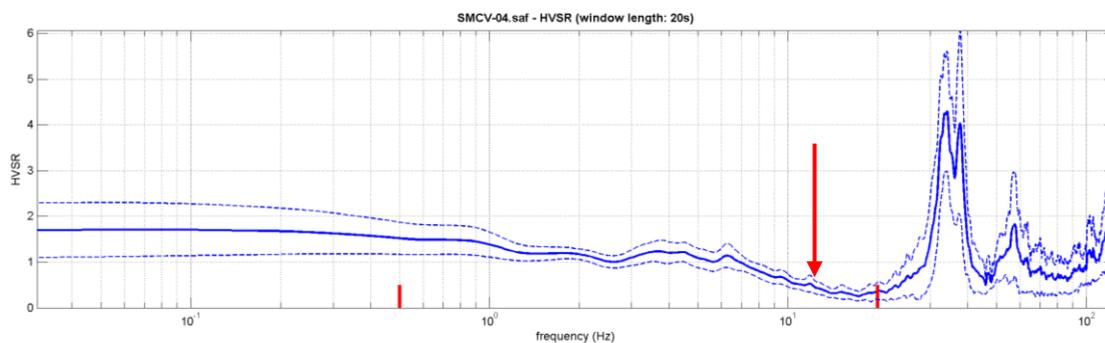
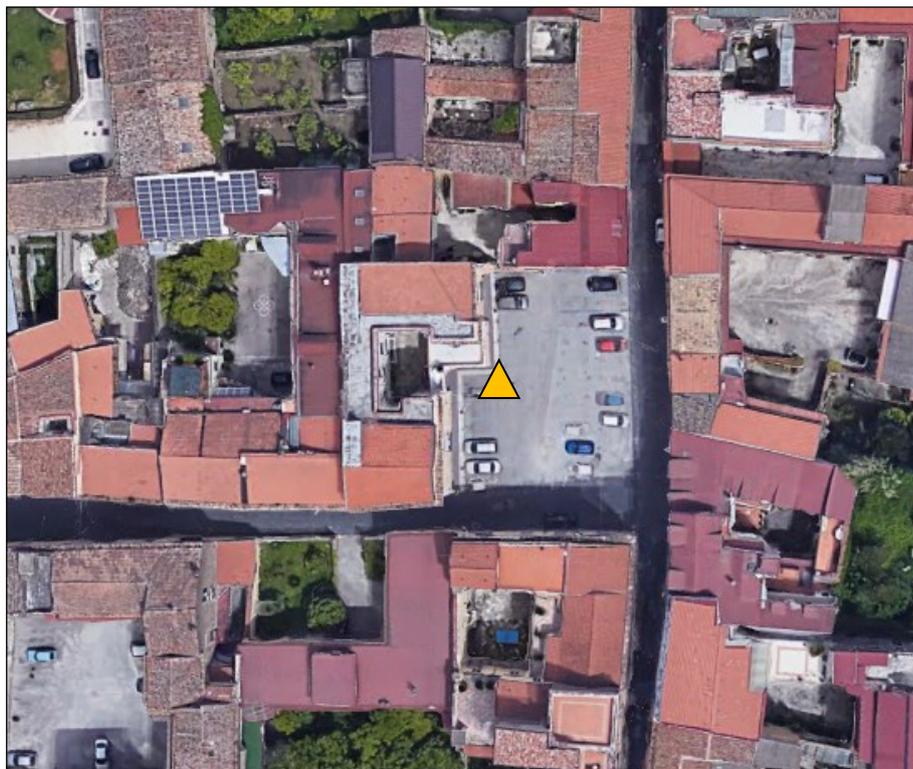


**Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 0,9 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 100 metri dal piano di campagna.



### HV-4

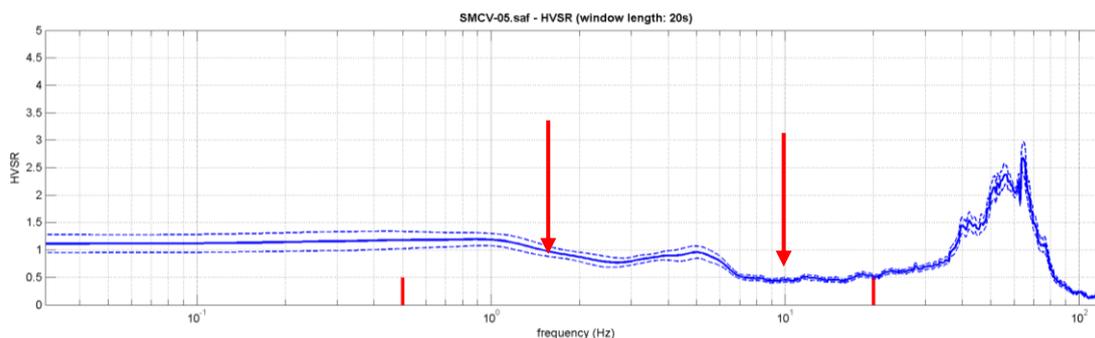


**Picco di Frequenza (Fo) = 6,4 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la presenza di un contrasto di impedenza, presumibilmente legato ad un passaggio litologico, come la presenza del tetto del tufo, posto a circa 12-15 metri di profondità dal piano campagna.



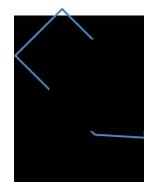
## HV-5



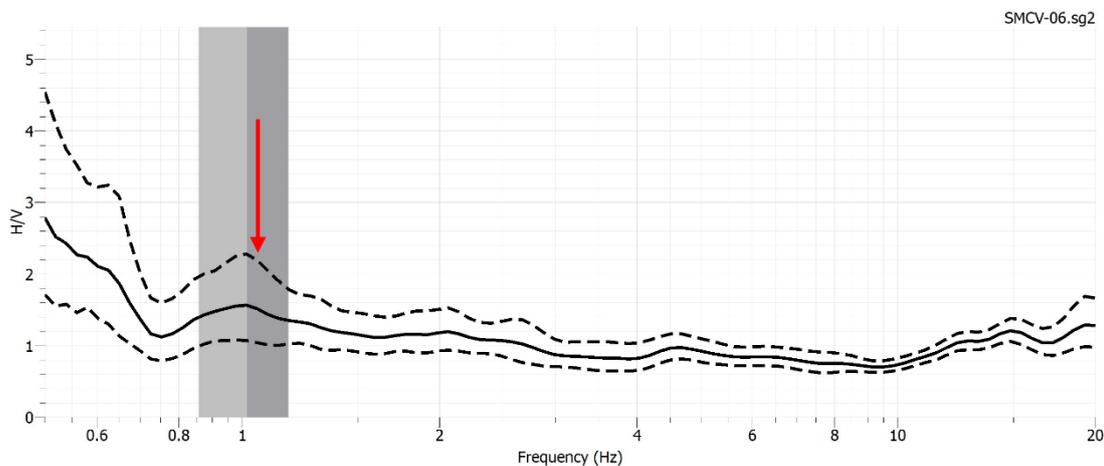
**Picco di Frequenza Principale (Fo) = 0,9 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario (Fo) = 5,0 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati un picco di frequenza principale che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di circa 100 metri dal piano di campagna, ed un picco secondario, posto alla profondità di circa 20 metri dal p.c., che indicherebbe un contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento, come la presenza del tufo.



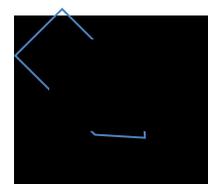
### HV-6

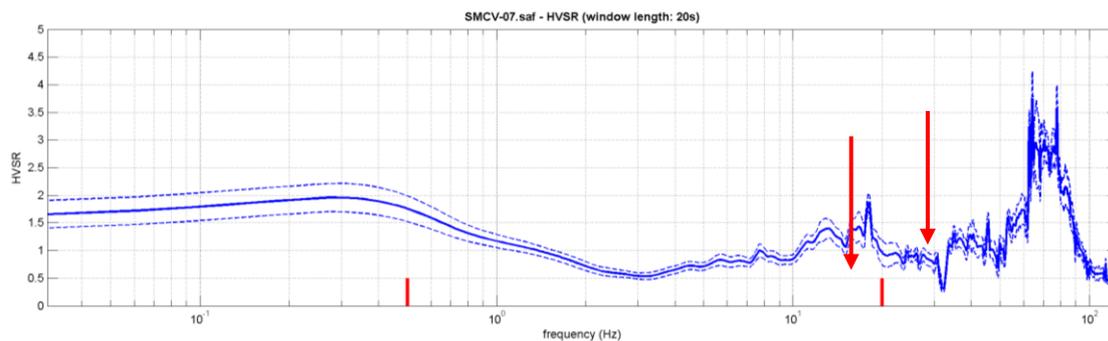


**Picco di Frequenza ( $F_0$ ) = 1,0 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la profondità del bedrock sismico, posto alla profondità di 100 metri dal piano di campagna.

### HV-7

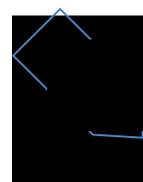




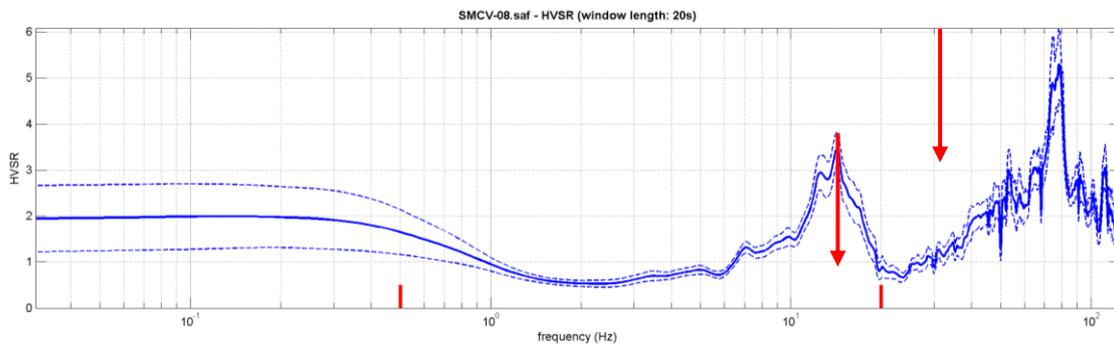
**Picco di Frequenza Principale ( $F_0$ ) = 13,0 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario ( $F_0$ ) = 7,7 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati due picchi di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbero contrasti di impedenza dovuti a passaggi tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento, come la presenza del tufo, posti rispettivamente a 5-10 metri dal piano campagna (picco principale) ed a circa 10 metri dal piano campagna (picco secondario).



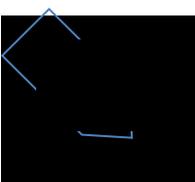
## HV-8



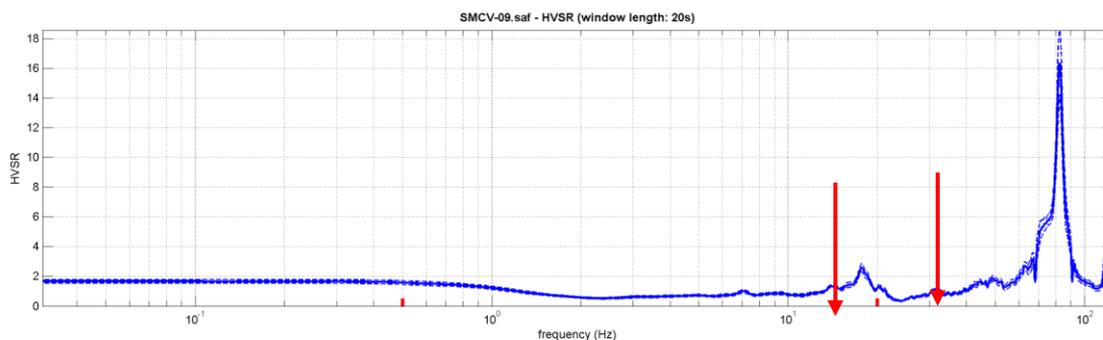
**Picco di Frequenza Principale ( $F_0$ ) = 14,3 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario ( $F_0$ ) = 7,1 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati due picchi di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbero contrasti di impedenza dovuti a passaggi tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento, come la presenza del tufo, posti rispettivamente a 5-10 metri dal piano campagna (picco principale) ed a circa 10 metri dal piano campagna (picco secondario).



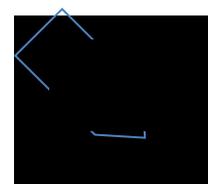
### HV-9



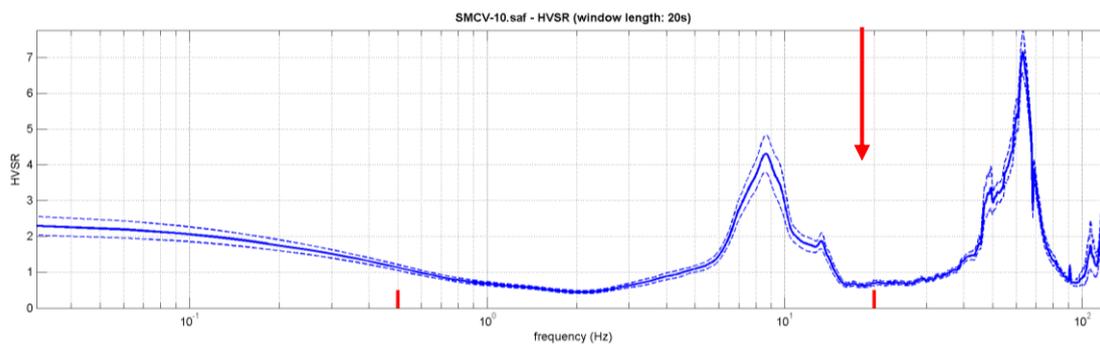
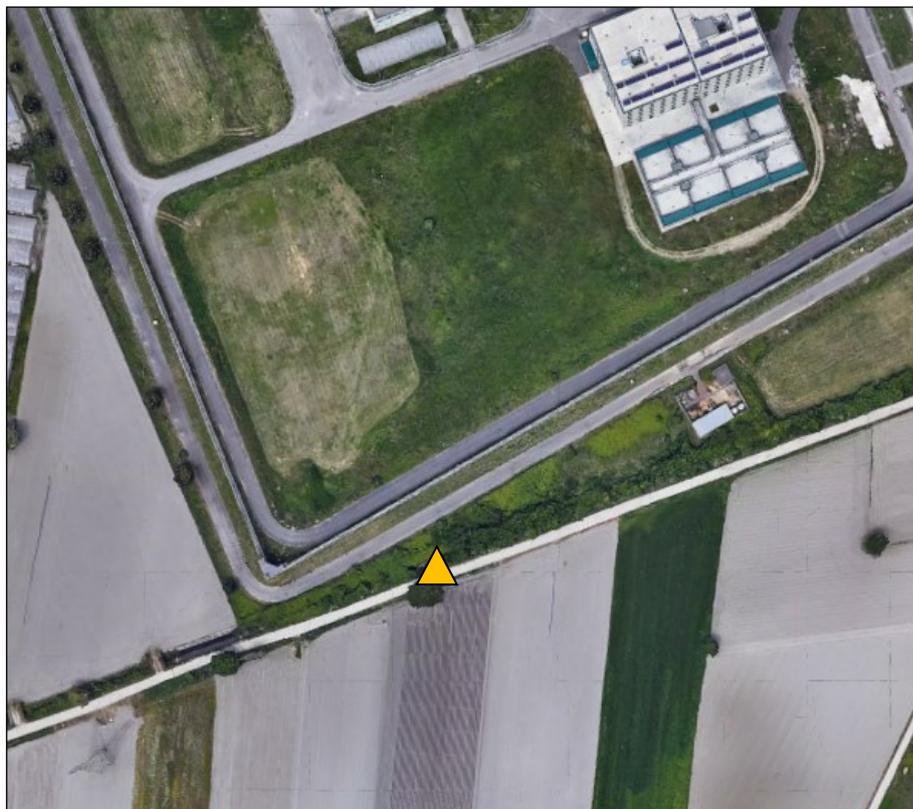
**Picco di Frequenza Principale (Fo) = 14,0 Hz**

**Picco di Frequenza Secondario (Fo) = 7,0 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, sono stati individuati due picchi di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbero contrasti di impedenza dovuti a passaggi tra depositi a differente litologia, grado di consistenza e addensamento, come la presenza del tufo, posti rispettivamente a 5-10 metri dal piano campagna (picco principale) ed a circa 10 metri dal piano campagna (picco secondario).



### HV-10

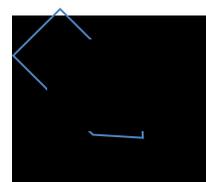


**Picco di Frequenza (Fo) = 8,7 Hz**

Come si evince dal grafico sopra riportato, è stato individuato un picco di frequenza che, rifacendosi agli abachi di riferimento citati in precedenza, indicherebbe la presenza di un contrasto di impedenza, presumibilmente legato ad un passaggio litologico, come la presenza del tetto del tufo, posto a circa 10 metri di profondità dal piano campagna.



Nell'Allegato G9 "Elaborati HVSR 2023", si restituiscono i rapporti tecnici generati dalle elaborazioni delle prove, nei quali sono riportati le tracce e lo spettro di frequenza delle tre componenti ed infine il grafico della curva H/V; si riporta inoltre, per ognuna delle prove, la relativa documentazione fotografica.



## 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.

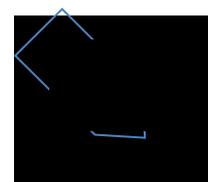
Dalla raccolta e classificazione sistematica di eventi sismici sono nati i primi cataloghi dei terremoti. La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI (Gdl, CPTI, 1999), detta CTPI2, aggiornata al 2002, è stata realizzata utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali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

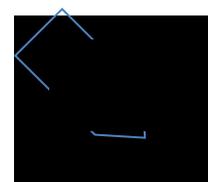
$$c = (S - 2) / 100$$

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 collassare.**

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**).

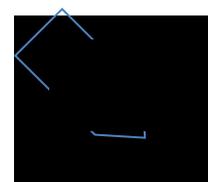
Zona Sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (norme tecniche)
1	Maggiore di 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	Minore di 0,05	0,05

*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.15), affidando alle Regioni l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche sulla base dei criteri generali dell'Allegato 1.

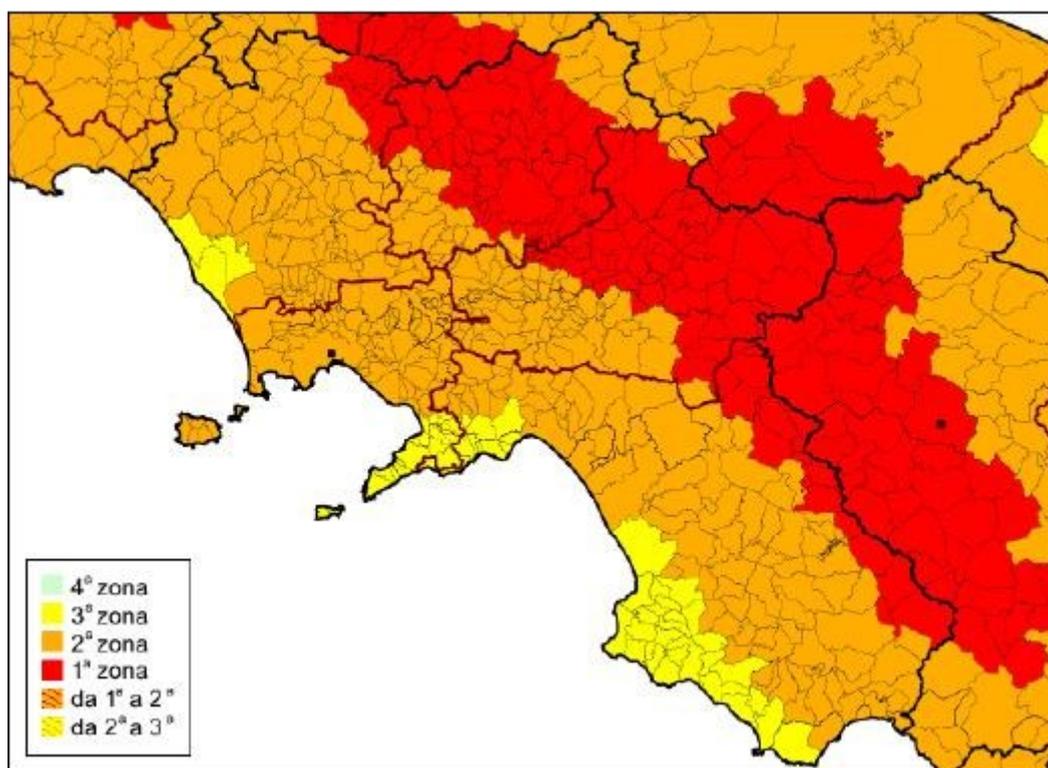
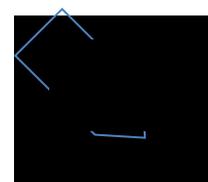


Fig. 15: Zone sismiche della regione Campania (2003). Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003

In seguito all'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 è stata realizzata anche una mappa di pericolosità sismica (Fig.16), 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.



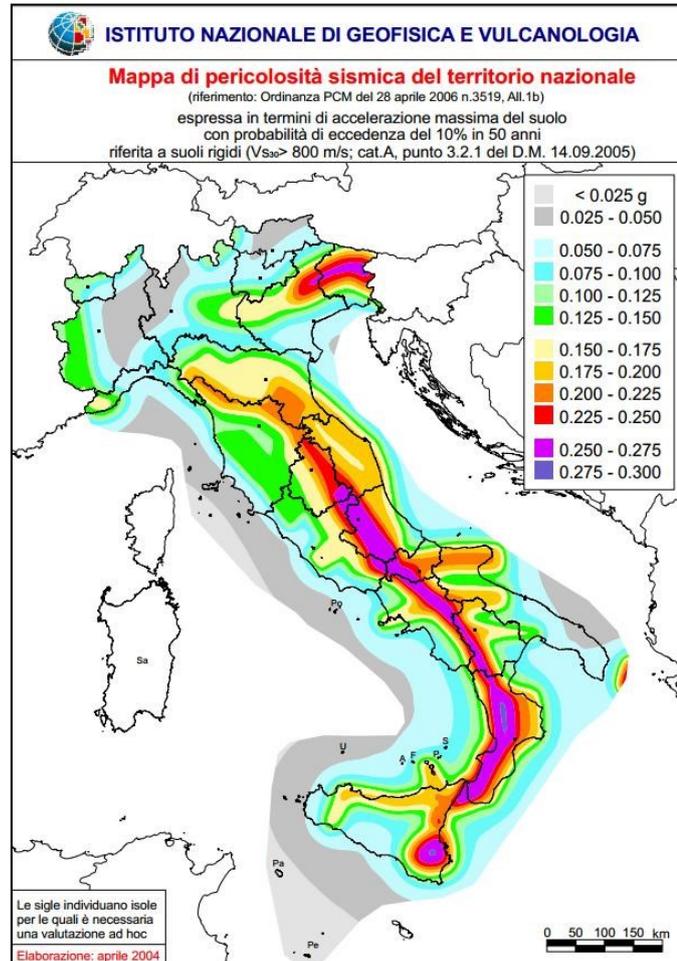


Fig.16: Mappa di pericolosità sismica (INGV,2004)

#### 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.17).

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.

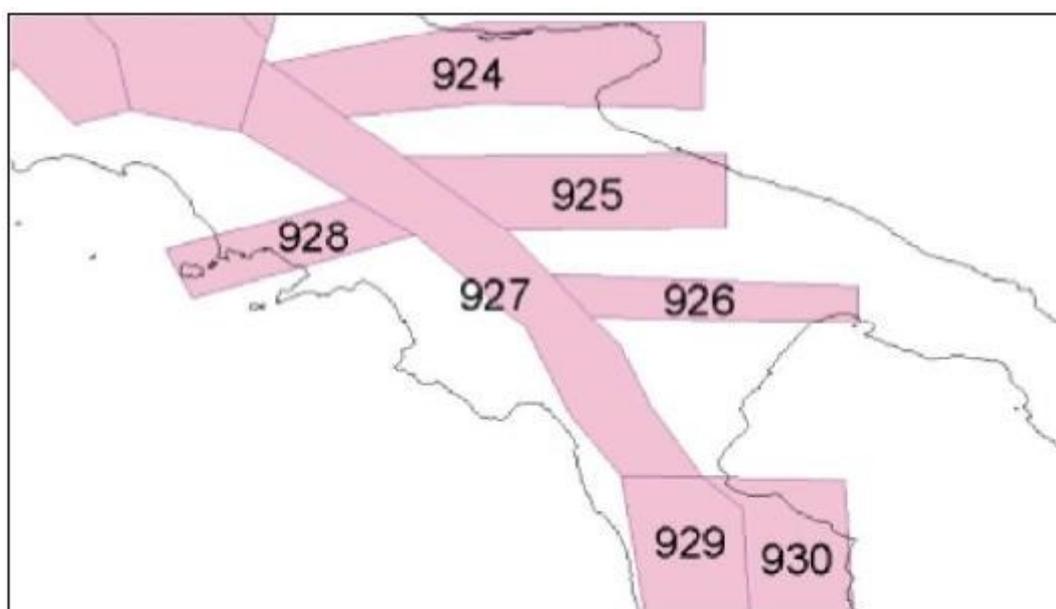


Fig. 17: Zonazione Sismogenetica ZS9 dell'Appennino Meridionale

#### 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.



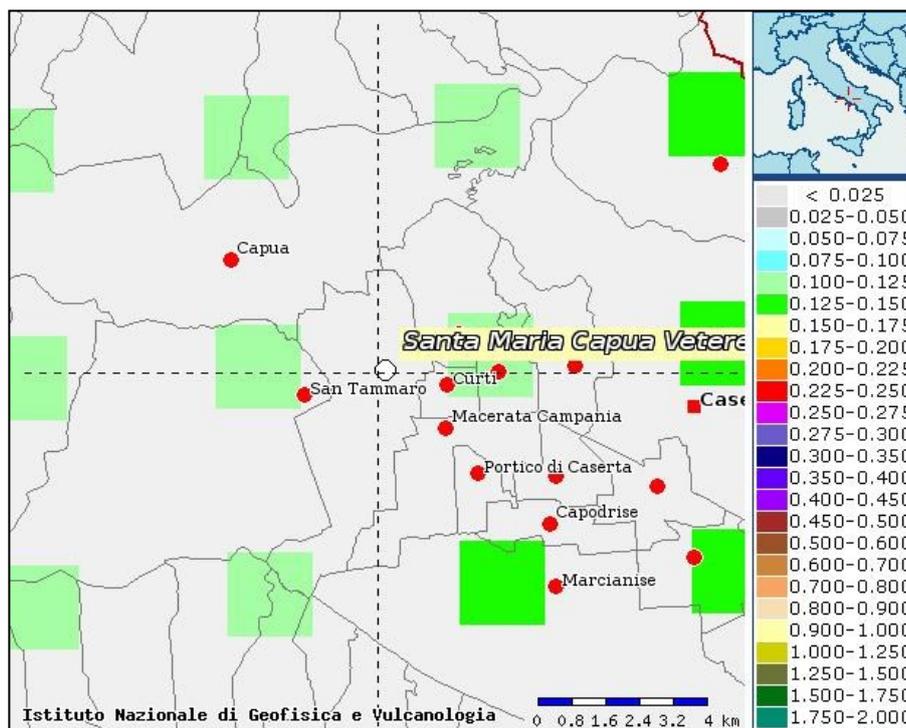


Fig.18: Mappa di pericolosità sismica secondo le N.T.C.

In riferimento alla mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica derivante dal progetto S1 dell'INGV (Fig. 18), 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 Sismica

### 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 Criteri e metodologia di microzonazione

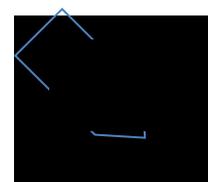
Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della risposta sismica locale (RSL) mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo 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	$S_T$
T1	---	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media $\leq 30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media $> 30^\circ$	1,4

Tab. 7: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografico  $S_T$



Nell'Amplificazione Stratigrafica per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_S$  e  $S_C$  valgono 1. Per le categorie B, C, D i coefficienti  $S_S$  e  $S_C$  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  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  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. 8: 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:

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

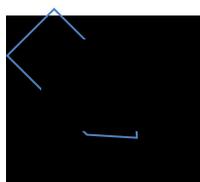
dove:

$h_i$  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
A	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	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.
C	Depositi 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.
D	Depositi 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.
E	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. 9: 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.

### 4.6.3 Valutazione del potenziale di Liquefazione

In base all'art. 7.11.3.4.2 delle NTC 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero)  $< 0,1g$ ;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c., per piano di campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una



tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura che segue nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  (grafico 1) e per coefficienti di uniformità  $U_c > 3,5$  (grafico 2).

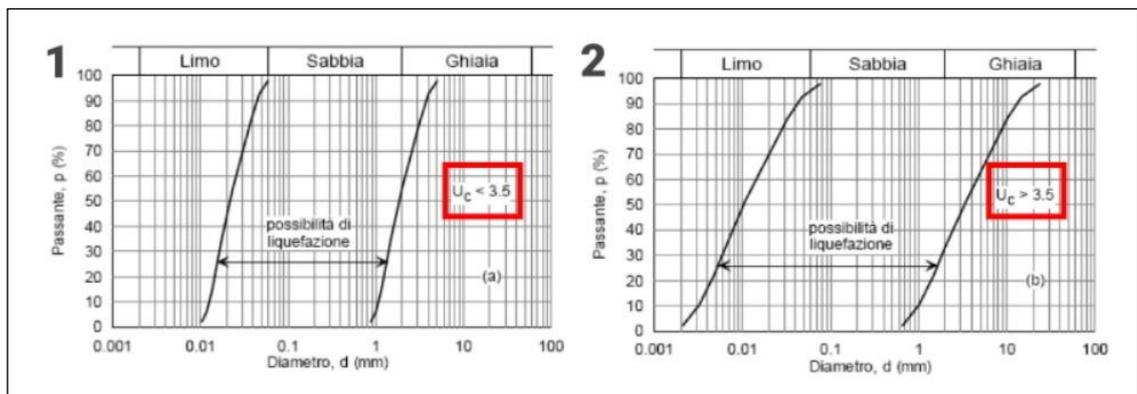


Fig. 19: Fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso. I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti.

Come si evince dalla tabella riepilogativa riportante i risultati delle prove di laboratorio effettuate, le analisi granulometriche dei campioni indisturbati prelevati nel corso delle perforazioni eseguite, hanno classificato i materiali come di seguito specificato:

Sito	Sond	Camp	Quota (m)	Definizione Granulometrica AGI
1 - Scuola elementare S. Andrea	S1	C1	3,00	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
2 - Palazzetto dello sport	S1	C1	4,00	Sabbia limosa e ghiaiosa debolmente argillosa
	S1	C2	8,00	Sabbia ghiaiosa e limosa debolmente argillosa
5 - Via Albana	S1	C1	2,00	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
	S1	C3	8,00	Sabbia con limo ghiaiosa
	S1	C4	11,50	Sabbia con ghiaia con limo
	S1	C5	15,00	Sabbia con limo con ghiaia
	S2	C1	12,00	Sabbia con limo ghiaiosa
	S2	C2	15,00	Sabbia con limo ghiaiosa
	17 - Cimitero	S1	C1	3,50
S1		C2	8,50	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
18 - IACP	S1	C1	6,00	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
19 - Via Melorio	S3	C1	4,00	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa argillosa
	S3	C2	8,50	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa
27 - Ist. Mazzocchi - S. Andrea	S1	C1	10,50	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa
	S2	C1	8,50	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
34 - Scuola Uccella	S1	C1	2,00	Sabbia con limo ghiaiosa
	S1	C2	7,00	Limo con sabbia debolmente ghiaioso
	S2	C1	4,00	Sabbia con limo ghiaiosa
	S2	C2	8,50	Limo con sabbia debolmente ghiaioso

*Tabella 10: Granulometrie dei campioni esaminati*

Come si evince dalla tabella 10 sopra riportata la maggior parte dei materiali investigati è composto da sabbie con varie percentuali di limo e ghiaie.

La falda idrica è posta nella maggior parte del territorio comunale ad una profondità inferiore ai 15 metri dal piano campagna.

Pertanto, si è proceduto all'esecuzione di **verifiche analitiche** del potenziale rischio di liquefazione per i terreni di sedime, in un numero adeguato e significativo (16), in relazione allo schema rappresentativo del sottosuolo e a prove SPT eseguite nei sondaggi allegati.

Dai risultati di tali verifiche presenti nell'Allegato G7 "Verifiche Analitiche della suscettibilità alla Liquefazione", è emerso che per tutte le verifiche analitiche effettuate, i risultati escludono, tranne in un caso, la liquefazione dei materiali in condizioni sismiche.

Sond	Ubicazione	Falda dal PC in m	Prof. Prova	N Spt	FS=R/T	FS>1,3
1	Via Gagliardi	8,00	10,50	72	3,48	Non liquefacibile
2.2	Via Roma	10,50	15,00	66	3,34	Non liquefacibile
3	Comprensorio C1 Nord	7,00	11,00	74	3,25	Non liquefacibile
5	Via S. Francesco d'Assisi	8,00	9,00	52	3,87	Non liquefacibile
6.1	Via Napoli	7,50	10,50	24	1,89	Non liquefacibile
6.2	Via Napoli	7,50	12,00	43	2,77	Non liquefacibile
7.1	Via Madonna delle Grazie	14,00	15,50	38	2,59	Non liquefacibile
10	Vico Albana, 3	14,00	15,50	49	3,16	Non liquefacibile
14	Corso Aldo Moro, 53	13,00	15,50	43	2,79	Non liquefacibile
17	Via del Lavoro	8,00	10,00	33	2,55	Non liquefacibile
18	Cimitero	13,00	14,00	49	3,29	Non liquefacibile
22	Via degli Orti	13,75	15,00	32	2,31	Non liquefacibile
25	via S.S BIS km 7+300	2,00	6,00	28	1,59	Non liquefacibile
25	via S.S BIS km 7+300	2,00	9,00	37	1,79	Non liquefacibile
28	via S.S BIS km 7+301	1,50	4,50	8	0,79	Liquefacibile
28	via S.S BIS km 7+301	1,50	9,10	50	2,47	Non liquefacibile
30	P.I.P. S. Andrea	3,00	5,00	29	2,56	Non liquefacibile
30	P.I.P. S. Andrea	3,00	11,00	50	2,61	Non liquefacibile
31	P.I.P. S. Andrea	3,00	4,20	18	1,95	Non liquefacibile
31	P.I.P. S. Andrea	3,00	9,60	21	1,35	Non liquefacibile
32	P.I.P. S. Andrea	3,00	4,50	29	2,75	Non liquefacibile
32	P.I.P. S. Andrea	3,00	11,00	50	2,62	Non liquefacibile
33	P.I.P. S. Andrea	3,00	5,00	29	2,56	Non liquefacibile
33	P.I.P. S. Andrea	3,00	11,00	50	2,62	Non liquefacibile
34	P.I.P. S. Andrea	3,00	4,20	18	1,96	Non liquefacibile
34	P.I.P. S. Andrea	3,00	9,60	21	1,35	Non liquefacibile
36	Centro Comm. C1 Nord	6,40	8,00	12	1,32	Non liquefacibile
37	Centro Comm. C1 Nord	6,40	7,00	17	1,82	Non liquefacibile
37	Centro Comm. C1 Nord	6,40	12,00	50	3,01	Non liquefacibile
38	Centro Comm. C1 Nord	6,40	7,50	17	3,29	Non liquefacibile
39	Via Verdi	8,50	13,00	24	1,71	Non liquefacibile

Tabella 11: Elenco ed esito delle verifiche analitiche di liquefazioni

Nonostante ciò, per le aree meridionali del territorio comunale dove la falda è molto vicina al piano campagna, è stata delimitata una zona di attenzione in funzione dei valori prossimi ad un valore di Fs di 1,3. La motivazione sta nel fatto che i terreni più superficiali, sebbene le prove disponibili non abbiano mostrato molto raramente una suscettibilità alla liquefazione, questa in base alla loro natura potrebbe puntualmente essere possibile.

In merito ad eventuali interventi nell'area ZALQ della "Tavola n. 5 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)" dovranno essere riportate nel NTA e nel RUEC le seguenti prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare:

- ↳ profondità della falda;
- ↳ verifiche analitiche puntuali della suscettibilità alla liquefazione;

↳ Studio di Risposta Sismica Locale di Livello 3 (Linee Guide ICMS).

#### **4.6.4 Carta Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - (Microzonazione Sismica di I Livello)**

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.

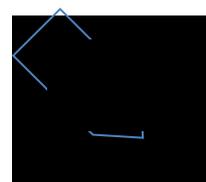
La “*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS*” (tavola 5) costituisce una zonazione di 1° livello di approfondimento di tipo avanzato. A tal fine sono stati utilizzati gli elaborati cartografici e le indagini disponibili.

Ai fini della redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, o MOPS (Microzonazione sismica di I Livello), il presente studio segue le indicazioni contenute negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS) – Versione 4.2”, redatti dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e approvati nel dicembre 2020 dalla conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome; tali indirizzi sono finalizzati all’analisi della pericolosità sismica, necessaria per la valutazione del rischio sismico ed applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell’emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

Per Microzonazione Sismica s’intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”. Per la MS di primo livello, il documento di sintesi finale è rappresentato da una carta del territorio nella quale vengono indicate:

1. le **zone stabili**: sono zone in cui il moto sismico non subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida affiorante e topografia pianeggiante, per cui gli scuotimenti attesi possono essere equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base;

2. le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**: sono quelle zone il cui moto sismico subisce modifiche rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida



affiorante e topografia pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;

3. le **zone suscettibili di instabilità**: sono quelle zone in cui sono presenti o sono suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, cedimenti differenziali, ecc).

Lo studio di MS fornisce quindi una base conoscitiva della pericolosità sismica locale delle diverse zone del territorio e consente di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico. Il **livello 1** è un livello propedeutico ai veri e propri studi di **MS**, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti ed elaborati, per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte.

Nel caso del comune di Santa Maria Capua Vetere, i dati pregressi disponibili (sondaggi geognostici, prove geotecniche e sismiche) sono stati integrati mediante l'esecuzione di nuove indagini sismiche, in particolare misure H.V.S.R. e profili sismici M.A.S.W.

Attraverso l'analisi delle indagini sul territorio, le osservazioni geologiche, geomorfologiche e litostratigrafiche si è giunti alla redazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, che ha portato al riconoscimento di microzone per le quali possono essere ipotizzati l'occorrenza di diversi tipi di effetti di amplificazione.

In particolare per il territorio comunale di Santa Maria Capua Vetere, le microzone individuate sono classificate sulla carta nelle seguenti categorie:

- a. **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** (*stratigrafiche e topografiche*);
- b. **Zone di attenzione per le instabilità**: *ovvero zone di attenzione per liquefazioni e zone di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole.*

Sulla base delle indagini a disposizione e del rilevamento geologico effettuato, per ogni zona è stato ricostruito il modello geologico di sottosuolo. Gli spessori riportati all'interno di ogni modello geologico sono stati ricostruiti utilizzando le informazioni derivate dai sondaggi di riferimento, dalle informazioni derivanti dalle indagini sismiche



e dalle informazioni derivanti da tagli e/o sbancamenti osservati durante il rilevamento di campagna.

Di seguito si riportano le microzone del territorio a comportamento sismico omogeneo, per caratteristiche stratigrafiche e topografiche.

### **ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI**

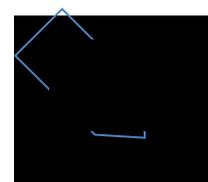
Sono state riconosciute n° 3 microzone suscettibili di amplificazioni locali, distinte principalmente sulla base delle sequenze stratigrafiche individuate in tutto il territorio:

**ZONA 2001** – caratterizzata dalla seguente successione stratigrafica (dall'alto verso il basso):

- Depositi piroclastici, costituiti da pozzolane limose-argillose e sabbiose, con pomici e scorie, talora ricoperte da terreno vegetale e/o materiale di riporto, dello spessore di circa 8 metri. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel comune, si possono associare valori delle Onde S inferiori a 200 m/s;
- Depositi sabbiosi di origine piroclastica, più o meno sottili, di colore scuro e a tratti con grosse pomici e scorie di colore grigio-nero, con grado di addensamento e litificazione variabile, a cui si possono associare valori delle onde S variabili dai 300 ai 600 m/s.

**ZONA 2002** - caratterizzata dalla seguente successione stratigrafica (dall'alto verso il basso):

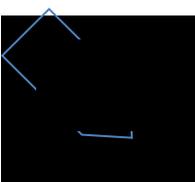
- Depositi piroclastici, costituiti da pozzolane limose-argillose e sabbiose, con pomici e scorie, talora ricoperte da terreno vegetale e/o materiale di riporto, dello spessore di circa 8 metri. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel comune, si possono associare valori delle Onde S inferiori a 200 m/s;



- Livello di tufo litoide vacuolare di colore giallo o grigio ricco in grosse scorie nere, con spessore variabile da 3 a 6 m, cui possono essere associati valori delle onde S superiori a 600 m/s;
- Depositi sabbiosi di origine piroclastica, più o meno sottili, di colore scuro e a tratti con grosse pomici e scorie di colore grigio-nero, con grado di addensamento e litificazione variabile, a cui si possono associare valori delle onde S di circa 600 m/s.

**ZONA 2003** - caratterizzata dalla seguente successione stratigrafica (dall'alto verso il basso):

- Depositi di natura alluvionale e piroclastica rimaneggiati limoso-argillosi, dello spessore variabile di 2-5 metri, con valore delle onde S < 150 m/s;
- Depositi piroclastici, costituiti da pozzolane limose-argillose e sabbiose, con pomici e scorie, talora ricoperte da terreno vegetale e/o materiale di riporto, dello spessore di circa 5 metri. A questo tipo di deposito, come emerge dai risultati di prove sismiche eseguite nel comune, si possono associare valori delle Onde S inferiori a 200 m/s;
- Depositi sabbiosi di origine piroclastica, più o meno sottili, di colore scuro e a tratti con grosse pomici e scorie di colore grigio-nero, con grado di addensamento e litificazione variabile, a cui si possono associare valori delle onde S variabili dai 300 ai 600 m/s.



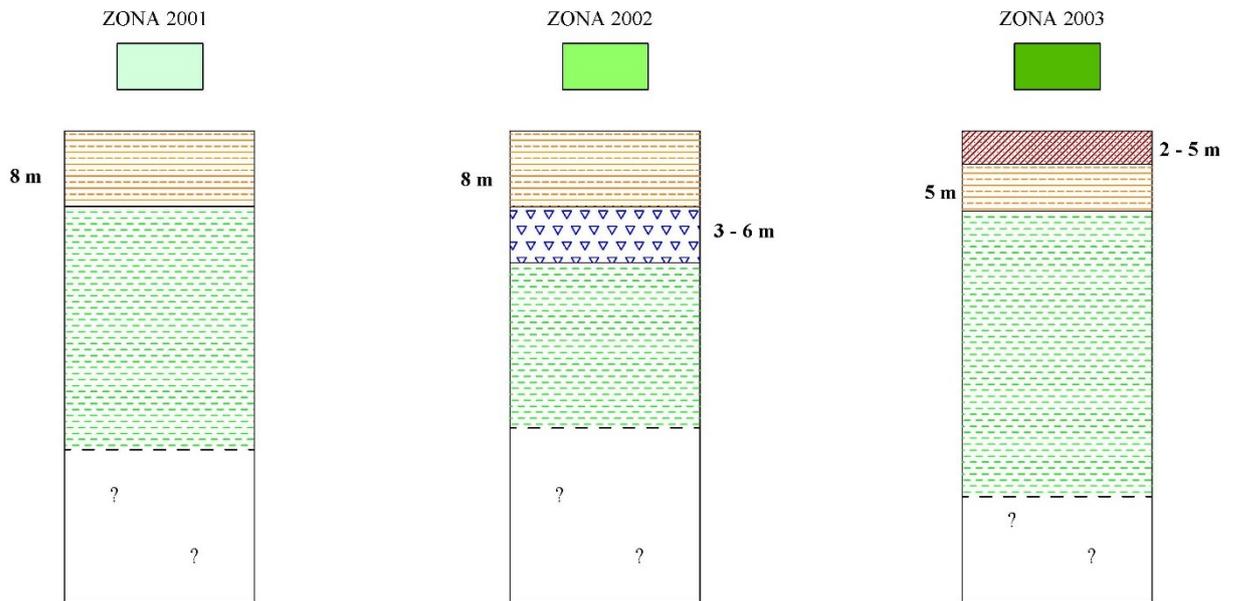
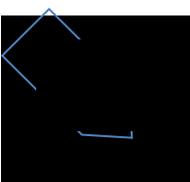


Fig. 20: Categorie stratigrafiche della Carta delle MOPS

## ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

Per quanto riguarda le zone di attenzione per le instabilità, sono state riconosciute le seguenti zone, distinte come segue:

- Zona di attenzione per l'instabilità per cedimenti differenziali/crolli di cavità sotterranee/sinkhole (**Z<sub>ACD</sub>**), circoscritte più o meno all'intero centro storico del comune di S. Maria Capua Vetere, ovvero l'intera area dove è stata rilevata la presenza di cavità sotterranee, seppure di piccole dimensioni;
- Zone di attenzione per liquefazioni (**Z<sub>ALQ</sub>**), ovvero le aree in cui il livello di falda è < 5 metri dal piano campagna e la litologia dei depositi affioranti è essenzialmente sabbiosa. Sebbene le verifiche analitiche abbiamo evidenziato l'assenza del verificarsi di tale fenomenologia, tali aree sono state comunque circoscritte come "potenzialmente liquefacibili", per le quali siano eseguiti, costituendone vincolo, prima del rilascio di qualsiasi tipologia di titolo abilitante all'edificazione, il calcolo del potenziale di liquefazione e della Risposta Sismica Locale (MS Liv. 3). In tali



aree rientrano interamente la MOPS 2002, la 2003 e la parte meridionale della 2001 (al di sotto della isopiezza dei 2 metri s.l.m.).

Per ulteriori dettagli in merito a quanto appena descritto, si rimanda alla “**Tavola n. 5 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)**”, riportata in allegato alla presente relazione.

#### **4.6.5 Carta della Zonazione in prospettiva sismica – (Microzonazione Sismica di II Livello)**

Lo studio di Microzonazione Sismica di II livello è stato condotto in più fasi.

Nella prima fase è stata effettuata un’accurata analisi dei dati stratigrafici, geomeccanici e geofisici, da indagini pregresse; in particolare, sono state analizzate prove sismiche “*down-hole*”, M.A.S.W. ed H.V.S.R., realizzate in tutto il territorio comunale. Quindi, al fine di giungere ad una completa caratterizzazione sismica del territorio, sono state programmate le seguenti indagini geofisiche aggiuntive:

- n° 10 misure H.V.S.R., per definire la frequenza di sito.

Nella seconda fase, sono stati identificati tra gli Abachi forniti dalle Linee Guida della Protezione Civile Nazionale (in quanto non sono disponibili quelli della Regione Campania) quelli corrispondenti alla litologia prevalente in sito, scelta all’interno delle 3 famiglie litologiche previste. La scelta degli Abachi e l’identificazione del substrato rigido hanno consentito di determinare i valori di  $F_A$  ed  $F_V$ .

I risultati e l’analisi delle suddette prove sono stati utilizzati per determinare la frequenza fondamentale del sito ed individuare l’eventuale profondità del bedrock sismico.

Dall’analisi dei valori di frequenza individuati nel corso dell’attuale campagna indagini si possono fare le seguenti osservazioni:

- la parte settentrionale del territorio comunale è caratterizzata da valori di frequenza  $F_0$  intorno a 6,0 Hz: tali valori denotano un contrasto di impedenza indicativo della

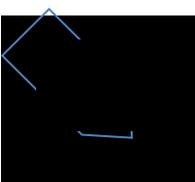


- presenza di un passaggio stratigrafico, posto ad una profondità variabile tra 10-15 metri dal piano campagna;
- nella stessa area alcune registrazioni hanno determinato un valore medio di 1,0 Hz, indicativo della presenza del bedrock sismico, posto ad una profondità media di 100 metri dal piano campagna;
  - infine, le misurazioni eseguite nella parte meridionale del territorio hanno dei valori compresi 8,7 e 14,3 Hz, indicando un contrasto di impedenza di natura litologica (presumibilmente il tetto del tufo), posto ad una profondità compresa tra 5-10 metri dal piano campagna.

Laddove il bedrock sismico non è stato individuato con le indagini sismiche effettuate, si è proceduto nel modo seguente: al fine di determinare una profondità  $H$  alla quale  $V_s > 800$  m/s, si è ipotizzato che le proprietà dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità (grazie all'aumento del grado di addensamento dovuto al proprio peso litostatico); quindi, utilizzando i risultati scaturiti dalle prove *Down-Hole* e dai profili sismici M.A.S.W. (pregressi, di archivio ed attuali), si è costruita una retta interpolando gli ultimi valori delle velocità registrati nelle formazioni dei affioranti (che si presume si seguono fino a grandi profondità).

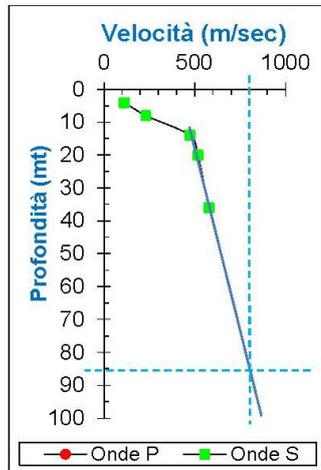
Dall'intersezione di quest'ultima con la proiezione del valore  $V_s = 800$  m/s, è stato determinato approssimativamente la profondità del bedrock.

Di seguito si riporta la sintesi dei risultati delle prove *Down-Hole* e M.A.S.W. eseguite sul territorio e la determinazione della profondità del bedrock secondo quanto sopra descritto.

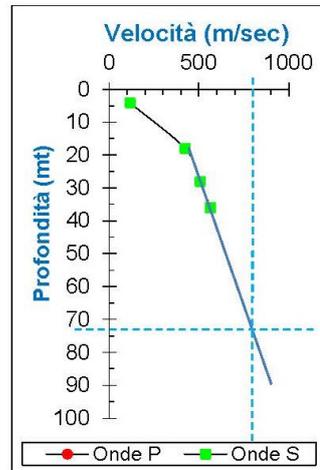


INDAGINI PREGRESSE - DOWN-HOLE

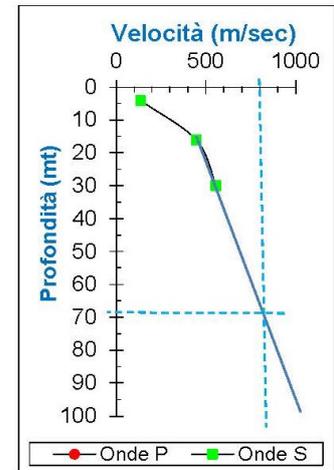
Via Galatina S.1 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		111
8,00		231
14,00		472
20,00		516
36,00		577



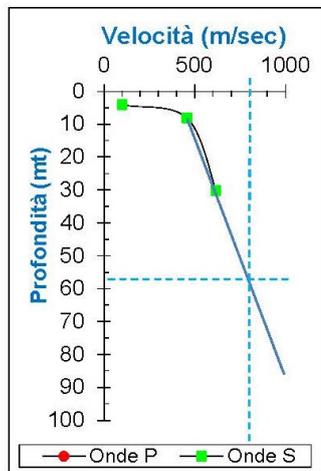
Via Gallozzi S.1 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		114
18,00		420
28,00		507
36,00		564



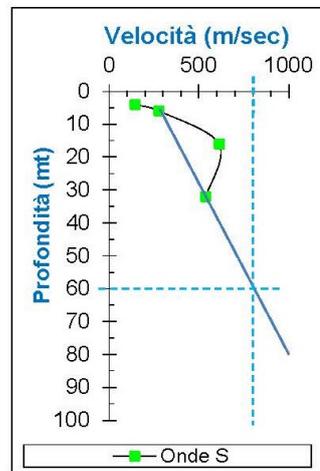
Via Gagliardi S.1 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		135
16,00		445
30,00		556



Via Cappuccini S.1 - DH		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		100
8,00		456
30,00		616

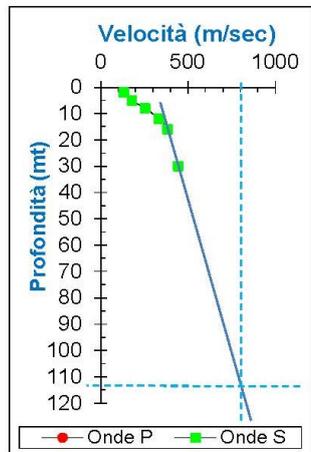


PIP S. Andrea S.2 - DH.2		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
4,00		144
6,00		278
16,00		612
32,00		536

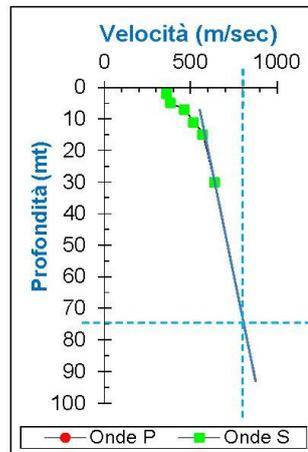


MASW Adeguamento PUC 2018 - pag. 1

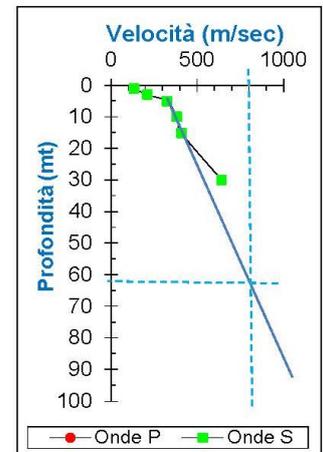
Casello autostradale SMCV MASW 1			
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S	
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec	
2,00		131	
5,00		179	
8,00		253	
12,00		333	
16,00		381	
30,00		442	



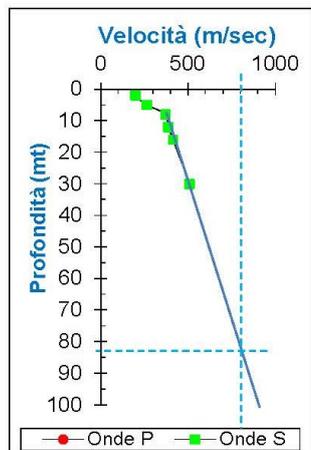
Via Cupa Napoli MASW 2			
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S	
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec	
2,00		358	
5,00		383	
7,00		463	
11,00		516	
15,00		569	
30,00		637	



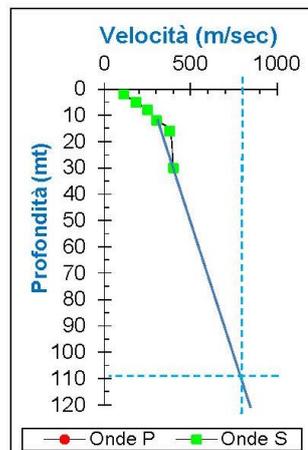
Viale Vincenzo Pimpinella MASW 3			
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S	
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec	
1,00		133	
3,00		208	
5,00		324	
10,00		379	
15,00		408	
30,00		639	



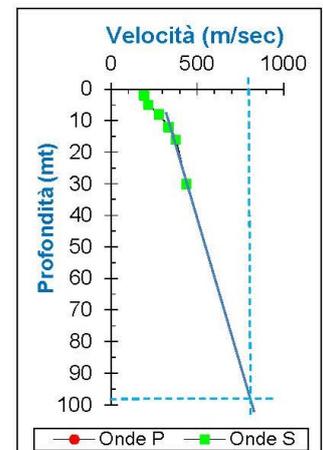
Via Antonio Sicurezza MASW 4			
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S	
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec	
2,00		198	
5,00		263	
8,00		370	
12,00		384	
16,00		415	
30,00		506	



Via Murata MASW 5			
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S	
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec	
2,00		112	
5,00		184	
8,00		251	
12,00		299	
16,00		378	
30,00		397	

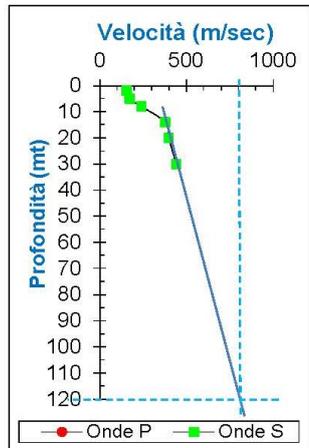


Via Mastrantuono MASW 6			
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S	
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec	
2,00		191	
5,00		214	
8,00		278	
12,00		332	
16,00		373	
30,00		435	

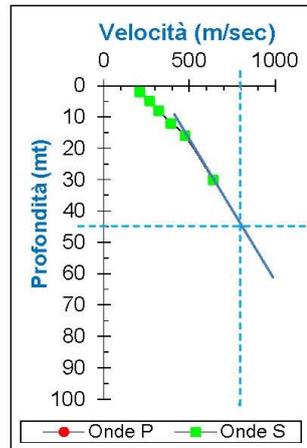


MASW Adeguamento PUC 2018 - pag. 2

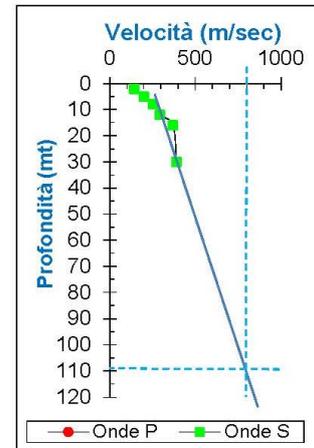
Strada Comunale Campo MASW 7		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		155
5,00		172
8,00		239
14,00		376
20,00		397
30,00		440



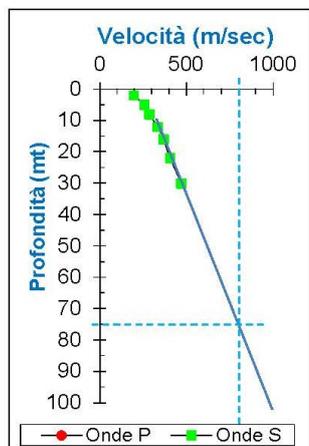
Via Augusto Righi MASW 9		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		207
5,00		269
8,00		320
12,00		393
16,00		474
30,00		638



Via dei Romani MASW 10		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		142
5,00		199
8,00		252
12,00		293
16,00		370
30,00		388

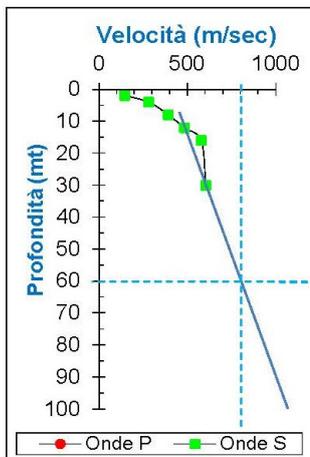


Via Campagna MASW 8		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		196
5,00		256
8,00		284
12,00		333
16,00		367
22,00		406
30,00		471

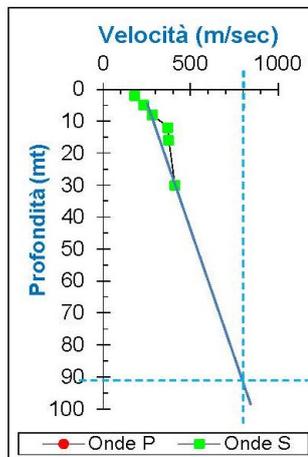


MASW Lavori Bibliografici - pag. 1

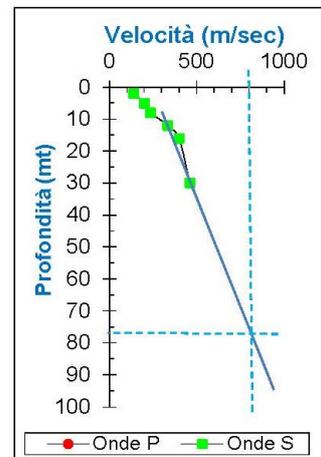
Via Napoli MASW 1		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		147
4,00		280
8,00		392
12,00		481
16,00		578
30,00		603



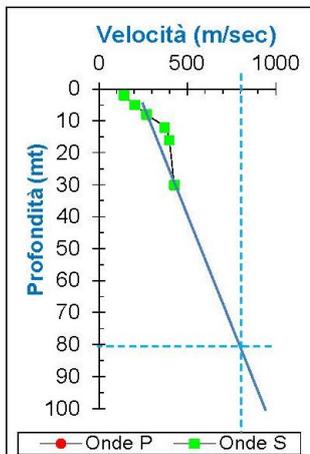
Palazzetto dello Sport MASW 2		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		179
5,00		230
8,00		278
12,00		367
16,00		376
30,00		408



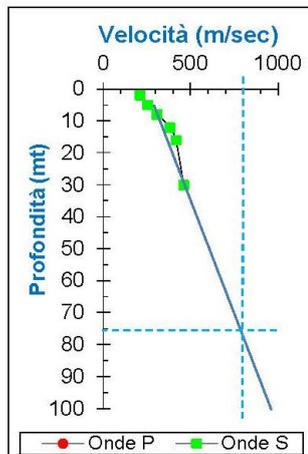
Piazza Teresa Musco MASW 3		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		139
5,00		199
8,00		236
12,00		332
16,00		399
30,00		460



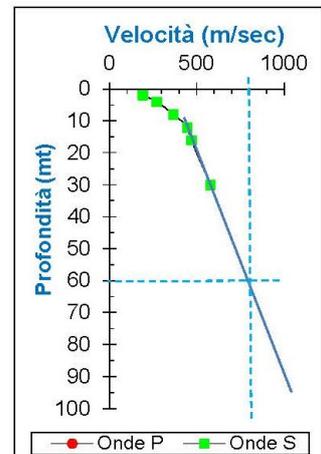
Via Cardamone MASW 4		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		140
5,00		201
8,00		268
12,00		371
16,00		396
30,00		425



Via Avezzana MASW 5		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		210
5,00		253
8,00		307
12,00		381
16,00		415
30,00		461



Via Del Lavoro MASW 6		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		192
4,00		270
8,00		366
12,00		446
16,00		468
30,00		577

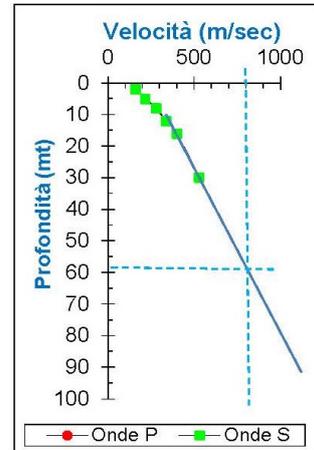
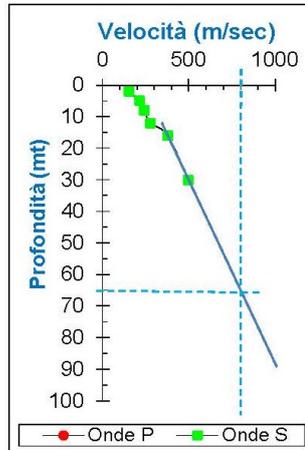
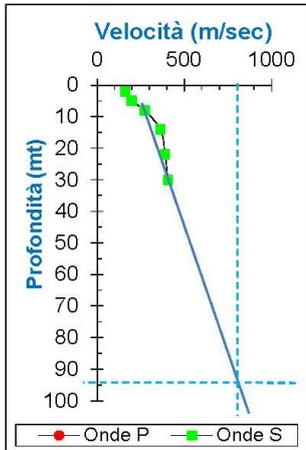


MASW Lavori Bibliografici - pag. 2

Via Galatina Trav. III MASW 7		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		160
5,00		198
8,00		270
14,00		361
22,00		389
30,00		404

Via Giove Tifatino MASW 8		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		152
5,00		216
8,00		241
12,00		276
16,00		378
30,00		496

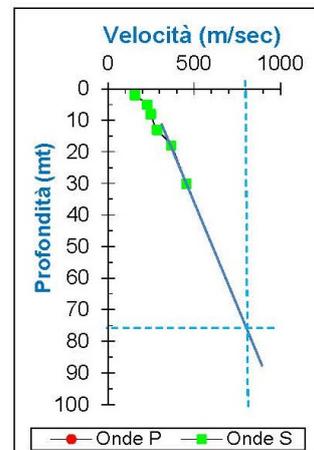
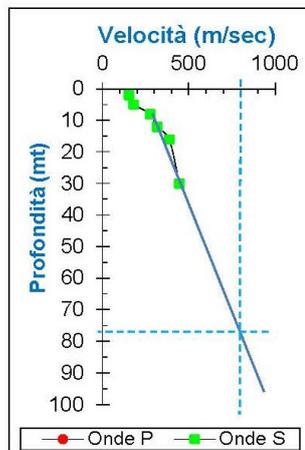
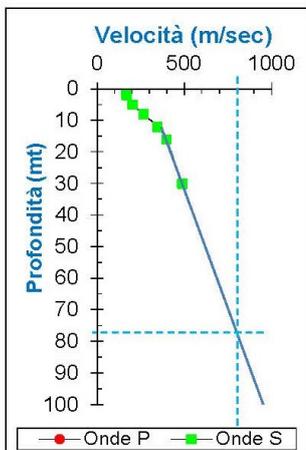
Via L. De Michele MASW 9		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		160
5,00		216
8,00		279
12,00		335
16,00		399
30,00		529



Via Latina MASW 10		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		165
5,00		200
8,00		266
12,00		344
16,00		397
30,00		486

Via Monfalcone MASW 11		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		149
5,00		179
8,00		275
12,00		315
16,00		385
30,00		444

Via Napoli (loc. S. Andrea) MASW 12		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P	ONDE S
	Velocità in m/sec	Velocità in m/sec
2,00		155
5,00		227
8,00		248
13,00		284
18,00		364
30,00		453

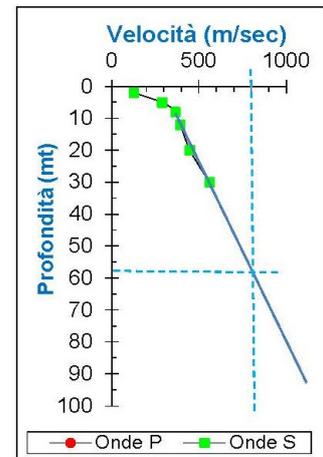
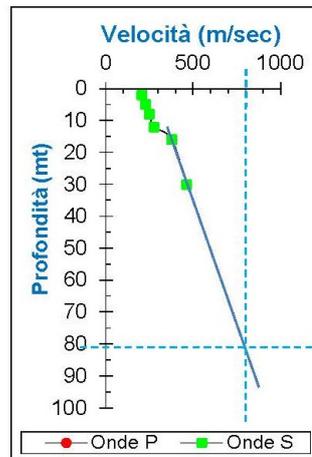
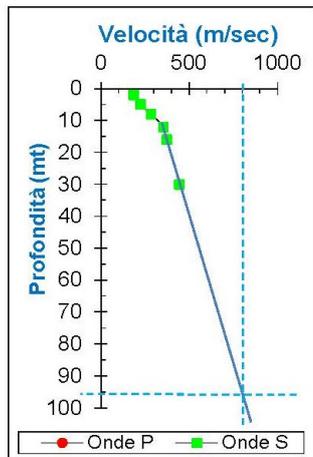


MASW Lavori Bibliografici - pag. 3

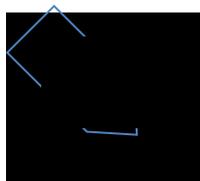
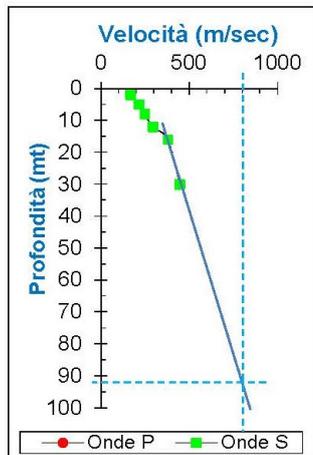
Via Pratilli MASW 13		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		183
5,00		224
8,00		282
12,00		352
16,00		372
30,00		444

Via Verdi MASW 14		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		205
5,00		227
8,00		247
12,00		275
16,00		377
30,00		462

Via Vico Il Merano MASW 15		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		127
5,00		288
8,00		365
12,00		393
20,00		449
30,00		559



Via Cavalieri di V. Veneto MASW 16		
Profondità dal p.c. in mt	ONDE P Velocità in m/sec	ONDE S Velocità in m/sec
2,00		165
5,00		215
8,00		247
12,00		294
16,00		378
30,00		447



#### 4.6.5.1 Scelta degli abachi e determinazione dei fattori di amplificazione

Sulla base del modello geologico, stratigrafico e geofisico del sito, nonché da quando emerso dai certificati delle analisi di laboratorio eseguite su campioni indisturbati, è emerso che la litologia affiorante prevalente è quella delle sabbie limoso-argillose e limi sabbiosi; pertanto, è stata individuata come *litologia prevalente quella delle sabbie*, corrispondente al maggior spessore cumulato lungo tutta la verticale delle indagini.

Scelta la litologia prevalente e visto l'andamento delle velocità delle onde sismiche con la profondità, in riferimento agli abachi proposti nelle "Linee guida della Protezione Civile Nazionale", si è scelto di utilizzare i valori riportati per un profilo delle velocità "lineare con pendenza intermedia".

Inoltre per la determinazione del  $V_{SH}$ , ci si riferisce alla seguente tabella proposta dalle suddette Linee guida.

Tabella 3.2.2 - Valori di  $V_{s30}$  (velocità equivalente nei primi 30 m) alle diverse profondità ( $H$ ) corrispondenti alle diverse  $V_{SH}$  (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) per il profilo con pendenza intermedia.

	$V_{SH}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
35	143.8	191.0	238.0	285.9	335.2	385.1	435.6	486.3	589.3	693.9
40	139.2	184.1	228.8	275.3	324.1	374.0	424.8	476.1	581.4	689.4
50	131.6	172.7	213.7	257.9	306.0	355.7	407.1	459.5	568.5	682.1
60	126.7	165.4	204.0	246.7	294.3	344.1	395.7	448.9	560.3	677.5
70	122.7	159.4	196.0	237.5	284.8	334.6	386.5	440.3	553.8	673.8
80	120.6	156.4	191.9	232.8	280.0	329.7	381.8	436.0	550.5	671.9
90	118.6	153.3	187.9	228.1	275.1	324.9	377.2	431.6	547.1	670.1
100	116.5	150.2	183.7	223.4	270.2	320.0	372.5	427.3	543.8	668.3
110	115.5	148.7	181.6	220.9	267.7	317.5	370.2	425.0	542.1	667.3
120	114.4	147.1	179.5	218.5	265.2	315.0	367.8	422.8	540.5	666.4
130	113.4	145.5	177.3	216.1	262.6	312.6	365.4	420.6	538.8	665.4
140	112.3	143.9	175.2	213.6	260.1	310.1	363.0	418.4	537.1	664.5
150	111.2	142.3	173.1	211.2	257.5	307.5	360.6	416.2	535.4	663.6

Tab. 12: Valori di  $V_{SH}$  derivante del rapporto tra  $V_{s30}$  e profondità

Infine, gli abachi per la determinazione dei fattori **FA** e **FV** proposti nelle Linee guida sono riferiti a tre litotipi (argille, sabbie e ghiaie) e a tre livelli energetici (0,06g,

0,18g e 0,26g); per determinare il valore di  $a_g$  più vicino ai tre livelli è stato utilizzato il programma Spettri – NTC ver.1.0.3 considerando un periodo di ritorno pari a 475 anni; come si evince dalla figura che segue il valore di  $a_g$  determinato è pari a 0,122; **pertanto, sono state prese in riferimento le tabelle proposte dalle Linee Guida con  $a_g$  pari a 0,18g.**

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,043	2,376	0,285
50	0,054	2,370	0,320
72	0,063	2,415	0,334
101	0,072	2,427	0,349
140	0,081	2,465	0,360
201	0,092	2,484	0,373
475	0,122	2,516	0,421
975	0,151	2,584	0,440
2475	0,191	2,689	0,471

Fig 21: Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C$

Fattore di amplificazione $F_A$	Tipo di terreno Sabbia	$a_g$ (g) 0.18g										Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia
		$V_{SH}$ (m/s)										
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
H	5	-	1.97	1.67	1.53	1.32	1.18	1.10	1.06	1.02	1.01	
	10	-	2.24	2.13	1.85	1.59	1.40	1.28	1.19	1.08	1.03	
	15	-	1.93	2.09	1.97	1.78	1.61	1.45	1.32	1.16	1.06	
	20	-	1.64	1.88	1.92	1.80	1.65	1.52	1.40	1.21	1.08	
	25	-	1.42	1.69	1.75	1.73	1.63	1.52	1.41	1.24	1.11	
	30	-	-	1.48	1.64	1.60	1.58	1.49	1.40	1.24	1.11	
	35	-	-	1.43	1.46	1.51	1.47	1.45	1.36	1.23	1.10	
	40	-	-	1.37	1.41	1.38	1.38	1.35	1.32	1.20	1.09	
	50	-	-	1.23	1.34	1.33	1.29	1.25	1.20	1.14	1.06	
	60	-	-	1.10	1.23	1.27	1.25	1.20	1.16	1.09	1.02	
	70	-	-	0.97	1.13	1.18	1.20	1.17	1.13	1.05	0.98	
	80	-	-	0.89	1.04	1.11	1.14	1.14	1.11	1.03	0.97	
	90	-	-	0.82	0.95	1.04	1.08	1.10	1.08	1.02	0.95	
	100	-	-	0.76	0.91	0.98	1.02	1.04	1.06	1.00	0.94	
	110	-	-	0.71	0.84	0.91	0.97	1.00	1.01	0.98	0.92	
120	-	-	0.67	0.80	0.89	0.92	0.96	0.98	0.96	0.91		
130	-	-	0.62	0.76	0.85	0.90	0.92	0.95	0.94	0.90		
140	-	-	0.58	0.72	0.81	0.87	0.90	0.91	0.91	0.88		
150	-	-	0.54	0.69	0.76	0.84	0.87	0.89	0.89	0.86		

Tab. 13: Valori di  $F_A$  derivanti del rapporto tra  $V_{SH}$  e profondità

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		$a_g$ (g)		Profilo di velocità					
FV		Sabbia		0.18g		Lineare pendenza intermedia					
		$V_{SH}$ (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.11	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
	10	-	1.80	1.31	1.14	1.09	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00
	15	-	2.34	1.83	1.45	1.22	1.14	1.09	1.06	1.03	1.01
	20	-	2.55	2.18	1.76	1.46	1.27	1.17	1.12	1.05	1.02
	25	-	2.46	2.37	2.00	1.68	1.44	1.28	1.18	1.08	1.03
	30	-	-	2.39	2.11	1.79	1.57	1.39	1.26	1.11	1.05
	35	-	-	2.32	2.20	1.91	1.64	1.47	1.33	1.15	1.06
	40	-	-	2.29	2.17	1.97	1.74	1.53	1.37	1.18	1.08
	50	-	-	2.10	2.10	1.95	1.78	1.63	1.48	1.23	1.10
	60	-	-	2.05	1.99	1.89	1.77	1.62	1.49	1.27	1.11
	70	-	-	1.89	1.90	1.81	1.71	1.61	1.49	1.28	1.13
	80	-	-	1.75	1.82	1.73	1.63	1.55	1.47	1.28	1.13
	90	-	-	1.71	1.74	1.69	1.58	1.50	1.43	1.27	1.13
	100	-	-	1.69	1.62	1.64	1.55	1.46	1.39	1.25	1.12
	110	-	-	1.67	1.59	1.58	1.52	1.43	1.35	1.22	1.11
120	-	-	1.63	1.58	1.49	1.48	1.41	1.32	1.20	1.07	
130	-	-	1.60	1.57	1.46	1.42	1.38	1.31	1.17	1.06	
140	-	-	1.55	1.53	1.44	1.37	1.35	1.28	1.15	1.05	
150	-	-	1.45	1.50	1.45	1.35	1.31	1.26	1.13	1.04	

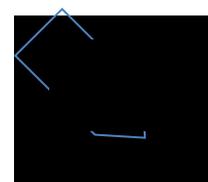
Tab. 14: Valori di FV derivanti del rapporto tra  $V_{SH}$  e profondità

Tenendo conto delle coppie di valori H- $V_{SH}$ , per ogni singolo punto di indagine sono stati individuati i fattori di amplificazione  $F_A$  e  $F_V$ , sintetizzati nella tabella seguente. In particolare, si riportano il tipo di prova utilizzata, con la rispettiva descrizione identificativa, il  $V_{S30}$ , la profondità del bedrock sismico (ovvero la profondità dove si raggiungono le velocità delle onde S superiore a 800 m/sec), il  $V_{SH}$  e, infine, i fattori di amplificazione  $F_A$  e  $F_V$ .

Come si può osservare, i valori di  $F_A$  variano da un minimo di 0,91 ad un massimo di 1,29, mentre i valori di  $F_V$  variano da un minimo di 1,28 ad un massimo 1,78.

Sulla scorta di tali determinazioni, sono state redatte due Carte di Microzonazione Sismica di II livello, ovvero la **Tavola n. 7 “Carta delle Frequenze  $F_A$ ”** e la **Tavola n. 8 “Carta delle Frequenze  $F_V$ ”**, riportate in allegato alla presente relazione.

ARCHIVIO PROVE DOWN-HOLE						
Tipo prova	Descrizione identificativa	V <sub>S30</sub>	Prof. bedrock sismico (m dal p.c.)	V <sub>SH</sub>	FA	FV
S1-DH	Via Galatina	316	85	400	1,14	1,63
S1-DH	Via Gallozzi	327	73	400	1,20	1,71
S1-DH	Via Gagliardi	367	68	450	1,17	1,61
S1-DH	Via Cappuccini	355	57	400	1,25	1,77
S2-DH2	P.I.P. S. Andrea	387	60	450	1,20	1,62
ARCHIVIO MASW ADEGUAMENTO PUC 2018						
MASW-1	Casello autostradale di S. Maria Capua Vetere	305	113	400	0,97	1,52
MASW-2	Via Cupa Napoli	534	74	600	1,05	1,28
MASW-3	Viale Vincenzo Pimpinella	379	62	450	1,20	1,62
MASW-4	Via Antonio Sicurezza	388	83	450	1,14	1,55
MASW-5	Via Murata	284	108	350	0,91	1,58
MASW-6	Via Mastrantuono	332	98	400	1,02	1,55
MASW-7	Strada Comunale Campo	310	120	400	0,92	1,48
MASW-8	Via Campagna	344	75	400	1,14	1,63
MASW-9	Via Augusto Righi	371	45	400	1,29	1,78
MASW-10	Via dei Romani	295	109	350	0,91	1,58
ARCHIVIO MASW LAVORI BIBLIOGRAFICI						
MASW-1	Via Napoli	432	60	500	1,16	1,49

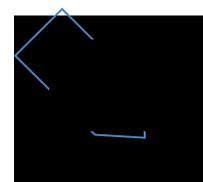


MASW-2	Palazzetto dello Sport	330	90	400	1,08	1,58
MASW-3	Piazza Teresa Musco	317	76	400	1,14	1,63
MASW-4	Via Cardamone (loc. Sant'Andrea)	318	80	400	1,14	1,63
MASW-5	Via Avezzana	367	75	450	1,17	1,55
MASW-6	Via Del Lavoro	425	60	500	1,16	1,49
MASW-7	Via Galatina Trav. III	313	95	400	1,02	1,55
MASW-8	Via Giove Tifatino	323	65	400	1,20	1,71
MASW-9	Via L. De Michele	350	58	400	1,25	1,77
MASW-10	Via Latina	337	76	400	1,20	1,63
MASW-11	Via Monfalcone (loc. Sant'Andrea)	313	76	400	1,14	1,63
MASW-12	Via Napoli (loc. Sant'Andrea)	312	75	400	1,20	1,71
MASW-13	Via Pratilli	338	95	400	1,02	1,55
MASW-14	Via Verdi	331	80	400	1,14	1,63
MASW-15	Via Vico II Merano	373	58	450	1,20	1,62
MASW-16	Via Cavalieri di Vittorio Veneto	320	93	400	1,08	1,58

Tab. 15: Riepilogo dei valori di  $V_{s30}$ ; profondità del bedrock,  $V_{sH}$ , FA e FA

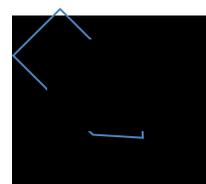
Come evidenziato nella Tavola n. 6 (FA), sono state definite due classi ipotizzando come limite il valore **1,10**, mentre nella Tavola n. 7 (FV), non è stato possibile definire classi distinte.

In entrambe le carte, si evidenziano comunque alcuni valori random che si discostano dalla classe in cui sono stati inglobati; in particolare, si evidenzia il valore di FV pari a 1,28 che si discosta notevolmente dalla media dei valori ( $FV \approx 1,60$ ),



dott. Giuseppe Antonio Diplomatico  
*Geologo*

presumibilmente per l'utilizzo del valore di  $V_{S30}$  determinato nella prova M.A.S.W., che è risultato molto più alto rispetto ai valori desunti dalle prove circostanti.



## 5.0 CONCLUSIONI

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, ritenute sufficienti per una corretta conoscenza del sottosuolo, 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.

Risultanze emerse:

### **Geologia**

La "Carta Geolitologica" (Tavola n°1) 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. Infine la maggior parte del centro abitato è interessata da una coltre di materiale di riporto. La "Sezione geologica" (Tavola n°8) riporta il modello geologico sintetico ricavato da tutte le indagini eseguite e bibliografiche.

### **Morfologia**

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 %. Si è evidenziato che non sono presenti, sia in bibliografia che dai rilievi superficiali, evidenze di faglie attive e/o capaci che interessano il territorio comunale.



## Stabilità

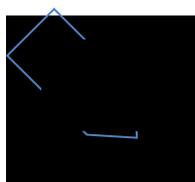
Nella ”Carta della Stabilità” (Tavola n. 2) sono riportate: le aree dove sono avvenuti sprofondamenti registrati legati a cavità antropiche nel sottosuolo; le aree con presenza di cavità antropiche o naturali documentate; le aree di rischio potenziale in funzione essenzialmente della probabilità di presenza di cavità in quanto non sono presenti altri fattori di rischio.

Sulla base degli elementi disponibili (ubicazione di cavità o sprofondamento collegati a cavità forniti dall’Ufficio Tecnico Comunale) è stata individuata una Zona di Attenzione per Cavità Sotterranee ( $Z_{ACD}$ ) in condizioni sismiche (“Carta delle MOPS” Tavola 5). Nell’area  $Z_{ACD}$ , nelle Aree edificate (recenti o consolidate), per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull’edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di MS al fine di individuare le ZS e le ZR.

In merito ad eventuali interventi nell’area  $Z_{ACD}$  dovranno essere riportate nelle NTA e nel RUEC le seguenti prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare:

- ↳ Tipologia di cavità (e.g. singola cavità, cavità a camere e pilastri, sistemi di cavità);
- ↳ Forma della cavità;
- ↳ Dimensione della cavità;
- ↳ Spessore della copertura al di sopra della cavità (ovvero profondità della cavità);
- ↳ Carichi agenti al piano campagna (es. riporti, edifici, strade, ...);
- ↳ Resistenza e comportamento meccanico del materiale in cui è ricavata la cavità;
- ↳ Studio di Risposta Sismica Locale di Livello 3 (Linee Guide ICMS).

Per questo motivo si raccomanda nuovamente 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 per un aggiornamento continuo dell’Area  $Z_{ACD}$  rappresentata nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). Qualora ulteriori indizi di sussistenza di cavità vengano rilevati da studi di dettaglio in aree non perimetrate a rischio, resta l’obbligo di rimodulare il perimetro dell’area a rischio



cavità; pertanto si raccomanda all'U.T.C. di predisporre un obbligo per i progettisti di effettuare comunicazione formale delle evidenze relative ad eventuali cavità riscontrate.

Dalle cartografie redatte dalle Autorità di Bacino relative al Bacino del Volturno e al Bacino dei Regi Lagni, si evince che non sono segnalati rischi di alluvioni per nessuna area del territorio comunale di Santa Maria Capua Vetere.

Inoltre, l'area meridionale individuata come "Area Retroarginale – R" è soggetta al rispetto delle Norme di Attuazione del PSDA-bav ed in particolare alle disposizioni degli artt. 7 e 13, nonché alle prescrizioni dell'art. 16 per le costruzioni ricadenti in area R.

### **Idrogeologia**

La "Carta Idrogeologica" (Tavola n. 3) evidenzia che in funzione del controllo nel mese di settembre 2023, del livello nei pozzi identificati nel 2018, che non sono state rilevate variazioni significative rispetto al 2018.

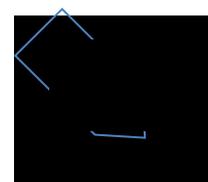
### **Indagini geognostiche e geotecniche**

Le indagini geognostiche e geotecniche hanno messo in evidenza la grande omogeneità dei materiali presenti. I dati comunque permettono di caratterizzare tre orizzonti sovrapposti:

- ↳ Orizzonte di tipo A superficiale: Piroclastici sabbiose con limi sabbiosi di colore dal marrone al grigio, con inglobate sottili pomici, variamente addensate.
- ↳ Orizzonte di tipo B dopo i primi 3 m dal p.c.: Piroclastici sabbio limose di colore grigio, con inglobate pomici e scorie di dimensioni anche decimetriche, variamente addensate.
- ↳ 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.

### **Valutazione del potenziale di Liquefazione**

Nelle verifiche analitiche di liquefazione effettuate è emerso che i risultati escludono, tranne in un caso, la liquefazione dei materiali in condizioni sismiche. Nonostante ciò,



per le aree meridionali del territorio comunale dove la falda è molto vicina al piano campagna, è stata delimitata una zona di attenzione in funzione dei valori prossimi ad un valore di  $F_s$  di 1,3.

In merito ad eventuali interventi nell'area ZALQ della "Tavola n. 5 – Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)" dovranno essere riportate nel NTA e nel RUEC le seguenti prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare:

- ↳ profondità della falda;
- ↳ verifiche analitiche puntuali della suscettibilità alla liquefazione;
- ↳ Studio di Risposta Sismica Locale di Livello 3 (Linee Guide ICMS).

### **Carta Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - (Microzonazione Sismica di I Livello)**

Il territorio comunale di Santa Maria Capua Vetere, le microzone individuate sono classificate sulla carta nelle seguenti categorie:

a. **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** (stratigrafiche e topografiche).

Sono state riconosciute n° 3 microzone suscettibili di amplificazioni locali, distinte principalmente sulla base delle sequenze stratigrafiche individuate in tutto il territorio:

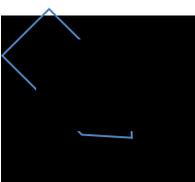
- ↳ **ZONA 2001:** caratterizzata essenzialmente da depositi piroclastici, costituiti da pozzolane limose-argillose e sabbiose,
- ↳ **ZONA 2002** - caratterizzata da depositi piroclastici, costituiti da pozzolane limose-argillose e sabbiose, un livello di tufo litoide vacuolare e da depositi sabbiosi di origine piroclastica.
- ↳ **ZONA 2003** - caratterizzata da depositi di natura alluvionale e piroclastica rimaneggiati sopra a depositi piroclastici di varia natura.

b. **Zone di attenzione per le instabilità:** ovvero zone di attenzione per liquefazioni e zone di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole.

Per quanto riguarda le zone di attenzione per le instabilità, sono state riconosciute le seguenti zone, distinte come segue:



- ↳ Zona di attenzione per l'instabilità per cedimenti differenziali/crolli di cavità sotterranee/sinkhole (**ZACD**), circoscritte più o meno all'intero centro storico del comune di S. Maria Capua Vetere, ovvero l'intera area dove è stata rilevata la presenza di cavità sotterranee, seppure di piccole dimensioni. In merito ad eventuali interventi nell'area **ZACD** (prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare riportate nel NTA e nel RUEC) i progetti dovranno contenere indagini su:
- ✓ Tipologia di cavità (e.g. singola cavità, cavità a camere e pilastri, sistemi di cavità);
  - ✓ Forma della cavità;
  - ✓ Dimensione della cavità;
  - ✓ Misura dello Spessore della copertura al di sopra della cavità (ovvero profondità della cavità);
  - ✓ Descrizione dei Carichi agenti al piano campagna (es. riporti, edifici, strade, ...);
  - ✓ Verifica della Resistenza e comportamento meccanico del materiale in cui è ricavata la cavità;
  - ✓ Uno Studio di Risposta Sismica Locale di Livello 3 (Linee Guide ICMS).
- ↳ Zone di attenzione per liquefazioni (**ZALQ**), ovvero le aree in cui il livello di falda è < 5 metri dal piano campagna e la litologia dei depositi affioranti è essenzialmente sabbiosa. Sebbene le verifiche analitiche abbiano evidenziato l'assenza del verificarsi di tale fenomenologia, tali aree sono state comunque circoscritte come "potenzialmente liquefacibili", per le quali siano eseguiti, costituendone vincolo (prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare riportate nelle NTA e nel RUEC), prima del rilascio di qualsiasi tipologia di titolo abilitante all'edificazione, dovranno essere eseguiti:
- ✓ Misure della profondità della falda;
  - ✓ Verifiche analitiche puntuali della suscettibilità alla liquefazione;



- ✓ Uno Studio di Risposta Sismica Locale di Livello 3 (Linee Guide ICMS).

In tali aree rientrano interamente la MOPS 2002, la 2003 e la parte meridionale della 2001.

### **Carta della Zonazione in prospettiva sismica – (Microzonazione Sismica di II Livello)**

Nella “Carta della Microzonazione II livello – Valori FA” in scala 1/5000 (Tavola n. 6), sono state definite due classi ipotizzando come limite il valore 1,10.

Nella “Carta della Microzonazione II livello – Valori FV” in scala 1/5000 (Tavola n. 7), non è stato possibile definire classi distinte in quanto i valori risultano fortemente omogenei.

In entrambe le carte, si evidenziano comunque alcuni valori random che si discostano dalla classe in cui sono stati inglobati; si tratta di probabili valori spuri legati ai metodi di calcolo utilizzati.

**Tutte le disposizioni relative ai rischi riportate nelle presenti conclusioni devono diventare prescrizioni in merito al contenuto dei progetti da approvare e devono essere riportate integralmente nelle NTA e nel RUEC come richiesto da Genio Civile.**

Tanto per incarico ricevuto.

S. Maria C.V., 24 novembre 2023

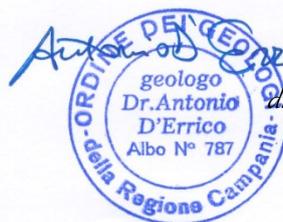
Il Geologo incaricato

dr. Giuseppe A. Diplomatico



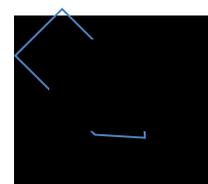
Collaboratore

Dr. Geol. Antonio D'errico

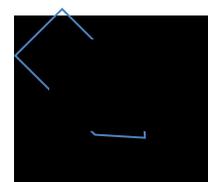


## INDICE

<b>1.0</b>	<b>PREMESSA</b>	1
1.1	Metodologia d'indagine	1
1.1.1	Indagini eseguite in sito	2
<b>2.0</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA</b>	4
2.1	Geologia generale	4
2.2	Morfologia	7
2.3	Stabilità dell'area	8
2.3.1	Faglie attivi e capaci	9
2.3.2	Genesi dei dissesti sul territorio	11
2.3.3	Cenni storici sulle cavità	12
2.3.4	Influenza delle cavità in caso di evento sismico	13
2.3.5	Rapporti con l'Autorità di Bacino	15
2.3.6	Raccomandazioni	20
2.4	Idrogeologia	22
2.4.1	Complessi Idrogeologici	22
2.4.1.1	Complesso Ignimbrítico	22
2.4.1.2	Complesso Piroclastico	22
2.4.1.3	Complesso Detritico - Piroclastico - Alluvionale	23
2.4.2	Fattori di condizionamento della circolazione idrica sotterranea	24
2.4.3	Unità Idrogeologiche	26
2.4.3.1	Unità Idrogeologica dei Monti Tifatini	26
2.4.3.2	Unità idrogeologica di parte della Piana Campana	27
2.4.4	Carta Idrogeologica	29
2.5	Stratigrafia locale	30
<b>3.0</b>	<b>INDAGINI IN SITO</b>	32
3.1	Prove Penetrometriche	32
3.1.1	Standard Penetration Test (S.P.T.)	32
3.1.2	Prove Penetrometriche dinamiche DPSH	35
3.2	Prove Geotecniche di Laboratorio	37



3.3	Caratterizzazione degli orizzonti litologici	40
3.4	Misure H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	41
3.4.1	Esami dei risultati	47
<b>4.0</b>	<b>RISCHIO SISMICO</b>	<b>59</b>
4.1	Premessa	59
4.2	Rischio sismico	60
4.3	Microzonazione sismica in Italia	61
4.4	Zonazione sismogenetica	65
4.5	Pericolosità e classificazione sismica in Campania	66
4.6	Microzonazione Sismica	67
4.6.1	Obiettivo della microzonazione	67
4.6.2	Criteri e metodologia di microzonazione	68
4.6.3	Valutazione del potenziale di liquefazione	70
4.6.4	Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	74
4.6.5	Carta della Zonazione in prospettiva sismica	79
4.6.5.1	Scelta degli abachi e determinazione dei fattori di amplificazione	87
<b>5.0</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>93</b>
	<b>INDICE</b>	<b>99</b>
	Elenco Tavole e Allegati	101



## ALLEGATI

- TAVOLA n.1 – “Carta Geolitologica” in scala 1/5.000 in rev. 1;
- TAVOLA n.2 – “Carta della Stabilità delle aree” in scala 1/5.000 in rev. 2;
- TAVOLA n.3 – “Carta Idrogeologica” in scala 1/5.000 in rev. 1;
- TAVOLA n.4 – “Carta dell’Ubicazione delle Prove in sito” in scala 1/5.000 in rev. 2;
- TAVOLA n.5 – “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)” in scala 1/5.000 in rev. 1;
- TAVOLA n.6 – “Carta della Zonazione in Prospettiva Sismica degli FA” in scala 1/5000 rev. 0;
- TAVOLA n.7 – “Carta della Zonazione in Prospettiva Sismica degli FV” in scala 1/5000 rev. 0;
- TAVOLA n.8 – “Sezione Geologica”;
- ALLEGATO G1 – “Indagine Sismica MASW – PUC 2018”;
- ALLEGATO G2 – “Indagini Sismiche MASW – 2018/2023”;
- ALLEGATO G3 – “Sondaggi Geognostici eseguiti dal Comune di S. Maria C.V.”;
- ALLEGATO G4 – “Prove geotecniche di laboratorio eseguite per il Comune di S. Maria C.V.”;
- ALLEGATO G5 – “Sondaggi Geognostici eseguiti per altri committenti”;
- ALLEGATO G6 – “Prove Penetrometriche DPSH eseguite da Igeo Srl”;
- ALLEGATO G7 – “Verifiche Analitiche di Suscettibilità alla Liquefazione”;
- ALLEGATO G8 – “Prove Down-Hole bibliografiche”
- ALLEGATO G9 – “Elaborati Misure Sismiche H.V.S.R. – 2023”;

