

REGIONE CAMPANIA  
PROVINCIA DI CASERTA  
COMUNE DI CASTEL VOLTURNO



Soggetto Responsabile:

MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L.

Piazza Fontana, 6  
Milano (MI) Cap. 20122  
P.Iva 13075240963  
mytdevelopment5srl@legalmail.it

## IMPIANTO FV C\_049

Progettazione di un impianto agro-fotovoltaico di potenza complessiva 20'384,00 kW e di tutte le opere ed infrastrutture connesse, sito nel comune di Castel Volturno

# RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA E COMPATIBILITÀ SISMICA

Progettazione:  Via Leonardo da Vinci, 78  
80040 S. Sebastiano al V. (NA)  
P.IVA 07857041219 Via Alessandro Nunziante, 1  
[www.mari-ingegneria.it](http://www.mari-ingegneria.it) 81049 Mignano Monte L. (CE)

Il Tecnico

Geol. Antonio Viggiano

	Geol. A. Viggiano			emissione		11/2023	
PROTOCOLLO	REDATTO	CONTROLLATO AUTORIZZATO		CAUSALE		DATA	REVISIONE

Doc	C_049_DEF_RS_01	Formato	A4	
-----	-----------------	---------	----	--

Il presente documento è di proprietà esclusiva della MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L., non potrà essere duplicato e/o copiato in nessuna delle sue parti. La MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L. si riserva il diritto di ogni modifica.

## INDICE

1. Premessa.....	3
2. Individuazione geografica e cartografica dell'area .....	7
3. Caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica .....	11
3.1 Caratteri litologici e strutturali generali dell'area di studio .....	11
3.2 Caratteri litologici del territorio di Castel Volturno.....	15
3.3 Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame.....	16
3.4 Idrometria .....	19
4. Pericolosità geologica dell'area di studio .....	23
4.1 Piano Stralcio Difesa Alluvioni Basso Volturno .....	23
4.2 Carta della zonizzazione ed individuazione degli squilibri e norme di attuazione .....	23
4.3 Compatibilità geologica del progetto .....	28
5. Indagini e caratterizzazione geologica e geotecnica .....	29
5.1 Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche in sito.....	29
5.2 Assetto litostratigrafico dell'area di studio .....	32
5.3 Prove penetrometriche dinamiche continue.....	36
6. Modello geologico e caratteristiche geotecniche medie dei terreni.....	38
6.1 Unità litotecniche riscontrate e caratteristiche geotecniche dei terreni .....	38
7. Modellazione sismica ed indagini geofisiche.....	41
7.1 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	41
8. Considerazioni sul rischio sismico .....	57
8.1 Indicazione della zona sismogenetica.....	57
8.2 Inquadramento geologico-geofisico della Campania .....	64
8.3 Stratigrafia ed assetto morfo-strutturale della Piana Campana.....	67
8.4 Sismicità storica dell'area di studio.....	69
8.5 Classificazione sismica di Castel Volturno .....	74
8.6 Zonazione del territorio comunale in prospettiva sismica .....	80
9. Risposta sismica locale.....	82

9.1	Categoria di sottosuolo .....	83
9.2	Categoria topografica .....	88
10.	Considerazioni tecniche e compatibilità geologica del progetto proposto .....	89
10.1	Richiami normativi del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.....	89

**Allegati alla relazione:**

- *Rapporto delle prove penetrometriche dinamiche continue*
- *Indagini disponibili realizzate per il PUC di Castel Volturno*

**Allegati alla relazione fuori testo:**

- *Tavola 1: Carta Tecnica Numerica Regionale. Scala 1:5.000*
- *Tavola 2: Carta geolitologica. Scala 1:5.000*
- *Tavola 3: Carta geomorfologica e della stabilità. Scala 1:5.000*
- *Tavola 4: Carta idrogeologica. Scala 1:5.000*
- *Tavola 5: Carta di ubicazione delle indagini in sito. Scala 1:2.000*

## 1. Premessa

Su incarico ricevuto dalla soc. **MYT RENEWABLES DEVELOPMENT 5 S.R.L.**, con sede in Milano (MI) in Piazza Fontana n°6 – P.Iva 13075240963, il sottoscritto geologo dott. Antonio Viggiano, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Campania con n°2397, con studio in Postiglione (SA) alla via Canneto n°210, redige la presente relazione geologica, idrogeologica, di compatibilità idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione (*DPR 328/01, art. 41; D.M. 17/01/2018, 3.2.2, 6.2.2;*) per il "Progetto di un impianto agro-voltaico di potenza di produzione pari a 20.384,00 kW e potenza in immissione pari a 20.000,00 kW da realizzarsi nel Comune di Castel Volturno (CE)".

Come si evince dalla documentazione tecnica progettuale, l'installazione dei pannelli fotovoltaici sarà realizzata su tracker ad asse singolo (Y) ancorati direttamente al suolo. Il campo fotovoltaico sarà esposto, con un orientamento azimutale a +/- 90° EST e avrà un'inclinazione variabile rispetto all'orizzontale di +/-55°. La centrale fotovoltaica sarà costituita da un generatore fotovoltaico composto da 29.120 moduli suddivisi in 18 isole, 10 per il campo A e 8 per il campo B, costituite da 1080 stringhe; ciascuna stringa sarà composta da 14 moduli, oltre che da cabine di campo e spazi di manovra. Il numero di convertitori statici utilizzati sarà pari a 18.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da 3 isole da 1.215,2 kW, 2 isole da 1.234,8 kW, un'isola da 1.274 kW, tre isole da 1.195,6 kW, un'isola da 1.176 kW, 5 isole da 1.019,2 kW, 2 isole da 1.038,8 kW e un'isola da 1.058,4 kW. Ciascuna isola sarà realizzata utilizzando moduli da 700 Wp.

Le isole n°1 e 2 saranno composte da n°4 QCC (quadri di campo) ciascuna, nei quali afferiranno 31 stringhe per il parallelo; le isole n°3 e 4 saranno composte da n°4 QCC (quadri di campo) ciascuna, nei quali afferiranno 31 stringhe sui primi due e 32 sulle ultime due per il parallelo; l'isola n°5 sarà composta da n°4 QCC nei quali afferiranno 31 stringhe per il parallelo; l'isola n°6 sarà composta da n°4 QCC nei quali afferiranno 32 stringhe sui primi 2 e 33 stringhe sugli ultimi due per il parallelo; l'isola n°7 sarà composta da n°4 QCC (quadri di campo) nei quali afferiranno 30 stringhe per il parallelo; le isole n° 8, 9 e 10 saranno composte da n°4 QCC (quadri di campo) ciascuna, nei quali afferiranno 31 stringhe sui primi due e 30 stringhe sugli ultimi due per il parallelo; le isole n°11 e 17 saranno composte da n.4 QCC (quadri di campo) ciascuna, nei quali afferiranno 26 stringhe sui primi due e 27 stringhe sugli ultimi due per il parallelo; le isole n°12, 14, 15, 16 e 18 saranno composte da n°4 QCC (quadri di campo) ciascuna nei quali afferiranno 26 stringhe per il parallelo ed infine l'isola N.13 sarà composta da n.4 QCC (quadri di campo), nei quali afferiranno 27 stringhe per il parallelo; in ogni quadro alloggeranno gli organi di sezionamento e protezione da sovracorrenti e sovratensioni.

Dai quadri di campo partiranno cavi interrati opportunamente dimensionati e connessi agli inverter. Gli stessi afferiranno, per ogni isola, ad un quadro di parallelo per gruppi di 2. L'uscita in ca dai convertitori farà capo ad un quadro BT dal quale usciranno cavi che saranno connessi al primario di un trasformatore BT/MT di potenza 2.500 kVA. Ogni coppia di inverter sarà collegata ad un trasformatore BT/MT tramite linea trifase opportunamente sezionata e protetta.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici questo studio geologico-tecnico è stato redatto secondo le disposizioni della L.R. 9/83 "Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico", nonché in accordo con quanto previsto dalle più recenti normative in materia di rischio sismico (D.G.R. 5447/02 "Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania", O.P.C.M. n. 3274/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"; D.M. 17.01.2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni") e con le disposizioni del D.M. 11.03.88 e relativa Circolare Applicativa.

Inoltre il presente studio è stato effettuato anche in ottemperanza alle indicazioni del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - rischio frane (PSAI - Rf) dei territori dell'ex Autorità di Bacino Liri-Garigliano e Volturno, Bacino Liri- Garigliano e Volturno, approvato con D.P.C.M. del 12/12/2006 (Gazzetta Ufficiale del 28/05/2007, n.122) e successivamente con D.P.C.M. del 07/04/2011 approvato per i comuni di cui all'allegato B (pubblicato su Gazzetta Ufficiale del 15/11/2011, n.266), nonché a quelle Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - rischio idraulico (PSAI-Ri) dei territori dell'ex Autorità di Bacino Liri-Garigliano e Volturno, Bacino Liri-Garigliano approvato D.P.C.M. del 12/12/2006 (pubblicato su Gazzetta Ufficiale del 28/05/2007 n.122).

La presente analisi fornisce un inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico dell'area oggetto di studio ed è supportata dalle risultanze delle indagini geognostiche eseguite dagli scriventi nell'area oggetto d'intervento, nonché dagli studi tematici effettuati dall'ex citata Autorità di Bacino e dal Comune di Castel Volturno per la redazione del PUC.

Questo lavoro si prefigge, quindi, di evidenziare le possibili problematiche connesse alle condizioni di assetto idrogeologico in cui versa attualmente il territorio indagato fornendo tutti i suggerimenti necessari per eseguire le scelte tecniche operative più idonee. L'indagine eseguita si è articolata nelle seguenti quattro fasi di studio principali:

1. *Fase preliminare*: la prima fase ha riguardato la raccolta di tutti i dati disponibili presso gli enti pubblici preposti (Comune di Castel Volturno, ex Autorità di Bacino Liri-Garigliano e Volturno) e del materiale bibliografico riguardante l'area in esame.
2. *Fase conoscitiva di base*: durante la seconda fase è stato effettuato il riconoscimento dei lineamenti geologici, geomorfologici e dell'assetto strutturale della zona, dello stato idrogeologico superficiale e sotterraneo, controllo, integrazioni o aggiornamenti delle cartografie di base già redatte per la zona di studio dal dott. Geologo Giuseppe Doronzo per la redazione del P.U.C del Comune di Castel Volturno e da altri enti pubblici.
3. *Fase degli accertamenti di dettaglio*: la terza fase si è svolta prima mediante il rilevamento geologico di campagna, al fine di verificare e aggiornare con rilievi di dettaglio gli aspetti geologici e geomorfologici relativi al territorio in studio, e successivamente con l'analisi delle

indagini geognostiche eseguite e disponibili con la successiva elaborazione ed interpretazione dei dati.

4. *Elaborazione dei dati:* infine si è pervenuti alla stesura della relazione geologica, idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione, che illustra le conclusioni cui si è approdati in fase di sintesi al fine di verificare la compatibilità dei lavori di progetto in relazione alla stabilità della zona ed alle condizioni di assetto idrogeologiche attualmente presenti.

I contenuti della presente relazione geologica e idrogeologica, di compatibilità idrogeologica e di modellazione sismica del sito di costruzione, sono i seguenti:

- inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico dell'area;
- analisi e considerazioni sulle indagini geognostiche e sismiche eseguite sui siti di specifico interesse e su quelle disponibili per l'area di studio;
- caratterizzazione dei parametri geotecnici medi dei litotipi del sottosuolo in esame;
- indicazione della zona sismogenetica, della classificazione sismica regionale e della sismicità storica dell'area di studio;
- indicazione della fattibilità dell'intervento in relazione all'assetto idrogeologico della zona ed in base ai risultati ottenuti dai punti precedenti.

L'obiettivo finale che si vuole raggiungere con il presente studio è quello di valutare la Risposta Sismica di Sito che ha avuto lo scopo di definire, in tutti i suoi dettagli, le caratteristiche del sito di fondazione e del sottosuolo significativamente interessato dalle opere di progetto definendo, come previsto nella nuova normativa per le costruzioni in zona sismica, la Categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche. L'attenzione alle caratteristiche geolitologiche, geosismiche e geotecniche a livello di sito, nasce dalla constatazione ormai ben nota che un deposito incoerente, poggiate su un basamento rigido, può modificare sostanzialmente la composizione spettrale ed il livello energetico dell'evento sismico determinando l'amplificazione di alcune frequenze.

La definizione di tali amplificazioni è essenziale per valutare la pericolosità di un sito potendo essa essere di livello anche molto maggiore di quello relativo alle stesse differenziazioni energetiche legate alla Classificazione. Il Rischio per una struttura sottoposta ad uno stress sismico dipende, infatti, non solo dalla vulnerabilità propria della struttura edilizia, ma anche, e forse principalmente, dall'intensità delle componenti a varie frequenze contenute nel segnale sismico ed in particolare quello relativo alle onde *S*, che, emergendo in genere verticalmente, producono sollecitazioni orizzontali alle costruzioni.

Per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del sito di specifico interesse, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in sito consistente nella realizzazione di

n°2 prove penetrometriche dinamiche continue e n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*).

Ad integrazione delle suddette indagini sono state prese in considerazione anche le indagini geognostiche realizzate dal Comune di Castel Volturno per la redazione del P.U.C. su terreni simili ed appartenenti alle stesse formazioni geologiche dell'area di studio, consistenti in sondaggi a carotaggio continuo per la ricostruzione della stratigrafia della zona, prove S.P.T. in foro di sondaggio e prove di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici dei terreni.

Tali attività hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sito di studio e, nel contempo, di ricavare i principali parametri dei terreni del sottosuolo di interesse geotecnico e sismico, al fine di conoscerne e studiarne il comportamento in relazione alle caratteristiche strutturali e dimensionali dell'opera di progetto.

L'insieme dei dati acquisiti, a parere degli scriventi, risulta sufficiente a riconoscere e descrivere i parametri necessari ad inquadrare la tematica trattata e consente di giungere responsabilmente al parere di competenza, in ordine all'incarico ricevuto.

## 2. Individuazione geografica e cartografica dell'area

Il territorio del Comune di Castel Volturno si estende per una superficie di mq. 72.230.000 ed è attraversato dal più grande fiume regionale, il Volturno, affiancato dal corso del Savone e dai Regi Lagni. In riferimento alla cartografia Ufficiale, geograficamente il territorio esaminato ricade nella Carta Topografica Programmatica della Provincia di Caserta, prodotta dalla regione Campania in scala 1:25.000, nella TAV. N.14 – Mondragone (Quadrante 171-II) e nella TAV. N. 15 – Grazzanise (Quadrante 172-III) (Fig.1).

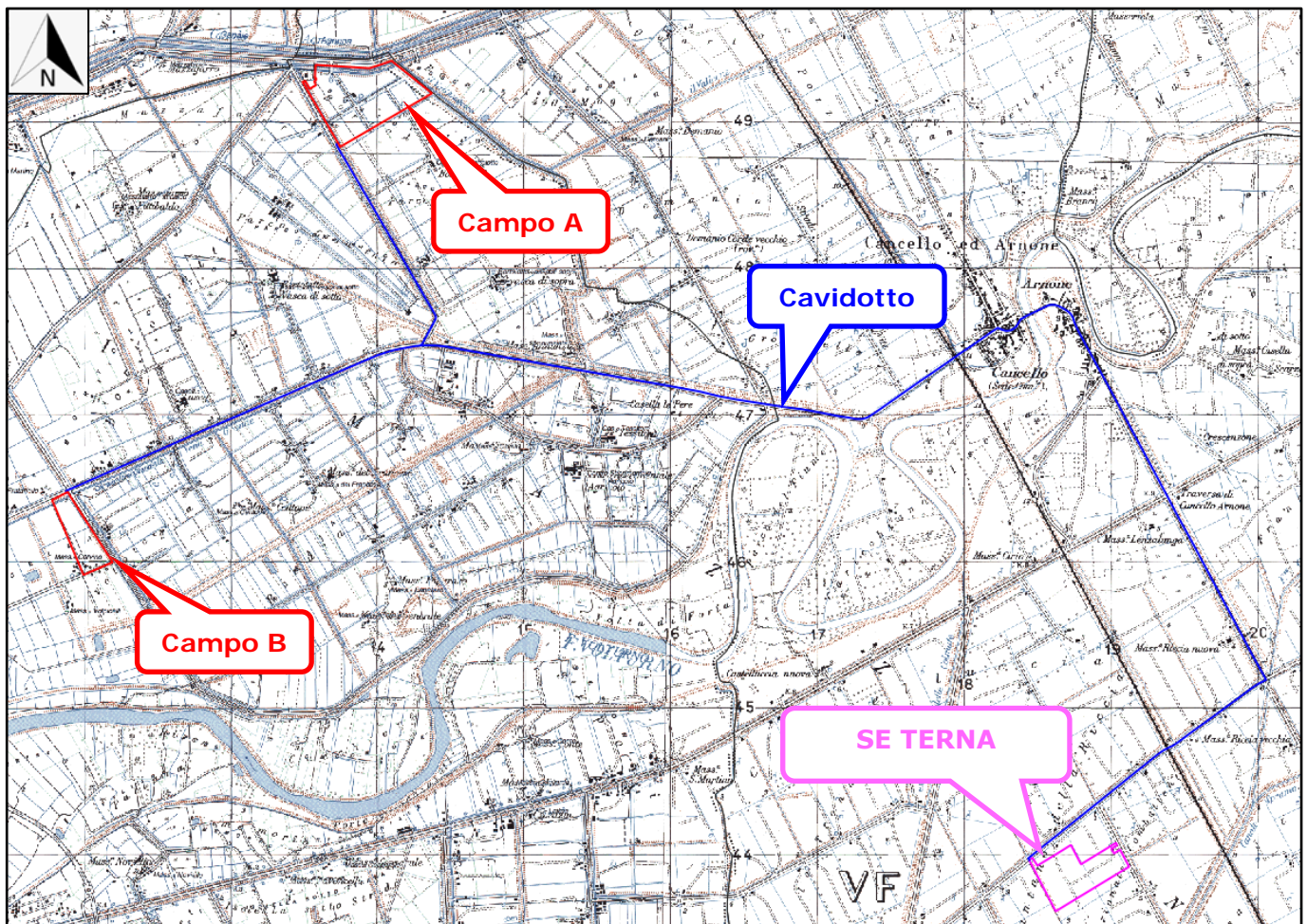


Fig. 1 – della Carta Topografica Programmatica della Provincia di Caserta in scala 1:25.000 con ubicazione dell'impianto agro-voltaico, del percorso della linea in cavo interrato e della cabina primaria

La superficie interessata alla costruzione dell'impianto ricade interamente nel comune di Castel Volturno (CE). I lotti hanno un'estensione complessiva di 38,38 ettari, trascritto al Catasto Terreni come di seguito riportato (Fig. 2):

- CAMPO A - Foglio 3, part. 5104 (41° 05'14.54"N - 13°58'24.49"E)
- CAMPO B - Foglio 8, part. 32 (41°03'37.4"N -13°57'06.0" E).



Il suolo oggetto di intervento risulta classificato nel PRG vigente come Zona E (agricola) e risulta privo di vincoli sia di natura urbanistica che ambientale.

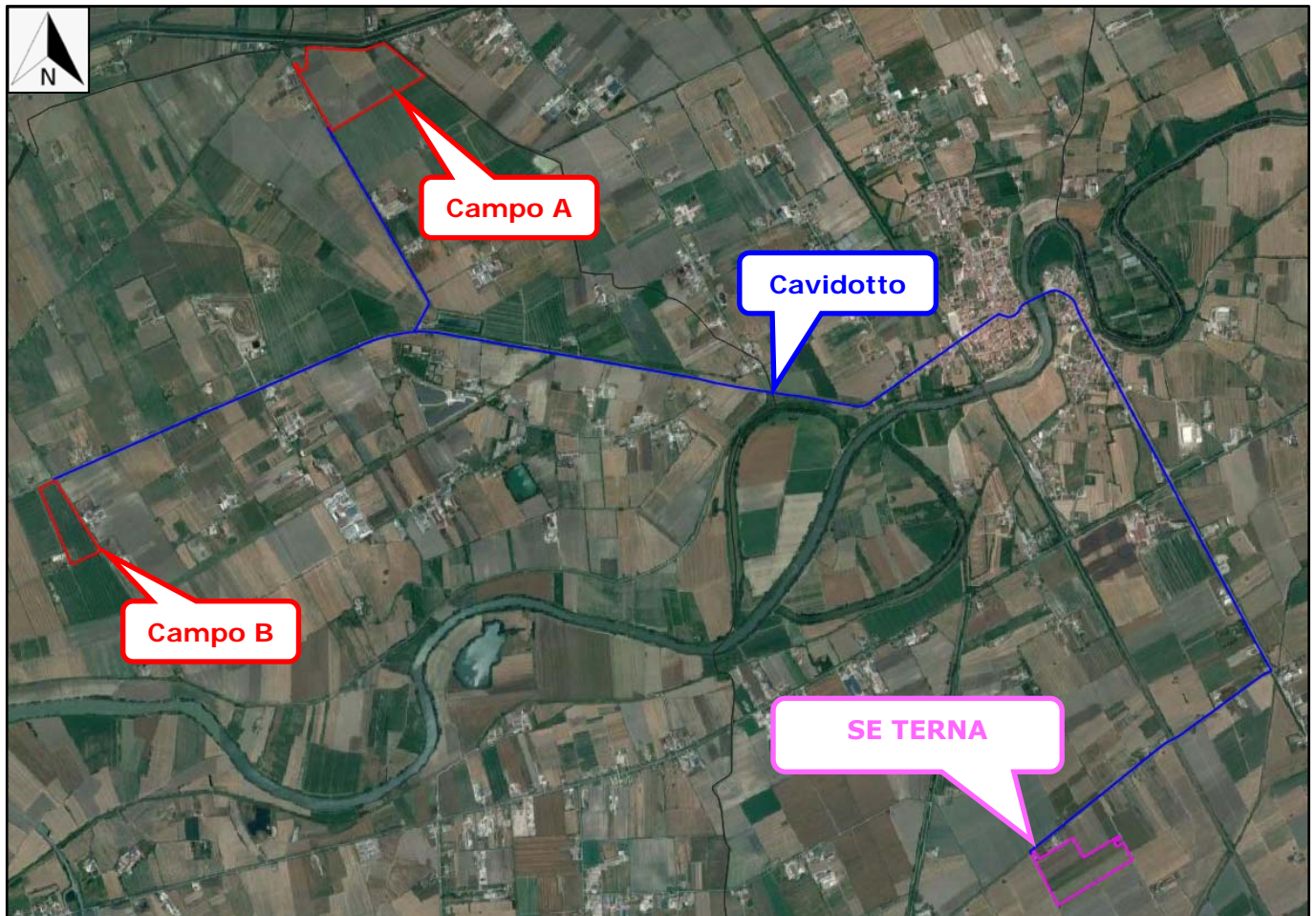


Fig. 2 – Ortofoto tratta da Google satellite con ubicazione dell'impianto agro-voltaico, del percorso della linea in cavo interrato e della cabina primaria

Nell'ambito della Carta Tecnica Numerica Regionale, in scala 1:5.000, la zona di studio è compresa nei seguenti quadranti (Figg. 3-4):

- *Campo A = Elemento n°429121 – Casella di Bortolotto;*
- *Campo B = Elemento n°429123 – Volpicelli.*

Topograficamente la zona in esame si sviluppa ad una quota media di circa 2,5 m s.l.m. su un'area pianeggiante posta nel settore nord-ovest del territorio comunale, in destra orografica del Fiume Volturno, a sud del Canale Agnena e a nord del Canale Vena Grande (Foto 1-2).



*Foto 1 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico – Campo A*



*Foto 1 – Panoramica di una zona che sarà interessata dall'impianto fotovoltaico – Campo B*

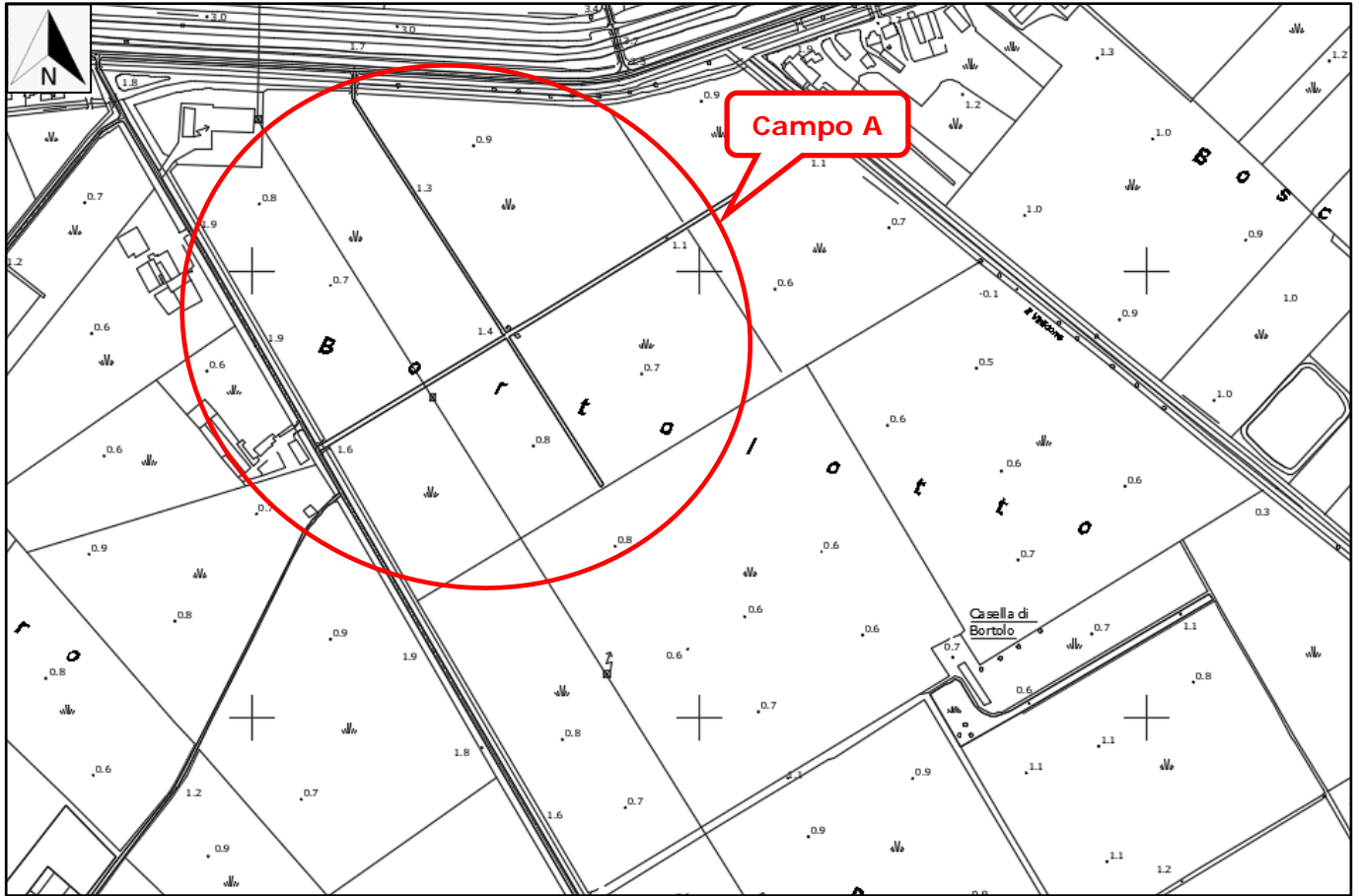


Fig. 3 - Stralcio della Carta Tecnica Regionale Elemento n°429121 "Casella di Bortolotto"



Fig. 4 - Stralcio della Carta Tecnica Regionale Elemento n°429123 "Volpicelli"

### 3. Caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica

#### 3.1 Caratteri litologici e strutturali generali dell'area di studio

Dal punto di vista geologico generale l'area in esame è rappresentata nel Foglio 172 "Caserta" della Carta Geologica d'Italia in scala 1/100.000.

Il territorio comunale di Castel Volturno è ubicato in un'area pianeggiante in piena piana alluvionale della parte terminale del Volturno quota variabile, da circa 6 m a circa - 2 m s.l.m.

L'area, di forma poligonale allungata in senso SSE-NNO, presenta una morfologia, determinata dalla storia tettonica recente e dalla messa in posto (della serie ignimbratica flegrea) di materiale di deposizione alluvionale nonché dall'evoluzione della linea di costa. Si evidenziano sempre pendenze di molto inferiori al 1% ad esclusione delle marginali aree dunali, delle scarpate e/o gli argini degli alvei e degli innumerevoli specchi di acqua presenti (sia essi naturali che di origine antropica). Le pendenze si attestano, in queste piccole aree, su valori del 6-8 %

La morfologia, come detto, è subpianeggiante con quote che non superano i 9 m s.l.m. (verso SSE) e che in taluni casi arrivano a circa - 2 m s.l.m. in alcune zone depresse. E' da considerare che la quasi totalità del territorio comunale è compresa in una fascia altimetrica tra m. 0,0 e 3,0 m s.l.m. ed è da segnalare la presenza un'area leggermente in "rilievo" (3÷9 m s.l.m.), parallela alla linea di costa e larga circa 1 km, corrispondente al cordone dunare. I morfotipi caratterizzanti il territorio sono rappresentati essenzialmente da quelli tipici della morfologia costiera, quelli legati alla dinamica fluviale e quelli di origine antropica.

Per quanto attiene alla morfogenesi della costa è acclarato che il settore di Piana attraversata dal F. Volturno, grazie ad una generale tendenza alla subsidenza, ha conosciuto ambienti marini estesi fin sotto le pendici dei monti di Caserta sino a circa 130.000 anni fa (ROMANO et alii, 1964; CINQUE & ROMANO, 2001). Successivamente si realizzarono condizioni favorevoli alla sua crescita come area emersa. I ritmi della subsidenza tettonica si ridussero sin quasi ad azzerarsi e l'area venne investita dai prodotti piroclastici da flusso e da caduta di provenienza flegrea e p.p. vesuviana.

Nel settore della Piana Campana di precipuo interesse gli elementi che maggiormente, ed in tempi più recenti, hanno improntato la morfologia dell'area sono stati:

- *l'arrivo della potente coltre ignimbratica del Tufo Grigio Campano*
- *l'azione deposizionale esercitata del F. Volturno.*

Il Fiume Volturno penetra nella Piana Campana attraverso la stretta di Triflisco (a nord-est di Capua) e prima che le attività antropiche intervenissero significativamente sul suo corso, il fiume trascinava elevate quantità di materiale solido; si trattava però di elementi dalle dimensioni assai ridotte in quanto quelli più grossolani (sabbie e sabbie grosse) si erano già depositati nella piana di M.te Verna a est di Trisflisco (BIGGIERO et alii, 1994). I sedimenti trascinati dalla corrente idrica e scaricati a mare hanno determinato imponenti fenomeni di protrazione della foce.

Negli ultimi 150 anni quest'ultima ha però subito una progressiva regressione, per fattori legati alla realizzazione di dighe lungo il corso del fiume (che di fatto trattengono pressochè totalmente il trasporto solido) e al prelievo di inerti dal letto fluviale (attività durate dalla fine degli anni '50 al 1974). Durante la fase di protrazione della foce si verificavano anche formazioni di barre dunari e, talvolta, l'occlusione degli sbocchi a mare delle acque superficiali nelle aree in sinistra e in destra rispetto al dosso del Volturno.

Si segnala altresì che gran parte della costa risulta in arretramento ed in particolare quasi tutta la porzione posta a meridione della foce del Volturno, escludendo l'area immediatamente in destra e sinistra della foce dei Regi Lagni ove si evidenzia un avanzamento della linea di costa. Da aggiungere che lì dove sono state realizzate opere di difesa litoranee (siano esse longitudinali che trasversali) il fenomeno è stato contrastato e si evidenzia un avanzamento. Continuando verso meridione e fino ai limiti comunali si segnala un tratto litoraneo ancora in arretramento.

Attualmente negli ambienti costieri ora descritti troviamo i morfotipi caratteristici cioè quelli di duna (con la tipica deposizione sabbiosa) e interdunali lagunari che si conservano in pochi tratti, ovviamente a ridosso della linea di costa ed in larga parte nella porzione Sud Est del territorio.

Riguardo i morfotipi legati alla dinamica fluviale si riconoscono: aree golenali, cuspidi deltizie e meandri abbandonati. Ovviamente le aree golenali sono presenti nelle immediate vicinanze del Volturno, mentre per i Regi Lagni e Canale Agnena il corso è rettilineo e nel primo caso risulta ampiamente cementificato sulle sponde. Si rilevano, all'interno dell'area golenale (quindi ovviamente nei dintorni del Volturno) vari meandri abbandonati che in alcuni casi presentano specchi d'acqua (lago di meandro anche dell'ordine di un ettaro di superficie) ed in altri fanno oramai parte integrante del paesaggio agricolo predominante.

Una volta giunte nella Piana Campana, le acque del Volturno procedevano incassate e con tendenza a divagare. Le esondazioni delle portate di piena dall'alveo provocarono nel tempo il sopralzo dei terreni limitrofi: attualmente il Volturno si presenta pertanto, da Capua fino al mare, con l'alveo incassato nel tratto più alto di un largo ed esteso conoide da lui stesso realizzato nel corso dei millenni. Si sono evidenziati, per taluni tratti del Fiume Volturno, fenomeni di erosione delle sponde che sono stati segnalati nella carta geomorfologica.

Si evidenziano, inoltre, una serie di morfotipi di origine antropica che sono stati realizzati per varie motivazioni. Per quanto riguarda la bonifica operata nella piana (sistema di canali) è noto come l'area in questione, e più in generale intere porzioni della Piana Campana, da sempre sia stata interessata da vasti impaludamenti.

Gli interventi di bonifica più decisivi furono avviati dai Borboni, come l'inalveazione delle acque alte (cioè affluenti dai rilievi) per evitare che esondassero nella piana, reti di colatori di pianura, colmata di aree basse (impiegando le torbide dei corsi d'acqua), sistemazione delle foci a mare per evitare interrimenti e conseguenti esondazioni a monte.

A seguito del D.R. del 1923 furono realizzati ulteriori interventi di bonifica idraulica mediante opere finalizzate a ridurre il rischio di inondazione dei terreni della piana, per mezzo di un sistema

continuo di arginature del Volturno da Capua al mare, al drenaggio delle zone acquitrinose mediante una nuova rete di colatori e, lungo le fasce costiere depresse, al prosciugamento meccanico mediante idrovore.

Altro massiccio intervento antropico è quello relativo alle opere realizzate come difesa per la mitigazione del rischio idrogeologico costituito essenzialmente da argini in terra in molti casi rivestiti in calcestruzzo, come nel caso del Volturno, o alvei ampiamente cementificati, come nel caso dei Regi Lagni.

Sempre esaminando forme antropiche che insistono sul territorio si segnalano una miriade di stagni, anche di grandi dimensioni (in taluni casi con superficie anche di oltre due ettari), concentrati tra il fiume Volturno ed i Regi Lagni a valle della strada a scorrimento veloce posta a monte del centro di Castel Volturno, di fatto in area urbana, creatisi per affioramento della falda in seguito all'intensa attività di escavazione per la realizzazione, in passato, di una serie di cave a fossa per lo sfruttamento, essenzialmente, di litotipi sabbiosi.

Dal punto di vista geologico l'area di studio è ubicata all'interno della Piana Campana. Essa è una vasta area pianeggiante, delimitata a Nord dal M.te Massico, a Nord-Est dai M.ti di Caserta, a Est dai M.ti di Sarno, a Sud dai M.ti Lattari e dalla Piana del Sarno e ad Ovest dal Mar Tirreno.

La Piana Campana rappresenta un grande graben, individuatosi probabilmente nel Pliocene superiore, soggetto ad un pronunciato sprofondamento durante il Quaternario.

Le linee tettoniche lungo le quali è avvenuto l'abbassamento sono ben riconoscibili ai bordi della pianura, dove si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE, che determinano il graduale sprofondamento delle rocce carbonatiche, appartenenti a due distinte unità tettoniche sovrapposte, affioranti tutto intorno al graben al di sotto di notevoli spessori di depositi alluvionali e vulcanici quaternari. In superficie, quindi, sono ben osservabili le strutture marginali del graben.

Le strutture recenti principali sono rappresentate da faglie normali orientate NE-SW e NW-SE, che in almeno due fasi del Quaternario hanno determinato rigetti verticali dell'ordine di qualche migliaio di metri. Le strutture mioceniche, osservabili ai margini della Piana, sono connesse ai fenomeni di sovrascorrimento che hanno interessato la copertura sedimentaria triassico-miocenica e non sono legate alle deformazioni attuali del basamento cristallino. Queste ultime hanno orientamento W-E e sono costituite da una serie di monoclinali immergenti a Nord e delimitate a Sud da faglie normali, aventi rigetti verticali fino a mille metri e che tendono ad estinguersi, verso il basso, sulle superfici di sovrascorrimento.

Le faglie recenti, cui sono connessi anche i fenomeni vulcanici del graben della Piana Campana, sono evidenti, con gli stessi orientamenti e sempre con notevoli rigetti verticali, in tutto l'Appennino Campano-Lucano.

Le aree vulcaniche marine, antistanti la Piana Campana (Isole Pontine, Ischia), sono da mettere in relazione principalmente con strutture recenti ed antiche parallele alla catena, lungo una fascia in cui, in profondità al di sotto dei depositi del Miocene superiore, Pliocene e Quaternario, si ha il probabile contatto tra la crosta assottigliata del tipo tirrenico e quella deformata ed ispessita

sottostante la catena. Lungo tale fascia, si potrebbe avere la sovrapposizione della crosta del bordo orientale tirrenico sulle unità sedimentarie ricoprenti la crosta deformata del margine continentale africano. Le strutture principali recenti che hanno controllato il vulcanismo di questa fascia, quindi, sarebbero da collegare principalmente all'assetto strutturale profondo determinatosi dal Pliocene al Quaternario.

I fenomeni vulcanici dell'area Flegrea, del Roccamonfina e del Vesuvio sono connessi a strutture recenti che interessano anche la crosta, deformatasi probabilmente per fenomeni compressivi fino al Messiniano, sostenente le unità sedimentarie della catena.

Queste zone vulcaniche sono ubicate in corrispondenza dei graben delimitati da faglie orientate NE-SW e NW-SE, là dove si individuano le zone di massimo sprofondamento.

I dati pubblicati in letteratura (Celico, 1983; CIVITA et Alii, 1973; Corniello et Alii, 1990; Ortolani & Aprile, 1978; 1985) (De Riso, 1990) indicano, un sottosuolo così articolato, a partire dai terreni più recenti a quelli più antichi:

- terreni prevalentemente sabbiosi, dunari e di spiaggia e depositi limo-argillosi di interduna, affioranti in una fascia larga circa 1-2 km prospiciente il mare;
- depositi limo-sabbiosi fluvio-palustri associati a depositi torbosi, che affiorano nella maggior parte dell'area in esame e raggiungono i massimi spessori (30 m) in prossimità del corso del Volturno;
- tufo grigio campano, spesso sormontato da piroclastiti sciolte, affiorante nel settore a nord del T. Savone; il banco di tufo si approfondisce e si assottiglia via via che ci si approssima al corso del Volturno; infatti lo spessore complessivo varia dai 40÷45 m alle pendici del M.te Massico ai 2÷3 m in prossimità del F. Volturno dove sovente il tufo ha consistenza "terrosa" ed a luoghi è assente per locali fenomeni erosivi;
- terreni sabbioso-limoso-ghiaiosi di ambiente marino, rinvenuti in perforazione alla base del tufo, che talora passano lateralmente o poggiano (in destra Volturno) su terreni granulometricamente affini ma di origine piroclastica; lo spessore è di 50÷60 m;
- terreni a granulometria fine (da limo-sabbiosi a limo-argillosi), anch'essi di probabile ambiente marino, con spessori di qualche centinaio di metri;
- depositi vulcanici antichi (tufi e lave andesitiche e basaltiche attribuibili ad attività preflegrea) con spessori notevoli;
- depositi clastici di età mio-pliocenica (profondità 3÷5 km) affioranti localmente sul versante meridionale del M. Massico;
- terreni carbonatici di piattaforma, affioranti al M.te Massico e mai raggiunti dalle perforazioni profonde eseguite nel settore baricentrico della Piana Campana poichè ribassati da "ripide" gradonate di faglia.

Dall'andamento del tetto del Tufo Grigio Campano, si osserva un aumento della profondità di questo ultimo dalle zone circostanti la Piana Campana verso il corso del fiume Volturno; la

massima profondità si raggiunge nella parte terminale del corso (circa -20 m s.l.m.). La morfologia attuale del suolo riproduce a grandi linee l'andamento del Tufo Grigio a NW dell'allineamento Napoli-Caserta; a SE di tale allineamento ad un'immersione generale del tetto del tufo verso il Vesuvio corrisponde un andamento topografico superficiale opposto.

Nella zona del basso corso del fiume Volturno i terreni di copertura hanno spessore variabile da circa 20 m a circa 40 m. In questa zona, tra Cancellone Arnone e Villa Literno, a luoghi, non viene rinvenuta la formazione tufacea; questa mancanza è da attribuire all'azione di processi erosivi successivi alla messa in posto dell'ignimbrite (Ortolani & Aprile, 1985).

Osservando la carta delle isopache, si nota chiaramente un andamento dello spessore della formazione ignimbritica decrescente a partire dai monti di Caserta e in un'area compresa tra il Lago di Patria e l'abitato di Giugliano e ad est di questo ultimo.

Queste zone sono di massimo spessore e coincidenti, in pratica, con le zone di minore profondità del tetto. Nell'area compresa tra il M. Massico ed il corso del fiume Volturno, la base del tufo presenta la massima depressione, variando da quota +8 m s.l.m. nei pressi del Massico a circa -30-40 m s.l.m. nei pressi del Volturno. La massima depressione corrisponde alla zona con maggiori spessori dei terreni di ricoprimento.

### 3.2 Caratteri litologici del territorio di Castel Volturno

Il territorio comunale di Castel Volturno è caratterizzato da una distribuzione spaziale, dei litotipi affioranti, abbastanza varia; essenzialmente sono sette le unità presenti.

Nella zona litorale, con un'estensione di 2,22 Km<sup>2</sup> circa, pari al 2,97% dell'area, sono presenti le spiagge attuali (*SA\_ATT*) costituite da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore. Spostandosi dalla zona litorale parallelamente alla costa e per tutto l'allineamento spostandosi verso la parte orientale del territorio comunale si passa a terreni che obbediscono, in maniera rigorosa, ai meccanismi e le modalità deposizionali delle dune litorali. Tale membro (*SA\_DUN*) risulta costituito da sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi. Tali terreni, che racchiudono il 26,45% della superficie comunale, pari a 19,82 Km<sup>2</sup>, e si rinvencono in superficie ad una quota tra i 0 e i 9 m s.l.m..

Procedendo ancora verso est dalla zona litorale parallelamente alla costa e solo in sinistra foce Volturno si individuano delle sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate di retroduna (*SA\_RETRODUN*) che rappresentano il 9,73% della superficie comunale, pari a 7,29 Km<sup>2</sup>. Considerando ora il corso del Volturno, la prima evidenza è rappresentata dalle alluvioni in golenia del fiume costituite da sabbie grigie sciolte ed argille grigio-azzurrognole poco consistenti (*ALL\_A\_GOL-V*). Tali terreni si rinvencono in una fascia posta a cavallo del fiume per circa 9,11 Km<sup>2</sup> in destra e sinistra orografica per circa costituendo circa il 12,16% del territorio comunale.

Si passa ad un'ulteriore fascia esterna rispetto a questa ora descritta e sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del Volturno costituita da alluvioni recenti del Volturno costituite da argille marroni e grigio-bluestre, da poco a mediamente consistenti con abbondanti resti vegetali



lignei e molluschi, e sabbie grigie poco addensate con inclusi elementi pomicei e scoriacei. Torbe (*ALL\_R\_V*). Costituiscono una gran parte del territorio di Castel Volturno rappresentandone il 14,50% per un'estensione di circa 10,87 Km<sup>2</sup>.

Spostandosi ulteriormente ad una fascia ancora più esterna rispetto al corso del Volturno ma sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del fiume si segnalano depositi di transizione costituiti da argille grigie da poco a mediamente consistenti e sabbie grigie poco addensate (*AG\_SA\_TR*). Tali depositi di transizione raffigurano il 15,76% per un'estensione di circa 11,81 Km<sup>2</sup> del territorio comunale.

Il rimanente 18,42% del territorio, pari a 13,80 Km<sup>2</sup>, che comprende anche l'area di specifico interesse oggetto della realizzazione dell'impianto fotovoltaico in località Bortolotto, è caratterizzato da argille sabbiose grigio azzurrognole marroni da poco a mediamente consistenti con resti di molluschi, argille torbose poco consistenti. Torbe. (*AG\_SAAG\_T\_P\_L*).

Questi ultimi litotipi affiorano nelle aree più depresse del territorio comunale caratterizzate da facies deposizionali di tipo lagunare palustre ossia quelle oggetto di bonifica.

In tale contesto litostratigrafico, connesso alla morfologia poc'anzi descritta, non si segnalano nell'area in esame, al momento, fenomeni di instabilità geomorfologica connessi a eventuali movimenti di massa dei terreni e non sono state individuate cavità sotterranee.

### **3.3 Idrologia ed idrogeologia generale dell'area in esame**

La stratigrafia del sottosuolo della Piana Campana è nota con sufficiente dettaglio attraverso i dati di perforazioni eseguite in passato per vari scopi (ricerche di idrocarburi e di forze endogene; ricerche d'acqua).

In particolare è stata accertata, nelle zone prossime ai massicci carbonatici che si snodano con continuità dal "casertano" al "sarnese", la presenza, al di sotto di uno spessore di materiale piroclastico (prima) e limo-sabbioso-ghiaioso (poi), di un substrato prevalentemente calcareo che tende ad approfondirsi abbastanza rapidamente dai -100/150 m dal p.c. (nelle zone pedemontane o nelle valli interne) ai -300/400 m dal p.c. (nelle zone distanti 2-3 Km dal piede dei rilievi).

Man mano che ci si sposta verso Ovest, esso sprofonda a varie migliaia di metri, tanto vero che non è stato raggiunto dalle perforazioni eseguite in passato per ricerche di idrocarburi nel basso Volturno. (Figg. 5-6)

Quindi, dal punto di vista idrogeologico la Piana Campana, in cui è inserita la zona esaminata, è un'unità idrogeologica costituita da una spessa coltre di depositi vulcanici, alluvionali e marini, con caratteristiche litologiche ed idrogeologiche molto diverse tra loro.

Questa configurazione lito-stratigrafica connessa alla presenza delle strutture vulcaniche dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio, porta all'instaurarsi di flussi sotterranei complessi con presenza di più falde sovrapposte e molte volte intercomunicanti.

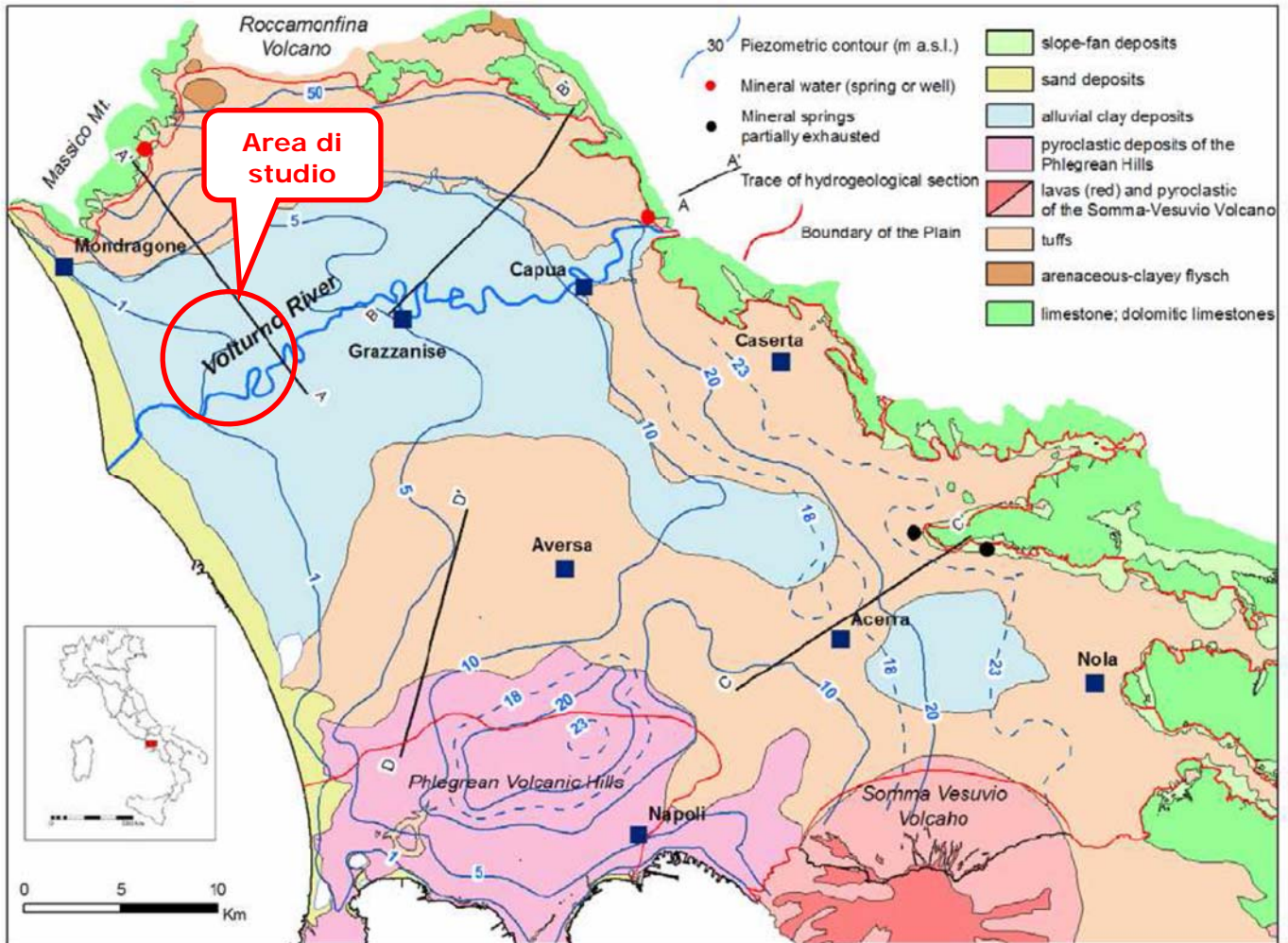


Fig. 5 - Carta idrogeologica della Piana Campana (da Ducci, 2007)

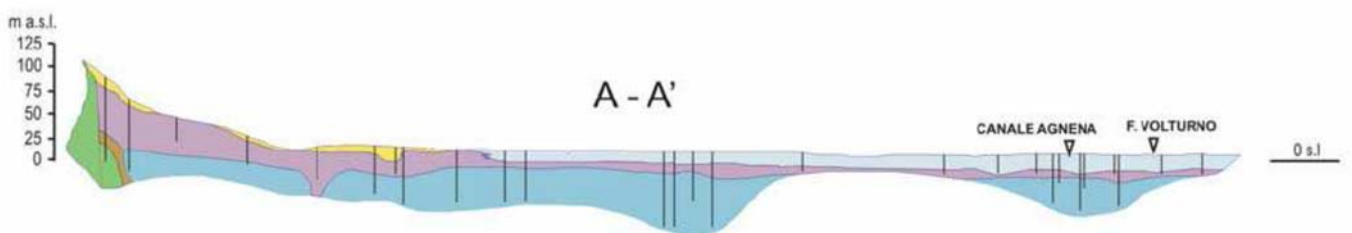
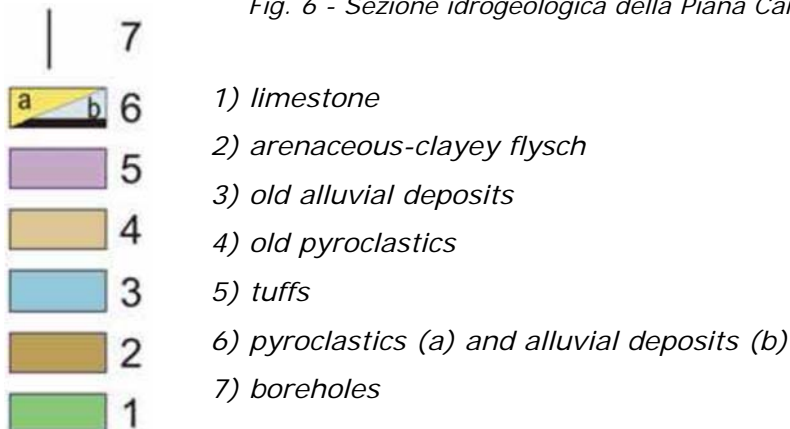


Fig. 6 - Sezione idrogeologica della Piana Campana (da Corniello - Ducci, 2007)



I corsi d'acqua principali che si riscontrano nell'area d'indagine sono:

- Il F. Volturno che ha una lunghezza di circa 180 km con un bacino esteso per complessivi 5.615 kmq ed è il corso d'acqua più importante dell'Italia Meridionale. Considerando il tratto da Ponte Annibale (18 m s.l.m.) alla foce, il fiume si dipana per circa 50 km, con una pendenza media dello 0,36%. In questo tratto gli spartiacque naturali del bacino del F. Volturno corrono paralleli e delimitano una fascia larga 2-4 km entro cui l'alveo è caratterizzato da numerosi meandri, con un tratto quasi rettilineo fra i centri abitati di Grazzanise e Canello Arnone. Attualmente l'alveo del corso d'acqua scorre, da Capua al mare, fra argini costruiti dal Consorzio di Bonifica del F. Volturno.
- Il canale Regia Agnena, raccoglie le acque sorgentizie (prevalenti) e superficiali della dorsale di M. Maggiore fino a Ponte Annibale. Questo canale, lungo circa 30 km con una pendenza media inferiore allo 0,1%, ha un bacino di circa 300 kmq e drena le aree depresse (quote anche di -1 m ÷ -2 m s.l.m.), comprese fra il F. Savone ed il F. Volturno, con l'ausilio delle idrovore di Mazzasette e Mazzafarro, rispettivamente in sponda destra e sinistra del canale.

La Regia Agnena è stata modificata nel corso dei secoli con il progredire delle tecniche di bonifica idraulica. Nel 1846 era ormai completata la sistemazione dei terreni non depressi della piana prosciugabili per scolo naturale.

Durante il periodo borbonico, l'alveo della Regia Agnena fu ampliato e rettificato, munito di argini e di controfossi al fine di separare le acque "alte" provenienti dai monti circostanti, dalle acque "basse" dovute alle precipitazioni dirette, e fu predisposta una rete di canali in cui convogliare le torbide del F. Volturno allo scopo di bonificare per colmata le aree poste al di sotto del livello del mare.

Nel periodo fra le due guerre mondiali, nell'ambito della "bonifica integrale", si decise di procedere con il sistema del prosciugamento meccanico mediante idrovore.

Nel dopoguerra, ad opera del Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno, sono continuate le opere idrauliche: si procede al ripristino delle canalizzazioni di acque medie della Regia Agnena e dei canali tributari e viene potenziato l'impianto idrovoro di Mazzafarro; inoltre, le acque provenienti dai monti circostanti la piana vengono sottratte alle aree bonificate tramite il Canale Lanzi, che si estende per 25 km dal Rio Lanzi (affluente della Regia Agnena) al F. Savone per poi intercettare il R. Fiumarella.

### 3.4 Idrometria

Per fornire considerazioni riguardo le caratteristiche idrologiche che di seguito si riportano si è fatto riferimento alla bibliografia scientifica e tecnica esistente. Considerando, per ovvi motivi, il solo F. Volturno si deve valutare come il regime dei deflussi del Fiume sia direttamente collegato all'assetto climatico, e classificabile come regime pluviale. Gli innevamenti sono infatti limitati a piccole zone, la cui superficie è percentualmente irrilevante rispetto a quella dell'intero bacino.

Anche l'apporto sorgentizio riveste nell'insieme un ruolo secondario perchè le copiose sorgenti perenni sono quasi integralmente captate. L'andamento dei deflussi si presenta quindi parallelo a quello delle precipitazioni con un minimo in agosto ed un massimo in febbraio.

Il F. Volturno riceve, a monte di Ponte Annibale, gli importanti afflussi sorgentizi di Triflisco, Fontana Pila e S. Sofia, con portate di magra complessive di circa 3 mc/s. Presso Ponte Annibale (17,5 m s.l.m.) il fiume presenta una portata "naturale" media, ricavata per il periodo 1924-1942, di circa 100 mc/s, pari a 17,5 l/s.kmq, per un bacino di circa 5550 kmq con piovosità media annua di circa 1200 mm, il coefficiente di deflusso è di 0,46. I valori dei deflussi "naturali" misurati a Cannello Arnone (2,6 m s.l.m), 18 km a monte della foce, per il periodo (1931-1942 e 1950-1970), sono lievemente superiori (103 mc/s di portata media, con un coefficiente di deflusso di 0,50) a seguito della azione drenante del F. Volturno rispetto alla piana omonima.

Valori nettamente più bassi (83 mc/s di portata media con coefficiente di deflusso di 0,40) si rilevano per le portate effettivamente defluite nel periodo 1954-1970, a causa delle numerose concessioni ad uso idropotabile, irriguo ed idroelettrico a monte di Cannello Arnone.

Attraverso le caratteristiche litologiche dei terreni è possibile dedurre il grado di permeabilità di ciascuno di essi: si è trattata di una distinzione schematica confortata dall'elaborazione e correlazione di numerosi dati ed osservazioni disponibili per l'area di studio. Dall'analisi idrogeologica generale dell'area si ricava la presenza di diversi litotipi che possono, in base alla loro permeabilità, essere suddivisi in differenti complessi idrogeologici di seguito descritti.

#### **Complesso sabbioso (CSA)**

Affiora in corrispondenza della zona costiera su una fascia che è larga circa tre chilometri e risulta costituita da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore; da sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi; sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate di retroduna. Dai dati stratigrafici si possono riconoscere intervalli prevalentemente sabbiosi e a luoghi da quelli sabbiosi-limosi.

Si riconosce una potenza di circa 16 m nella porzione nord-occidentale del territorio comunale (precisamente a Nord della foce del Volturno).

Nella porzione posta a meridione dei Regi Lagni, lo spessore è almeno di 30 m, allontanandosi dalla linea di costa gli spessori vanno calando e a luoghi si segnalano interdigitazioni con terreni di transizione o francamente alluvionali. La permeabilità è medio-alta per porosità al crescere delle dimensioni dei granuli ed in presenza di scarso.

### **Complesso alluvionale (C ALL)**

Con tale sigla sono indicati i depositi alluvionali presenti a tetto dell'Ignimbrite Campana e legati agli espandimenti fluviali del Volturno, a fasi palustri (zone della bonifica del basso Volturno), nonché ad episodi marini con terreni francamente sabbiosi. La ricostruzione dei rapporti spaziali delle componenti a diversa granulometria non è né semplice né immediata, comunque dal punto di vista areale detto complesso rappresenta una parte preponderante nell'ambito del territorio comunale.

La parte del complesso presente a ridosso del F. Volturno comprende un'alternanza irregolare di materiali di varia granulometria (argille, sabbie e talora lenti di ghiaie spesse fino a qualche metro) legati a deposizione fluviale (durante le ultime migliaia di anni, il Volturno, costretto a divagare dalla quasi raggiunta stabilità del livello di base, ha costruito un tracciato tipicamente pensile ed un piccolo delta a cuspide).

Gli spessori di questa porzione di complesso sono vari e partendo dal Volturno e procedendo verso sud, questi depositi si osservano in affioramento fino a distanza massima di 1.5 - 2 chilometri dove passano per eteropia ai materiali descritti di seguito. Questa porzione nell'insieme ha una permeabilità piuttosto bassa che tende ad innalzarsi in corrispondenza degli orizzonti più grossolani. Sempre nello stesso complesso si riconoscono terreni riconducibili ad antichi espandimenti alluvionali dei canali dei Regi Lagni a ridosso dei quali in effetti si localizza. Nei sondaggi che lo hanno attraversato si denota: il complesso appare sempre rappresentato da argille e limi, assai spesso associati a livelli torbosi; gli spessori sono fino ad alcune decine di metri; si evidenziano anche i rapporti eteropici tra questo complesso e le alluvioni del Volturno.

Per la granulometria in prevalenza fine dei materiali costituenti, il questa porzione risulta dotata di permeabilità molto ridotta. C'è da aggiungere che i sondaggi hanno rivelato, a diverse altezze stratigrafiche, livelli di materiale torboso, a luoghi caratterizzati da continuità areale e con potenze di circa 2,0 - 2,5 metri. IL passaggio con i termini precedentemente descritti, a luoghi si segnalano con interdigitazioni.

La struttura del complesso è pertanto articolata: i depositi che lo costituiscono presentano, infatti, variazioni granulometriche in senso areale e lungo le verticali. E' pertanto difficile che siano presenti livelli continui di scarsa permeabilità sufficienti a frazionare il complesso in più strati distinti. In questo complesso le acque sotterranee tendono pertanto a digitarsi in più livelli, corrispondenti alla variazione dei materiali presenti e variamente interconnessi, ma conservando sempre carattere di corpo idrico unitario. Quindi complessivamente la permeabilità è in genere medio-bassa, anche se ovviamente tende a crescere con il prevalere locale di granulometrie più grossolane e poco assortite.

### **Complesso piroclastico (CP)**

E' da premettere che il complesso in questione non è mai affiorante ma che si riconosce nei sondaggi in profondità. Esso è costituito da piroclastiti, di granulometria da media a fine (piccole pomice, ceneri, lapilli etc.), quasi sempre sciolte o debolmente cementate. I diversi materiali sono

spesso fra loro frammisti, anche se talora possono individuarsi livelli prevalentemente cineritici o pomicei. Nel caso in specie si tratta granulometricamente di sabbie o sabbie-ghiaiose con subordinata frazione limosa. I sondaggi che hanno attraversato il complesso (anche al di fuori delle aree di pertinenza, indicano infatti una notevole variabilità granulometrica sia in senso areale che lungo le verticali investigate. Il complesso è estesamente affiorante soprattutto nella Piana Campana dove è presente con spessori assai significativi.

In termini di area vasta gli acquiferi che si evidenziano costituiscono a grande scala una falda unica (sovente pozzi attestati nei differenti acquiferi hanno fatto registrare le stesse quote piezometriche) con una circolazione idrica talora a pelo libero, talora in pressione laddove la porzione a granulometria più fine dei terreni limo-sabbiosi fluvio-palustri oppure dei livelli continui di tufo lapideo non fratturato tamponano superiormente la falda (De Riso, 1990).

Sempre su area vasta, prove di emungimento effettuate nell'area (De Riso, 1990) e dati di letteratura (Corniello et Alii, 1990) assegnano valori di trasmissività che variano fra  $1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (pozzi attestati nei depositi prevalentemente sabbiosi) ed  $1 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (pozzi attestati nelle piroclastiti superficiali).

Vi è da puntualizzare, sempre per gli ambiti di macroarea, che nei settori al piede dei rilievi, dove la piezometrica del corpo idrico si colloca in corrispondenza di forti spessori tufacei poco permeabili, la falda ha carattere nettamente confinato; man mano che dai rilievi si procede verso il Volturno, il complesso tufaceo si fa discontinuo, assai meno potente e diagenizzato ed a volte manca del tutto. In questi casi si determina una qualche continuità idraulica tra i materiali piroclastico/alluvionali dell'acquifero ed i sovrastanti terreni alluvionali più recenti.

In ragione delle caratteristiche granulometriche di questi ultimi, la falda assume carattere semiconfinato o libero.

A grande scala, le curve piezometriche:

- individuano una netta area di drenaggio della falda in corrispondenza della zona centrale della piana; infatti a) le direzioni di flusso della falda convergono verso tale zona e b) qui si registra una notevole spaziatura delle curve piezometriche a significare un locale incremento della trasmissività dell'acquifero per aumento della sezione di flusso e/o della permeabilità del mezzo;
- indicano che il recapito definitivo della falda è rappresentato dal mare; la falda affiora anche in corrispondenza del lago di Carinola (qui infatti le portate dell'emissario superano quelle affluenti Comune di Falciano del M., 1996) ed in diffuse venute d'acqua nella depressione della Regia Agnena;

E' da notare la stretta somiglianza che accomuna, a ridosso del Volturno, curve piezometriche ed isoipse. Una somiglianza che si deve ad una causa comune: l'azione del fiume. Il Volturno ha infatti condizionato la morfologia della zona originando, nel corso dei millenni, il lungo conoide sul cui colmo ha impostato il suo corso; da questa posizione, lungo l'alveo, il fiume contribuisce ad

alimentare (per assenza impermeabili interposti) la falda sottostante e ne determina l'innalzamento piezometrico in corrispondenza del suo tracciato.

Le caratteristiche idrogeologiche specifiche del sito ubicato in località Parco del Castello dove sarà realizzato l'impianto fotovoltaico e le opere ad esso connesse, in relazione a quanto illustrato nelle pagine precedenti, possono essere sintetizzate come di seguito meglio specificato.

L'acquifero superficiale presente circola a pelo libero ad una profondità dal piano campagna di circa 2.5 metri in direzione Ovest e sud-ovest, verso l'attuale linea di costa e risulta frazionato su più livelli a causa della presenza di lenti e livelli argillosi caratterizzati da permeabilità bassa o medio bassa. L'acquifero, inoltre, è sostenuto alla base dall'unità a bassa permeabilità costituita dall'ignimbrite campana.

Dai numerosi dati bibliografici relativi a studi dell'area, dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi disponibili per il territorio, confermati dalle indagini geognostiche eseguite nel sito di specifico interesse per il presente lavoro, è stato possibile desumere che, in corrispondenza dell'area che sarà interessato dall'impianto fotovoltaico l'unità alluvionale che ospita l'acquifero superficiale abbia localmente uno spessore di circa 20 metri e passi poi all'unità dell'Ignimbrite Campana, i cui caratteri idrogeologici evidenziano una permeabilità bassa o molto bassa.

Lungo le verticali stratigrafiche indagate, inoltre, la presenza di livelli francamente argillosi impermeabili all'interno dell'unità alluvionale, frazione la falda superficiale su più livelli, la cui posizione quindi varia in relazione allo specifico andamento geometrico di questi acquicludi.

In merito ai livelli piezometrici della falda superficiale del sito indagato infine, è opportuno fare alcune considerazioni da tener presente in sede di progettazione strutturale. Tenuto conto che la soggiacenza della falda superficiale è stata misurata nei mesi di agosto (-2,20 m dal p.c.) e dicembre (-2,50 m dal p.c.) 2021, dopo un prolungato periodo di siccità, è possibile ipotizzare che nel corso dell'anno e, soprattutto nel corso delle stagioni maggiormente piovose, essa possa avere delle oscillazioni verso il piano campagna.

Quindi è necessario, in fase di progettazione strutturale, tenere conto anche delle oscillazioni nei livelli piezometrici che la falda potrebbe ciclicamente subire nel corso dell'anno idrogeologico.

## 4. Pericolosità geologica dell'area di studio

### 4.1 Piano Stralcio Difesa Alluvioni Basso Volturno

Il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico Rischio di Frana (PSAI-Rf) e Rischio Idraulico (PSAI-Ri) per il bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso del territorio relative all'assetto idrogeologico del bacino idrografico di riferimento. Con DPCM del 21/11/01, pubblicato sulla G.U. n.42 del 19/02/02, è stato approvato il Piano Stralcio di difesa dalle Alluvioni per le aste principali del bacino Volturno denominato comunemente PSDA.

Successivamente è stata redatta una proposta di progetto di variante a tale Piano (*PSDA-bav*) che interessa l'asta terminale del fiume Volturno ed in particolare il tratto arginato da Capua a mare. Le motivazioni che hanno condotto alla predisposizione di tale variante sono derivate dai contenuti degli studi effettuati ed hanno portato a predisporre una nuova disciplina delle aree retroarginali. Tali attività hanno permesso la produzione degli elaborati del PSDA-bav ed in particolare sono state predisposte:

1. nuova carta di Zonizzazione ed individuazione degli squilibri per il basso Volturno (tavola 4.43-bav sostitutiva della tavola 4.43 del PSDA);
2. linee guida per la predisposizione di un Piano intercomunale di Protezione Civile per i comuni di Capua, S. Maria La Fossa, Grazzanise, Cancellò ed Arnone e Castel Volturno: tale piano viene considerato uno strumento necessario ed attuativo del PSDA.bav.
3. norme di attuazione specifiche per il basso Volturno differenziate da quelle vigenti per il restante ambito del PSDA. Tali norme contengono anche una serie di disposizioni per la fascia costiera individuata che vengono adottate come misure di salvaguardia ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della legge 183/89;
4. individuazione degli interventi strutturali sul corso d'acqua ritenuti prioritari per la messa in sicurezza.

### 4.2 Carta della zonizzazione ed individuazione degli squilibri e norme di attuazione

La carta di zonizzazione ed individuazione degli squilibri è redatta in scala 1:25.000, ed è indicata come 4.43-bav. Tale tavola sostituisce la precedente 4.43. L'ambito individuato è suddiviso nelle seguenti tre parti:

- a) Fascia A, compresa tra gli argini maestri e del tutto coincidente con quella individuata dal PSDA limitatamente al tratto arginato. Su tale fascia, che conserva il concetto di pericolosità, vengono riportate le condizioni di squilibrio già individuate nel PSDA;
- b) Area R (retroarginale) costituita dall'area di criticità, coincidente con le ex sottofasce B1, B2 e B3 ed in piccolissima parte con la fascia A costiera del PSDA. Per tali aree, individuate come



critiche, non è stato possibile allo stato attuale differenziare i differenti livelli di pericolosità, e pertanto le stesse sono state assoggettate a un'unica disciplina specifica riportata nelle norme di attuazione.

- c) Zona costiera coincidente con la ex fascia A costiera ad esclusione della piccola area indicata al punto b. Sulla stessa viene imposta soltanto una norma di salvaguardia, in attesa che venga redatto il Piano stralcio di erosione costiera.

Come già detto il *PSDA-bav* definisce una norma specifica di regolamentazione ed uso del territorio in funzione dei tre elementi territoriali individuati.

Per la fascia A vengono in generale ricalcati i contenuti delle vigenti norme di attuazione del PSDA, pur utilizzando una impostazione formale differente; infatti l'esperienza acquisita con l'applicazione del PSDA, ha evidenziato in alcuni casi dubbi interpretativi.

In particolare, le citate norme indicano attività vietate ed attività consentite nelle fasce fluviali, ingenerando dubbi sulla liceità di ulteriori attività che di fatto non sono né vietate e né consentite dalle norme. Si prevede pertanto, adeguandosi a quanto già fatto nel PSAI-Ri, di indicare le sole attività esclusivamente consentite.

Discorso differente riguarda invece le aree *retroarginali* (aree R), per le quali la norma è stata riscritta, tenendo conto della situazione urbanistico-territoriale attentamente studiata, e con una impostazione meno vincolistica, ma più "programmatoria", e coordinata con gli interventi strutturali e con la Pianificazione d'emergenza, quindi con gli altri elementi di attuazione del PSDA-bav. In particolare è stato riconsiderato il divieto di edificazione sulla scorta di conoscenze specifiche e gli studi di dettaglio effettuati valutando la sostenibilità territoriale e quindi la effettiva necessità di realizzazione di specifici insediamenti.

Relativamente a quanto previsto dalle **Norme di attuazione relative alla Variante al P.S.D.A. Basso Volturno da Capua alla foce**, l'area interessata dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico in località Bortolotto e l'elettrodotto interrato rientrano nella zona perimetrata "**Area retroarginale**" (Fig. 7).

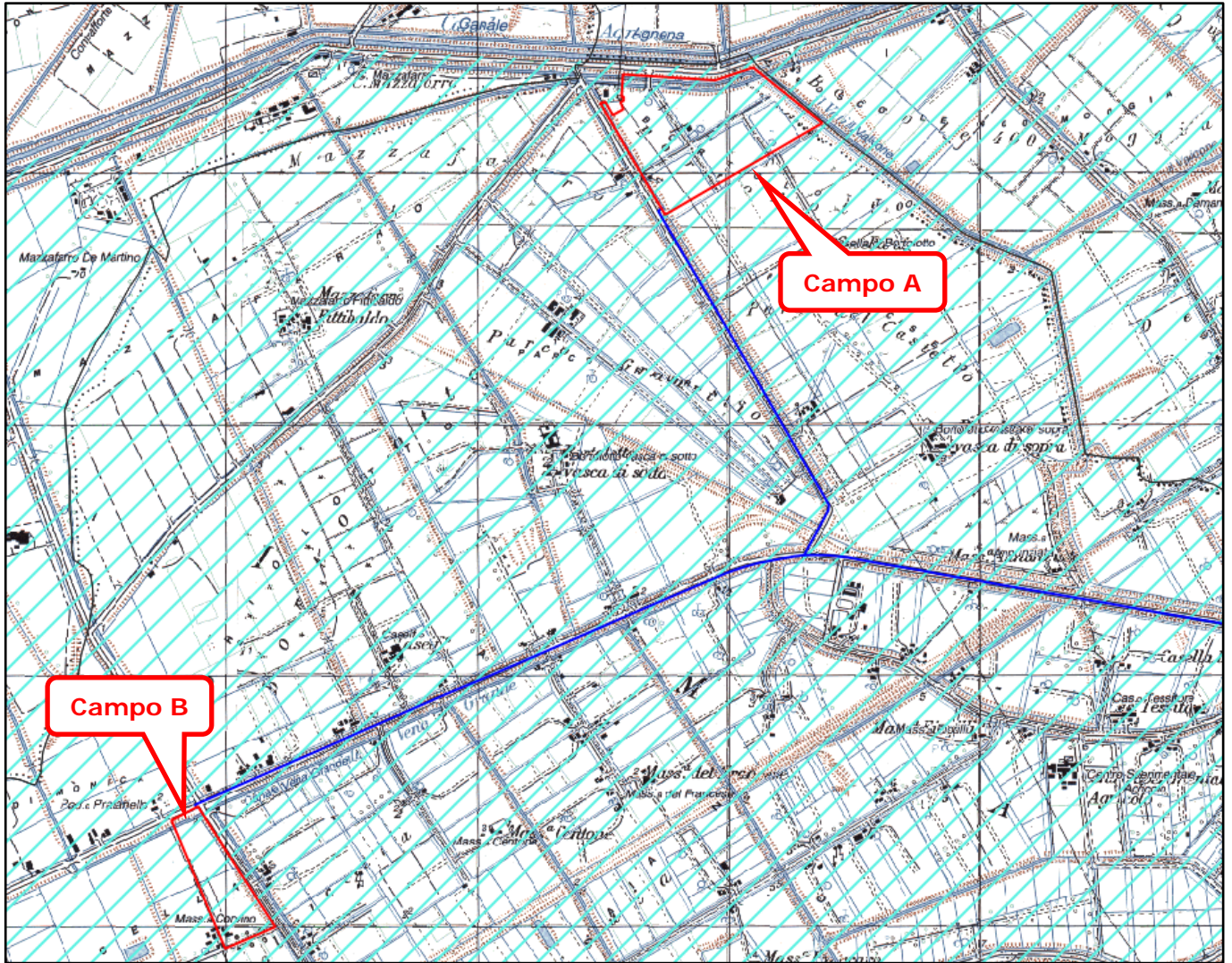


Fig. 7 - Piano Stralcio Difesa Alluvione Basso Volturno  
Stralcio della Carta della zonazione ed individuazione degli squilibri

**Legenda**



Le prescrizioni relative all'**Area Retroarginale** sono dettate dall'art. 7 di seguito riportate:

1. *Nelle aree R il Piano persegue gli obiettivi di mitigazione del rischio idraulico attraverso la definizione e la predisposizione degli strumenti di Protezione Civile e l'individuazione e la realizzazione degli interventi strutturali. Contestualmente vengono regolamentate le attività compatibili sul territorio, in rapporto all'uso consolidato ed al contenimento del rischio.*
2. *Nelle aree R sono esclusivamente consentiti:*
  - a) Gli interventi consentiti nella fascia A e riportati al precedente articolo 6;
  - b) La realizzazione di impianti sportivi, per attività all'aperto, e nel rispetto di quanto contenuto nella normativa tecnica riportate all'art. 16. L'utilizzo di tali impianti, in caso di eventi atmosferici di particolare intensità, deve essere espressamente regolamentato dall'Amministrazione Comunale competente o da Commissione istituzionalmente preposta.
  - c) ogni opera a servizio di infrastrutture di trasporto e/o di servizio (caselli autostradali, stazioni ferroviarie, intersezioni, svincoli ecc.), con le prescrizioni contenute nell'allegato C delle Norme di Attuazione del PSDA.
  - d) Per i Comuni dotati di strumento urbanistico vigente:
    - le nuove edificazioni, realizzate in attuazione degli strumenti urbanistici per le porzioni di territorio interessate da agglomerati urbani che rivestono carattere storico-artistico di particolare pregio, per quelle totalmente o parzialmente edificate (zone A, B così come indicate dal D.M. 1444/68) e per quelle da destinare a nuovi complessi insediativi (zone C così come indicate dal D.M. 1444/68) limitatamente a quelle indicate come edilizia economica abitativa;
    - le nuove edificazioni in attuazione degli strumenti urbanistici, diverse da quelle indicate al punto precedente, ad esclusione di quelle ad uso residenziale e produttivo;
  - e) Per i Comuni non dotati di strumento urbanistico:
    - le nuove edificazioni al di fuori del perimetro dei centri abitati con le limitazioni di cui all'articolo 41 quinquies della legge 1150/42 così come modificato dall'art. 4 della legge 10/77; in particolare: l'edificazione a scopo residenziale non può superare l'indice di mc 0.03 per metro quadrato di area edificabile; le superfici coperte degli edifici non possono superare un decimo dell'area di proprietà; gli edifici non possono comprendere più di tre piani; l'altezza di ogni edificio non può essere superiore alla larghezza degli spazi pubblici o privati su cui esso prospetta e la distanza dagli edifici vicini non può essere inferiore all'altezza di ciascun fronte dell'edificio da costruire;
  - f) tutte le opere previste in Piani integrati e sovracomunali nonché le opere pubbliche non delocalizzabili, previo studio di compatibilità idraulica e parere dell'Autorità di Bacino che si esprimerà, in relazione a quanto definito dalla variante al piano, sulla compatibilità medesima;

- g) gli impianti di depurazione e di disinquinamento tesi al miglioramento della qualità delle acque e del suolo, di cui sia dimostrata l'idoneità della localizzazione in rapporto alle condizioni geomorfologiche e al rischio idraulico, l'adeguatezza del dimensionamento, la sicurezza ai fini del rischio tecnologico, nonché gli interventi diretti ad adeguare impianti esistenti alla normativa di sicurezza;
3. *Tutti gli interventi previsti nel precedente comma sono sottoposti alle prescrizioni contenute nella normativa tecnica di cui all'articolo 16, salvo maggiori prescrizioni imposte dai Piani di Protezione Civile.*
4. *In aggiunta a quanto riportato al comma precedente, la realizzazione degli interventi di cui ai punti f e g del comma 2 è ulteriormente subordinata alla presentazione di uno studio geomorfologico che dimostri la presenza di una condizione morfologica compatibile con il rischio idraulico. In tal caso non è obbligatorio il rispetto delle condizioni di cui alle lettere a) e b) dell'articolo 16 comma 1.*

### 4.3 Compatibilità geologica del progetto

Relativamente a quanto previsto dalle **"Norme di Attuazione variante al P.S.D.A. Basso Volturno da Capua alla foce"** il lotto di terreno interessato dalle opere di progetto rientra in un'area perimetrata come zona **"Area retroarginale (R)"**.

*Nelle aree R il Piano persegue gli obiettivi di mitigazione del rischio idraulico attraverso la definizione e la predisposizione degli strumenti di Protezione Civile e l'individuazione e la realizzazione degli interventi strutturali. Contestualmente vengono regolamentate le attività compatibili sul territorio, in rapporto all'uso consolidato ed al contenimento del rischio (cfr. art.7 comma 1).*

Le valutazioni effettuate nella presente relazione sono volte a dimostrare la compatibilità geologica degli interventi di progetto, in accordo con quanto richiesto dalle Norme sopra richiamate. Gli interventi progettuali previsti non rappresentano un fattore predisponente all'instabilità, in quanto non si andranno a modificare né la circolazione idrica sotterranea né quella superficiale, e l'esecuzione delle opere di progetto non turberà l'attuale equilibrio morfologico e quindi sicuramente non andrà ad aggravare le condizioni di stabilità attuali.

In merito alle opere di progetto elencate possono esprimersi le seguenti considerazioni:

- 1) per la realizzazione degli interventi di progetto sommariamente citati in premessa, non sarà modificata la geometria morfologia dell'area con ingenti scavi, tagli, ecc., né saranno create neosuperfici esposte ad elevata pendenza, potenziali sedi d'innescio di movimenti dei terreni di copertura detritica;
- 2) non si apporteranno ulteriori carichi sul sito capaci di creare disequilibri di masse e non sarà compromesso il normale deflusso delle acque superficiali tali da innescare processi di erosione e denudazione che possano evolvere in reali dissesti.

Per i motivi fin qui considerati è possibile esprimere valutazioni positive sulla compatibilità dell'intervento da realizzare con l'assetto idrogeologico dell'area, in quanto lo stesso non pregiudica la stabilità attuale della zona ed è da considerarsi, appunto, compatibile dal punto di vista idrogeologico con la situazione di pericolosità e di rischio da dissesti di versante attualmente sostenibile dal territorio.

*Il processo di verifica, valutazione e stima della compatibilità geologica dell'intervento, sommariamente ripercorso in queste pagine, ha portato a stabilire che essa è, appunto verificata, stimata e valutata rispetto allo stato attuale, in quanto non si sono ravvisati condizioni geologiche tali da compromettere la realizzabilità dei lavori di progetto.*

## 5. Indagini e caratterizzazione geologica e geotecnica

### 5.1 Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche in sito

Dal punto di vista strettamente operativo questo studio nell'assegnare un peso alla componente geologica e geotecnica nella valutazione della fattibilità di opere ed interventi sul territorio trae i suoi fondamenti dalla **L.R. 7 Gennaio 1983, n. 9 "Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico"**. Essa rappresenta un importante strumento concepito per fornire informazioni sulle limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle sue caratteristiche geologico-tecniche, morfologiche e dalla valutazione degli effetti delle sollecitazioni sismiche.

Il **D.M. LL.PP. 11/3/88**, concernente le "norme tecniche relative alle indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", prescrive che le scelte di progetto, i calcoli e le verifiche tecniche relative alla progettazione devono fondarsi sempre sulla caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo ottenuta con rilievi, indagini e prove.

Con **Delibera di Giunta Regionale n. 5447 del 7 Novembre 2002 "Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della regione Campania"** (B.U.R.C. n. 56 del 18.11.2002) il comune di *Castel Volturno (CE)*, ai sensi e per gli effetti della legge 64/74, è stato inserito nella Categoria Sismica 3, a cui corrisponde un grado di sismicità S pari a 6.

I Comuni classificati sismici dalla Giunta Regionale sono obbligati ad osservare oltre le disposizioni di cui alla Legge 2 Febbraio 1974 n. 64 e successive modificazioni ed integrazioni, le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996 e le relative istruzioni applicative di cui alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 65 AA.GG. del 10 Aprile 1997, anche le disposizioni della L.R. 7 Gennaio 1983 n. 9.

**L'Ordinanza 20 marzo 2003 n. 3274** del Presidente del Consiglio dei Ministri, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'8/5/2003 n. 105, supplemento n. 72, ha approvato i criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e, con essi, in prima applicazione, la nuova riclassificazione secondo le indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998.

Il **D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"**, pubblicato sul S.O. della Gazzetta Ufficiale n.30 del 04/02/2008, raccoglie in un unico organico testo le Norme tecniche per le costruzioni prima distribuite in diversi decreti ministeriali.

Il **D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"**, pubblicato sul S.O. alla Gazzetta Ufficiale n.42 del 20/02/2018, aggiorna e sostituisce le Norme tecniche per le costruzioni approvate con il D.M. 14 gennaio 2008.

Per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico dei Campi A e B, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in sito consistente nella realizzazione di n°4 prove penetrometriche dinamiche continue e n°2 prospezioni sismiche superficiali del tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*) (Figg. 8-9).

Ad integrazione delle suddette indagini sono state prese in considerazione anche le indagini geognostiche realizzate dal Comune di Castel Volturno per la redazione del P.U.C. su terreni simili ed appartenenti alle stesse formazioni geologiche dell'area di studio, consistenti in sondaggi a carotaggio continuo, prove S.P.T. in foro di sondaggio e prove di laboratorio.

Tali attività hanno permesso di ricostruire il modello geologico del sito di studio e, nel contempo, di ricavare i principali parametri dei terreni del sottosuolo di interesse geotecnico, al fine di conoscerne e studiarne il comportamento in relazione alle caratteristiche strutturali e dimensionali dell'opera di progetto.



Fig. 8 – Ubicazione delle indagini eseguite presso il Campo A

#### Legenda

 = Prospezione sismica superficiale M.A.S.W.


 = Prospezione sismica superficiale a rifrazione



Fig. 9 – Ubicazione delle indagini eseguite presso il Campo B

### Legenda



= Prospezione sismica superficiale M.A.S.W.



= Prospezione sismica superficiale a rifrazione



## 5.2 Assetto litostratigrafico dell'area di studio

I dati acquisiti hanno consentito una valutazione delle relative potenzialità ricettive; pertanto, è stato possibile definire un modello teorico per il sottosuolo, rispetto al quale possono essere verificate le diverse soluzioni progettuali.

Il sottosuolo del territorio comunale di Castel Volturno è stato condizionato dalle vicende geologiche che, essenzialmente si riconducono alla morfogenesi della costa in oggetto e dallo sviluppo del Fiume Volturno. Tale area, insieme ad altri grandi porzioni della Piana Campana, ha conosciuto ambienti marini estesi e poi condizioni favorevoli alla sua crescita come area emersa.

A tale quadro di sintesi bisogna aggiungere come l'area vasta venne investita dai prodotti piroclastici da flusso e da caduta di provenienza flegrea e p.p. vesuviana. Vi è da aggiungere la profonda azione deposizionale esercitata del Fiume Volturno. Ne consegue che i terreni che si rinvencono sono, ovviamente, frutto di tali "vicende" geologiche con conseguente presenza di variazioni sia verticali che orizzontali in special modo nelle aree di transizione.

In accordo con il modello geologico descritto in un paragrafo precedente, i sondaggi realizzati per la redazione del PUC comunale hanno delineato come nella zona litorale, vi siano terreni costituiti da sabbie fini sciolte equigranulari grigie e giallastre di vario spessore.

Spostandosi dalla zona litorale parallelamente alla costa e per tutto l'allineamento spostandosi verso la parte orientale del territorio comunale si manifestano sabbie fini e sabbie argillose, da sciolte a poco addensate con abbondanti resti di molluschi.

Procedendo ancora verso est dalla zona litorale parallelamente alla costa e solo in sinistra foce Volturno si accertano delle sabbie grigie e giallastre da poco addensate a mediamente addensate.

Riguardo il corso del Volturno (per una fascia posta a cavallo del fiume) si riscontrano delle sabbie grigie sciolte ed argille grigio-azzurrognole poco consistenti; per poi passare ad un'ulteriore fascia esterna rispetto a questa ora descritta e sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del Volturno costituita da argille marroni e grigio-bluestre, da poco a mediamente consistenti con abbondanti resti vegetali lignei e molluschi, e sabbie grigie poco addensate con inclusi elementi pomicei e scoriacei, nonché torbe.

Spostandosi ulteriormente ad una fascia ancora più esterna rispetto al corso del Volturno ma sempre, grossomodo, allineata all'asse del corso del fiume si segnalano argille grigie da poco a mediamente consistenti e sabbie grigie poco addensate.

Le aree più depresse del territorio comunale, ossia quelle oggetto di bonifica, sono caratterizzate da argille sabbiose grigio azzurrognole marroni da poco a mediamente consistenti con resti di molluschi, argille torbose poco consistenti e torbe.

Durante l'esecuzione dei sondaggi è stata riscontrata la presenza di falda acquifera; la profondità di rinvenimento è riportata nel capitolo relativo alla idrogeologia. Per le correlazioni descritte nel presente capitolo si rimanda alle colonne stratigrafiche allegate.

Come risulta dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici realizzati per la redazione del PUC del Comune di Castel Volturno in aree limitrofe a quelle di specifico interesse, identificati con le sigle **S2** ed **S10**, le cui schede sono allegate in calce alla presente, il sottosuolo della zona studiata, fino alla profondità di 30,0 metri, è costituito dai seguenti terreni:

**Stratigrafia sondaggio S2**

- 0,00 ÷ 0,50 m: Terreno vegetale costituito da limo sabbioso con a letto elementi di ghiaia di forma subangolare.
- 0,50 ÷ 1,50 m: Argilla limosa marrone chiara alterata.
- 1,50 ÷ 2,70 m: Argilla marrone consistente con incluse rare piccole pomice bianche millimetriche.
- 2,70 ÷ 4,10 m: Argilla con limo grigio-bluastro poco consistente con inclusi elementi pomicei subangolari grigi.
- 4,10 ÷ 4,80 m: Argilla con sabbia grigio-azzurrognola poco consistente.
- 4,80 ÷ 5,30 m: Argilla torbosa nero-brunastra poco consistente con inclusi livelli centimetrici francamente torbosi e con abbondanti frammenti vegetali lignei.
- 5,30 ÷ 5,80 m: Argilla sabbiosa limosa poco consistente nera con inclusi elementi vegetali lignei.
- 5,80 ÷ 7,70 m: Argilla grigio chiara poco consistente con inclusi gusci di lamellibranchi e resti vegetali lignei.
- 7,70 ÷ 8,80 m: Sabbia debolmente limosa grigia da poco addensata a moderatamente consistente.
- 8,80 ÷ 10,8 m: Argilla grigio chiara poco consistente con inclusi gusci di lamellibranchi e resti vegetali lignei.
- 10,8 ÷ 12,1 m: Alternanza di sabbia limosa da sciolta a poco addensata e limo con sabbia grigio moderatamente consistente con inclusi rari gusci di lamellibranchi.
- 12,1 ÷ 13,2 m: Argilla grigio chiara da poco consistente a moderatamente consistente.
- 13,2 ÷ 13,7 m: Argilla torbosa grigio-nerastra moderatamente consistente.
- 13,7 ÷ 16,2 m: Torba con inclusi lapilli pomicei subarrotondati.
- 16,2 ÷ 19,4 m: Ghiaia con sabbia grigio cinerea da poco addensata a moderatamente addensata frazione ghiaiosa costituita da elementi pomicei e scoriacei subangolari (max 3-4 cm).
- 19,4 ÷ 19,7 m: Limo con sabbia marrone consistente (paleosuolo).
- 19,7 ÷ 20,6 m: Sabbia limosa avana moderatamente addensata.
- 20,6 ÷ 20,8 m: Argilla debolmente limosa grigio-marrone consistente.
- 20,8 ÷ 21,2 m: Limo sabbioso avana consistente con inclusi lapilli scoriacei millimetrici.

- 21,2 ÷ 22,3 m: Argilla limosa grigio-azzurrognola da moderatamente consistente a consistente.
- 22,3 ÷ 23,1 m: Sabbia limosa con livelli centimetrici di torba, grigiastrea moderatamente addensata con inclusi abbondanti resti di molluschi.
- 23,3 ÷ 23,9 m: Sabbia limosa avana moderatamente addensata.
- 23,9 ÷ 24,7 m: Sabbia grigia da poco addensata a moderatamente addensata.
- 24,7 ÷ 25,7 m: Sabbia limosa avana da poco addensata a moderatamente addensata con abbondanti resti di molluschi.
- 25,7 ÷ 26,0 m: Sabbia limosa avana addensata con abbondanti elementi pomicei a luoghi cementata.
- 26,0 ÷ 30,0 m: Sabbia grigio-marrone sciolta con abbondanti elementi pomicei e lapilli scoriacei e resti di molluschi.

Durante la perforazione sono stati prelevati n°2 campioni di terreno indisturbato alle profondità di 2,70 m e 5,30 m. La falda è stata rinvenuta alla profondità di 1,50 m dal p.c.

#### **Stratigrafia sondaggio S10**

- 0,00 ÷ 0,30 m: Argilla marrone moderatamente consistente.
- 0,30 ÷ 1,50 m: Limo con argilla marrone alterato consistente.
- 1,50 ÷ 3,00 m: Argilla con limo marrone poco consistente.
- 3,00 ÷ 4,00 m: Limo con sabbia argilloso, grigio-verde avana moderatamente consistente. Frazione sabbiosa costituita da elementi lapidei e/o pomicei arrotondati.
- 4,00 ÷ 5,00 m: Argilla grigio scura da moderatamente consistente a consistente.
- 5,00 ÷ 5,50 m: Argilla limosa debolmente sabbiosa grigio-marrone poco consistente con inclusi elementi pomicei da subangolari a subarrotondati.
- 5,50 ÷ 5,90 m: Limo debolmente sabbioso marrone poco consistente.
- 5,90 ÷ 6,20 m: Argilla debolmente sabbiosa debolmente limosa marrone moderatamente consistente.
- 6,20 ÷ 7,00 m: Argilla sabbiosa grigio-verdastra poco consistente.
- 7,00 ÷ 8,00 m: Argilla debolmente limosa grigio-verdastra consistente con inclusi elementi pomicei e rari livelli centimetrici di argilla torbosa.
- 8,00 ÷ 8,50 m: Argilla debolmente sabbiosa marrone da poco consistente a moderatamente consistente.
- 8,50 ÷ 9,20 m: Argilla sabbiosa grigio-plumbea poco consistente.
- 9,20 ÷ 11,4 m: Argilla grigio-plumbea consistente con inclusi elementi pomicei, a letto marrone con livello torboso e abbondanti frammenti di gusci di gasteropodi.

- 11,4 ÷ 12,2 m: Argilla debolmente sabbiosa debolmente limosa marrone da poco consistente a moderatamente consistente con abbondanti gusci di molluschi e a letto resti vegetali lignei.
- 12,2 ÷ 12,5 m: Argilla debolmente sabbiosa debolmente limosa grigia poco consistente.
- 12,5 ÷ 15,0 m: Argilla grigio-bluastro moderatamente consistente con abbondanti gusci di molluschi.
- 15,0 ÷ 17,4 m: Argilla avana poco consistente con inclusi resti di gusci di lamellibranchi e resti vegetali lignei.
- 17,4 ÷ 17,6 m: Argilla torbosa grigio scura poco consistente con inclusi abbondanti resti vegetali lignei.
- 17,6 ÷ 20,0 m: Argilla con sabbia ghiaiosa nero-rossastra poco consistente; frazione ghiaiosa costituita da scorie subangolari (max 4 cm).
- 20,0 ÷ 21,0 m: Sabbia ghiaiosa debolmente limosa rossastra addensata; frazione ghiaiosa costituita da scorie subangolari (max 3 cm).
- 21,0 ÷ 25,6 m: Sabbia ghiaiosa debolmente limosa nera addensata, al letto diventa debolmente argillosa; frazione ghiaiosa costituita da litici scoriacei subangolari (max 4 cm) e rare pomice verdastre millimetriche.
- 25,6 ÷ 26,4 m: Argilla limosa grigio-verdastra estremamente consistente.
- 26,4 ÷ 28,9 m: Argilla limosa giallo-avana alterata poco cementata con inclusi abbondanti elementi pomice millimetrici biancastri.
- 28,9 ÷ 29,5 m: Sabbia fine limosa grigio-avana addensata.
- 29,5 ÷ 30,0 m: Argilla con sabbia grigio-avana poco consistente con inclusi rari elementi pomice.
- 30,0 ÷ 31,0 m: Sabbia grigio-scura da sciolta a poco addensata, a luoghi limosa.

Durante la perforazione sono stati prelevati n°2 campioni di terreno indisturbato alle profondità di 3,00 m e di 5,00 m, nonché è stata effettuata una prova SPT alla profondità di 9,00 m. La falda è stata rinvenuta alla profondità di 4,00 m dal p.c.

### 5.3 Prove penetrometriche dinamiche continue

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche continue si è utilizzato un penetrometro dinamico modello "TG 30/20", prodotto dalla ditta PAGANI, classificato come medio dalla ISSMFE (1988).

Il penetrometro dinamico descritto è conforme, nelle caratteristiche tecniche generali, allo standard nazionale D.P.L. (penetrometro dinamico leggero italiano) e a quello internazionale. Le informazioni che ogni prova ha fornito sono state di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione sono eseguite durante tutta l'infissione, ottenendo così una valutazione quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

Durante l'esecuzione delle prove sono stati misurati, per intervalli consecutivi di 10 cm, il numero di colpi necessari per l'attraversamento del litotipo interessato. I valori del numero di colpi  $N_{TG30-20}$  così registrati, sono stati utilizzati per l'elaborazione dei penetrogrammi, per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati e per il calcolo della resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$ .

È da osservare che, in terreni con caratteristiche simili a quelli che sono presenti nel sottosuolo dell'area indagata, risulta sperimentalmente, che il numero di colpi  $N_{TG30-20}$  per infissioni di 10 cm, corrisponde mediamente al numero di colpi  $N_{SPT}$  per infissioni di 30 cm.

Poiché la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto con la prova penetrometrica standard (S.P.T.), si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica  $N_{TG30-20}$  con  $N_{SPT}$ .

Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t N$$

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:

- $M$  = rappresenta il peso della massa battente;
- $M'$  = è il peso aste;
- $H$  = l'altezza di caduta;
- $A$  = l'area della base punta conica;
- $\delta$  = il passo di avanzamento.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante il programma di calcolo automatico *Dynamic Probing* della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (*coefficiente di correlazione con SPT*) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono di ottenere informazioni utili sulle litologie e sui dati geotecnici dei terreni attraversati lungo le verticali esplorate.

In particolare il programma di calcolo consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

I profili penetrometrici ottenuti dalle indagini eseguite in sito sono riportati in allegato alla presente relazione.

## 6. Modello geologico e caratteristiche geotecniche medie dei terreni

Nel presente capitolo vengono esposti i dati geotecnici dei terreni che costituiscono il sottosuolo indagato ricavati dall'elaborazione delle indagini in sito e di laboratorio, dalla bibliografia e da esperienze compiute su questi materiali.

Considerando il modello geologico del sottosuolo, già più volte evidenziato, e ricordando che è stata rinvenuta un'alternanza di litotipi che avendo avuto fasi di deposizione, trasporto e risedimentazione susseguite nel corso dei tempi (vedi inquadramento geologico) risultano avere una certa variabilità deposizionale sia in senso verticale che orizzontale si possono fare le seguenti considerazioni per ciò che riguarda le principali caratteristiche geotecniche risultate considerando sia le indagini eseguite in sito (prove penetrometriche dinamiche continue) sia quelle disponibili per l'area di studio (sondaggi, prove penetrometriche e prove di laboratorio effettuate per il PUC) ed utilizzando le correlazioni possibili desunte dalla bibliografia scientifica.

### 6.1 Unità litotecniche riscontrate e caratteristiche geotecniche dei terreni

Nell'area di studio la successione stratigrafica ricostruita dalle indagini effettuate in sito, unitamente a quelle disponibili per il territorio esaminato, è costituita da un'alternanza di terreni marcatamente coesivi che hanno fatto registrare valori del peso di volume naturale compreso tra  $1,7 \text{ g/cm}^3$  e  $1,9 \text{ g/cm}^3$ .

I valori misurati di  $N_{spt}$  sono sempre inferiori a 10, tranne che per uno strato di terreno riscontrato mediamente tra le profondità di 2,70 m e 4,00 m (*Campo A*) e di 6,50 m e 7,00 m (*Campo B*) costituito da argilla con limo sabbioso inglobante elementi lapidei e/o pomicei che ha fatto elevare il numero di colpi medio  $N_{spt}$  delle prove penetrometriche dinamiche.

I dati scaturiti dal rilevamento geologico di campagna e dall'insieme delle indagini eseguite in sito e dall'analisi di quelle disponibili per l'area di studio, previo opportune elaborazioni ed interpretazioni, hanno consentito di conoscere il modello geologico del sito in esame e di caratterizzare dal punto di vista fisico-meccanico e dinamico i terreni della porzione di sottosuolo di interesse geotecnico.

La caratterizzazione fisico-meccanica media dei terreni nell'ambito del volume significativo, dove per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata (direttamente o indirettamente) dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso, è di seguito descritta.

## CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DEL CAMPO A

### Unità litotecnica A

➤ *Argilla da poco a moderatamente consistente e limo con argilla alterato.*

- Spessore medio = 2,80 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 2
- Peso unità di volume = 1,65 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,86 t/mc
- Angolo di attrito = 26°
- Coesione drenata = 0,18 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,47 Kg/cmq
- Modulo elastico = 24 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 33 Kg/cmq

### Unità litotecnica B

➤ *Argilla con limo sabbioso consistente inglobante elementi lapidei e/o pomicei.*

- Spessore medio = 1,30 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 13
- Peso unità di volume = 1,84 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,91 t/mc
- Angolo di attrito = 31°
- Coesione drenata = 0,23 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 2,21 Kg/cmq
- Modulo elastico = 120 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 140 Kg/cmq

### Unità litotecnica C

➤ *Argilla moderatamente consistente a luoghi debolmente sabbiosa con livelli di limo*

- Spessore medio = 3,40 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 4
- Densità relativa = 28,01%
- Peso unità di volume = 1,67 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,87 t/mc
- Angolo di attrito = 26°
- Coesione drenata = 0,18 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,55 Kg/cmq
- Modulo elastico = 36 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 37 Kg/cmq



### **Unità litotecnica D**

➤ *Argilla debolmente sabbiosa da poco consistente a moderatamente consistente con inclusi elementi pomicei e livelli di argilla torbosa.*

- Spessore medio = 7,50 m
- Numero dei colpi  $N_{SPT}$  = 10
- Densità relativa = 40,77%
- Peso unità di volume = 1,70 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,80 t/mc
- Angolo di attrito = 24°
- Coesione drenata = 0,16 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,56 Kg/cmq
- Modulo elastico = 67 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 45 Kg/cmq

## **CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DEL CAMPO B**

### **Unità litotecnica A**

➤ Argilla limosa

- Spessore medio = 4,00 m
- Peso unità di volume = 1,51 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,85 t/mc
- Angolo di attrito = 20°
- Coesione drenata = 0,05 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,07 Kg/cmq
- Modulo di Young = 14 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 18 Kg/cmq

### **Unità litotecnica B**

➤ Argilla sabbiosa

- Spessore medio = > 10,00 m
- Peso unità di volume = 1,62 t/mc
- Peso di volume saturo = 1,86 t/mc
- Angolo di attrito = 21°
- Coesione drenata = 0,10 Kg/cmq
- Coesione non drenata = 0,14 Kg/cmq
- Modulo di Young = 28 Kg/cmq
- Modulo edometrico = 35 Kg/cmq

## 7. Modellazione sismica ed indagini geofisiche

### 7.1 Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Nei siti esaminati sono state eseguite n°2 prospezioni sismiche del tipo **M.A.S.W.** (*Multichannel Analysis of Surface Waves* ovvero *Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh*) al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti nelle aree di studio e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17.01.2018).

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 10) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

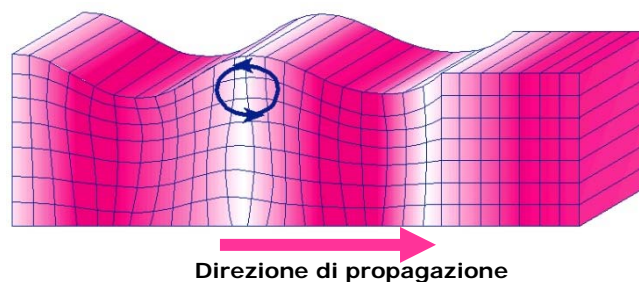


Fig. 10 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume. In aggiunta, la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione sismica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17.01.2018).

Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 11).

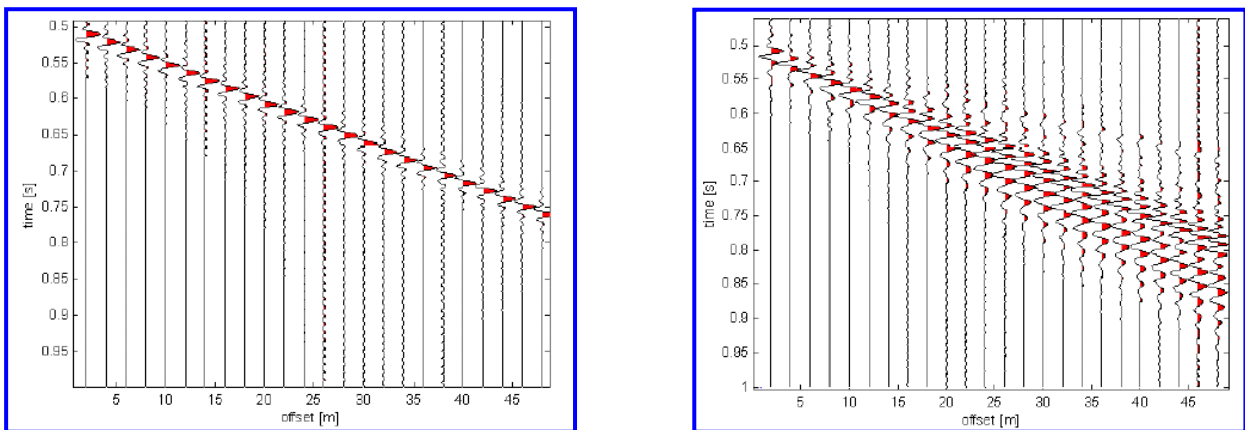


Fig. 11 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 12).

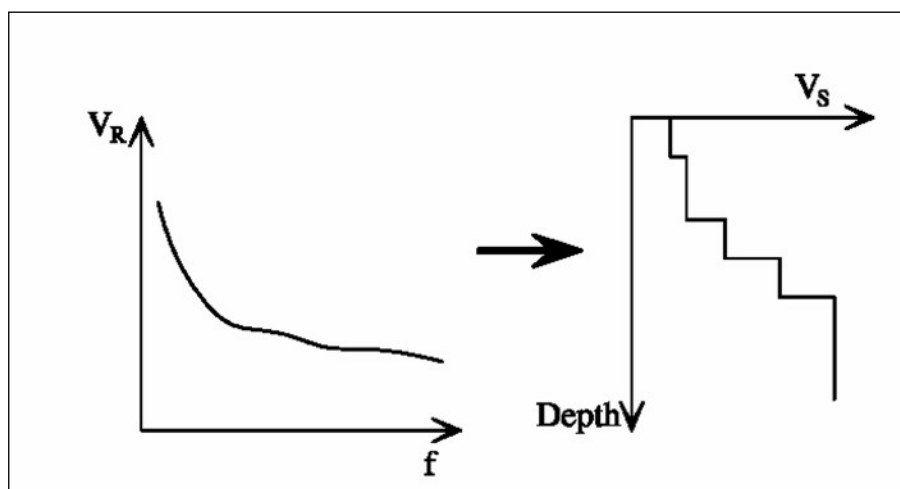


Fig. 12 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

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

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

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

Lo schema dello stendimento sismico è riprodotto nella seguente figura (Fig. 13).

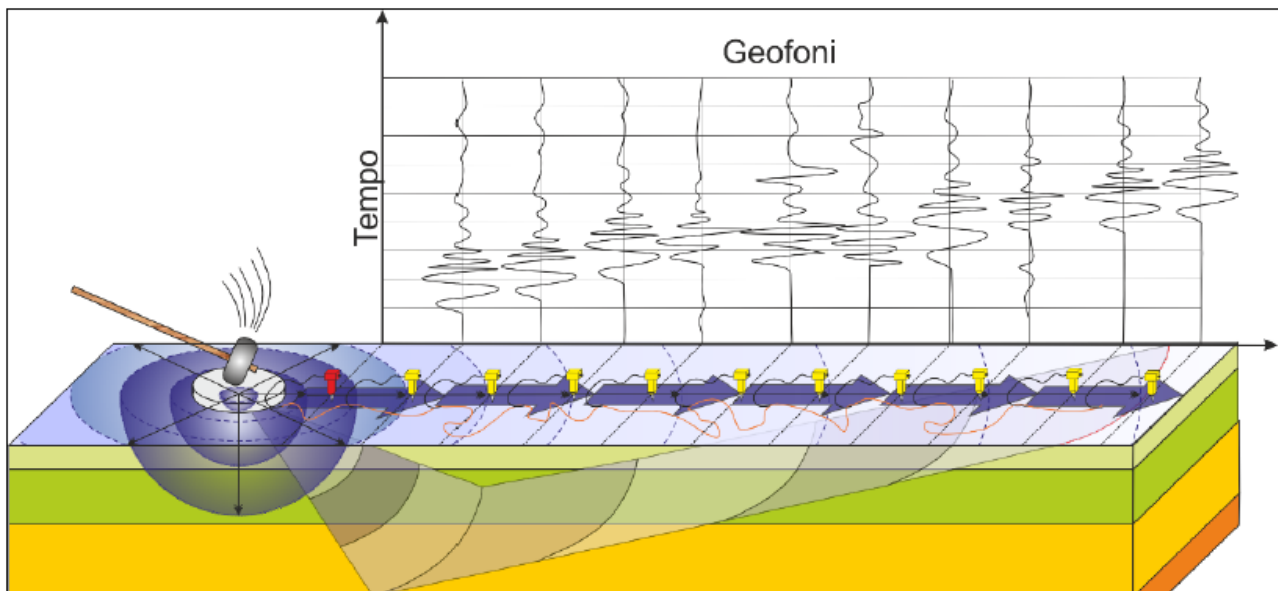


Fig. 13 – Schema dello stendimento sismico

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 14).

## Dispersion Image

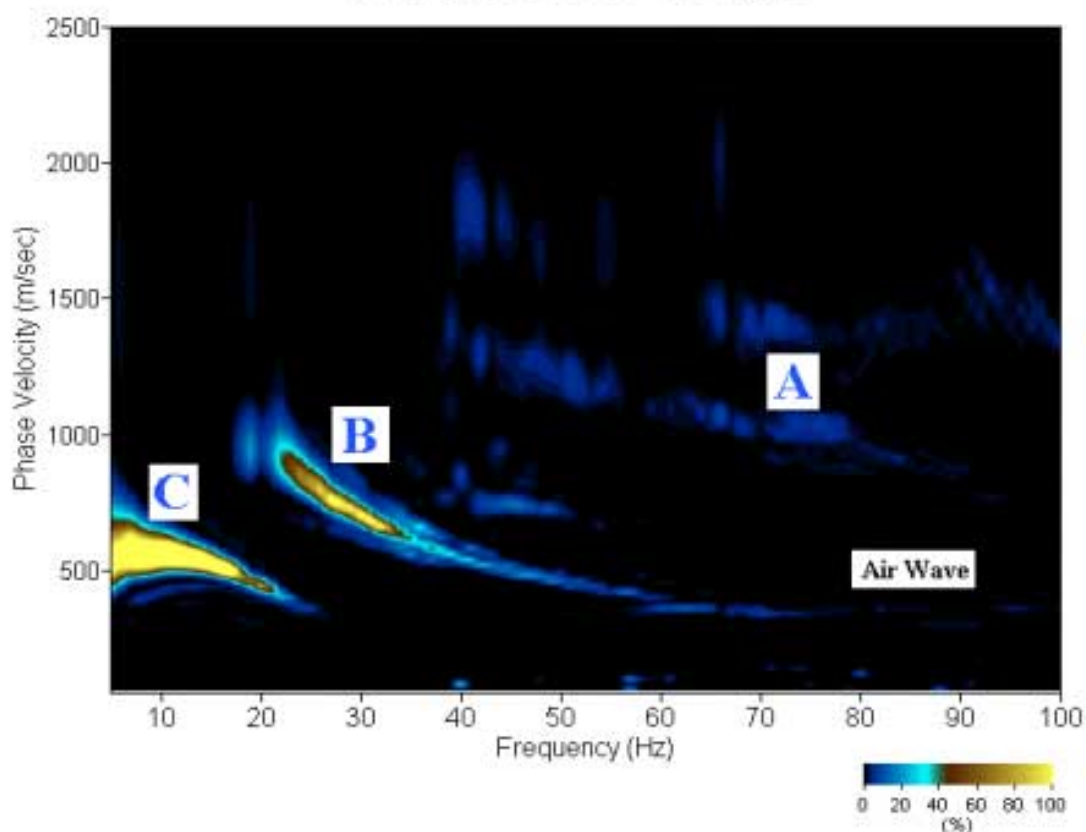


Fig. 14 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 11. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

Le prospezioni sismiche MASW sono state eseguite con le seguenti caratteristiche:

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Geofoni (n°)</i>	<i>Offset (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>
<i>MASW n. 1</i>	<i>24</i>	<i>1,50</i>	<i>6,00</i>	<i>40,50</i>
<i>MASW n. 2</i>				

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 36 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali e non convenzionali.

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo. L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8 kg che batte su una piastra circolare in alluminio).

Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace - 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset e spacing predefiniti (Tab. 1).

La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 31,00 metri dal piano campagna di riferimento.

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=2.048$  s, sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=0.5$  ms.

La frequenza di campionamento è data da:

$$f_{\text{campionamento}} = 1/dt = 2000 \text{ Hz}$$

La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:

$$f_{\text{Nyquist}} = 1/2dt = 1000 \text{ Hz.}$$

La frequenza minima dei segnali è data da:

$$f_{\min} = 1/T = 0.488 \text{ Hz.}$$

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma *MASW 2007* dell'ing. Vitantonio Roma che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di una sezione sismostratigrafica delle onde di taglio  $V_s$ .

Gli elaborati relativi alle prospezioni sismiche M.A.S.W. effettuate nel sito di specifico interesse sono di seguito riportati (Figg. 15-25).

## Prospezione sismica M.A.S.W. Mw1

### Dati sperimentali Mw1

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali ..... 4096

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

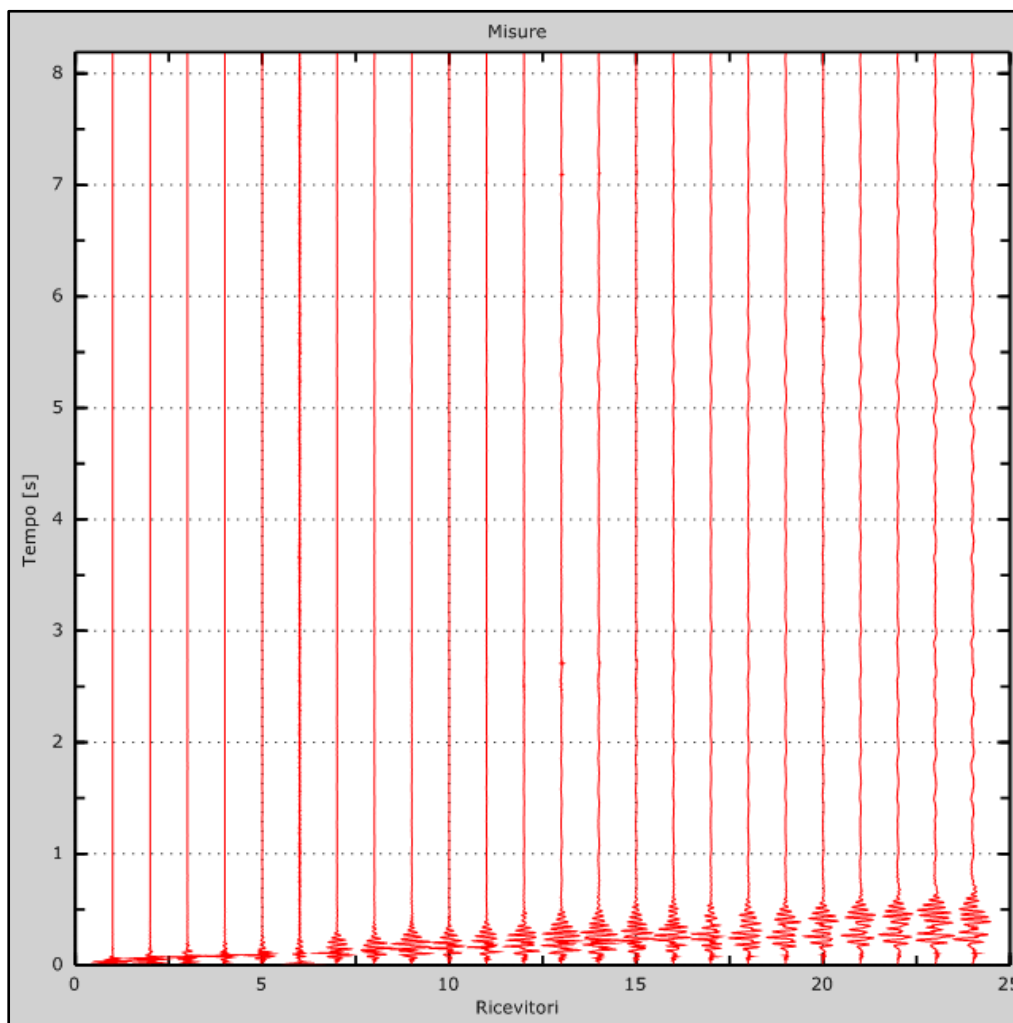


Fig. 15 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw01 (tracce sperimentali) Mw1



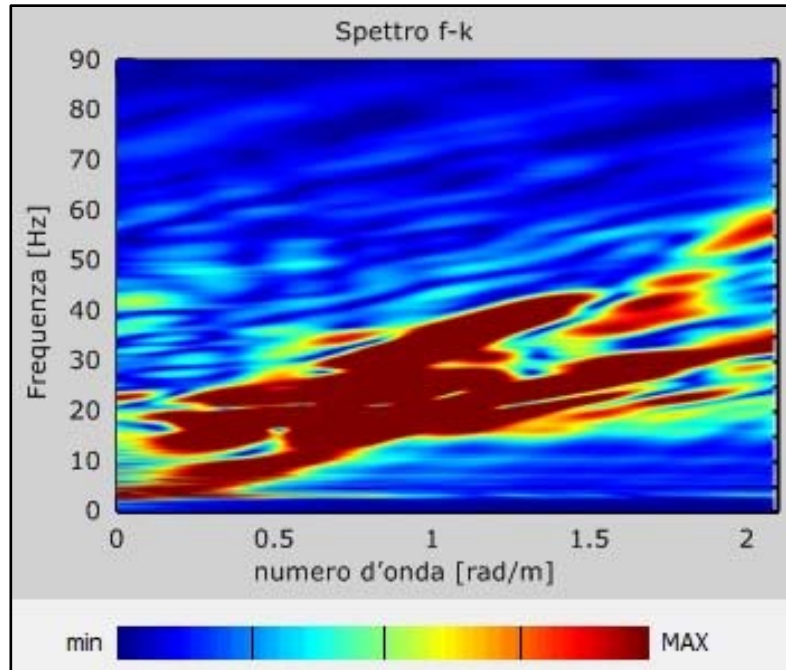


Fig. 16 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw 1**

Frequenza finale ..... 70Hz

Frequenza iniziale ..... 2Hz

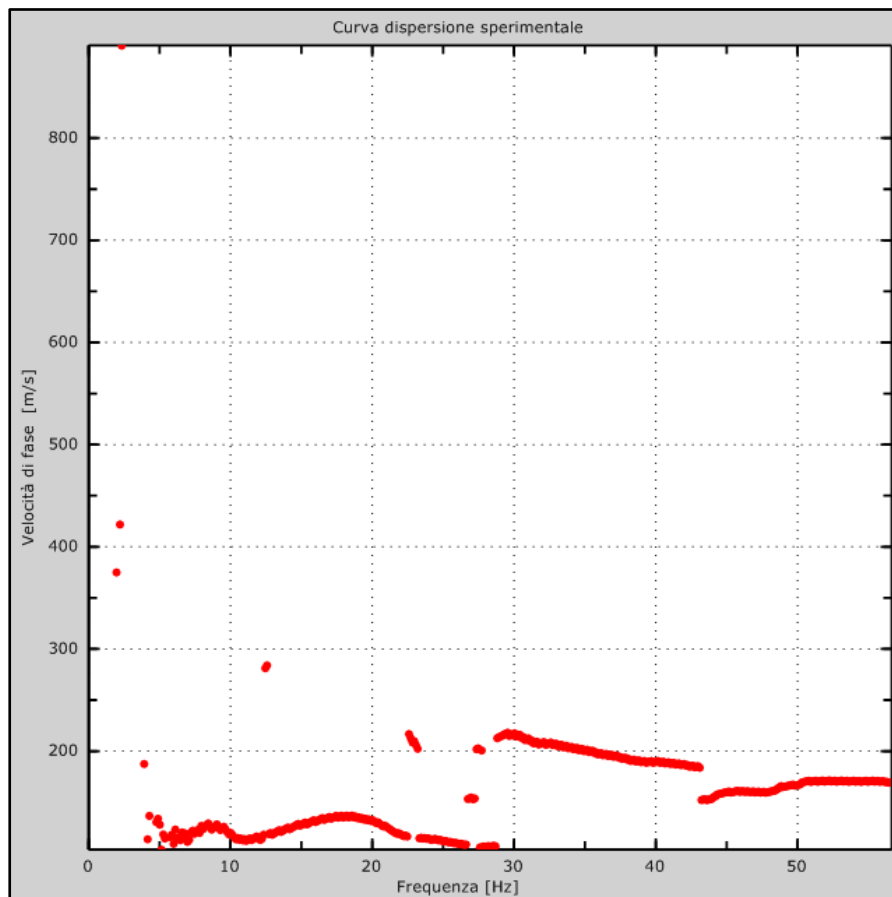


Fig. 17 – Curva di dispersione sperimentale Mw1

### Curva di dispersione Mw1

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.12041	155.574	148.459	162.689
4.38828	143.122	141.343	144.901
8.66235	137.786	134.228	141.343
15.7276	136.007	130.671	141.343
19.2167	132.449	130.671	134.228
23.1418	118.219	114.661	121.776
28.7243	105.767	100.43	111.103

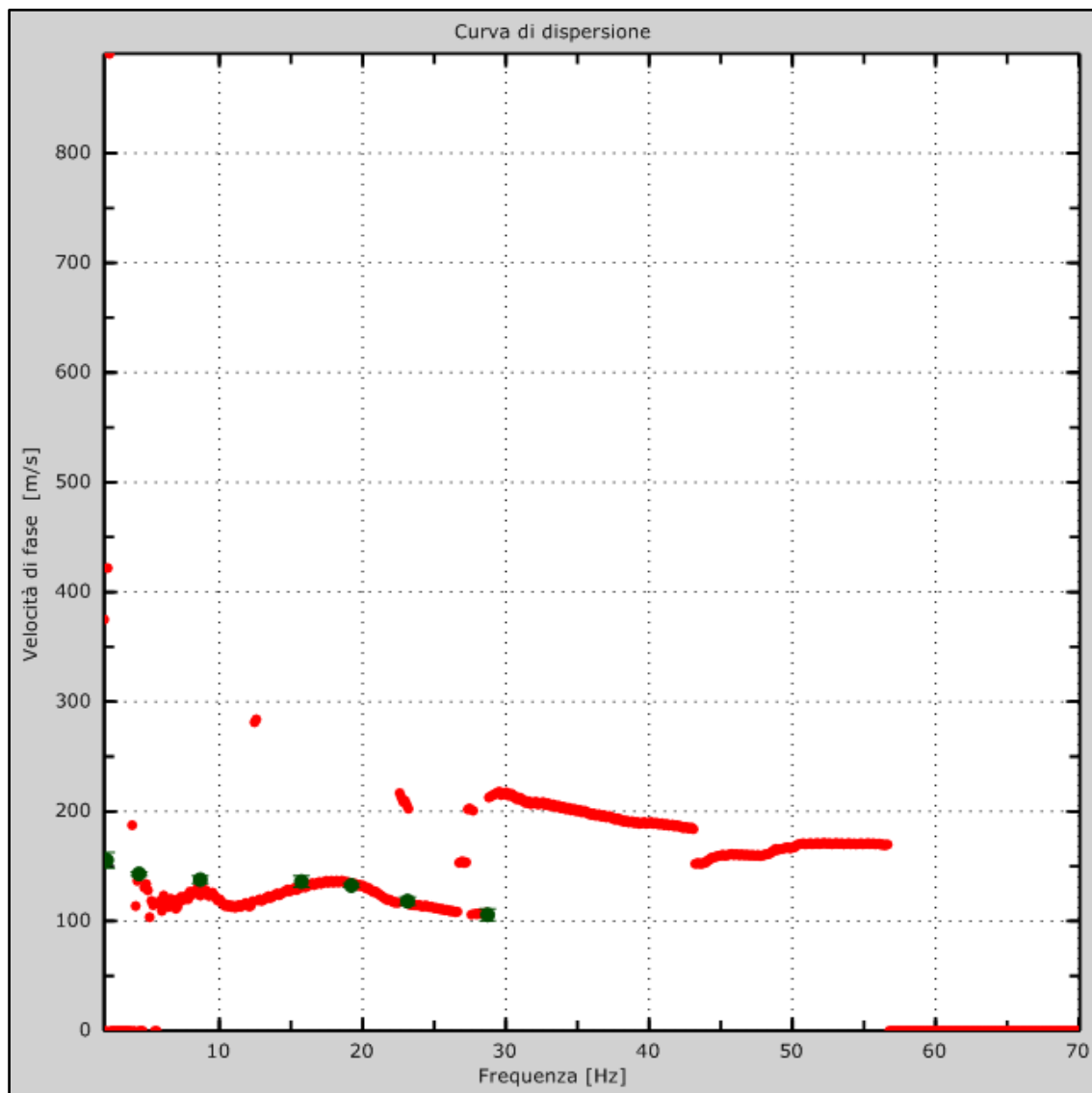


Fig. 18 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw1

### Profilo in sito Mw 1

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw1

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato
S1	0,00 – 3,50	3,50	120	Presente
S2	3,50 – 8,10	4,60	161	Presente
S3	8,10 – 14,40	6,30	168	Presente
S4	14,40 – 21,90	7,50	173	Presente
S5	21,90 – 30,20	8,30	179	Presente

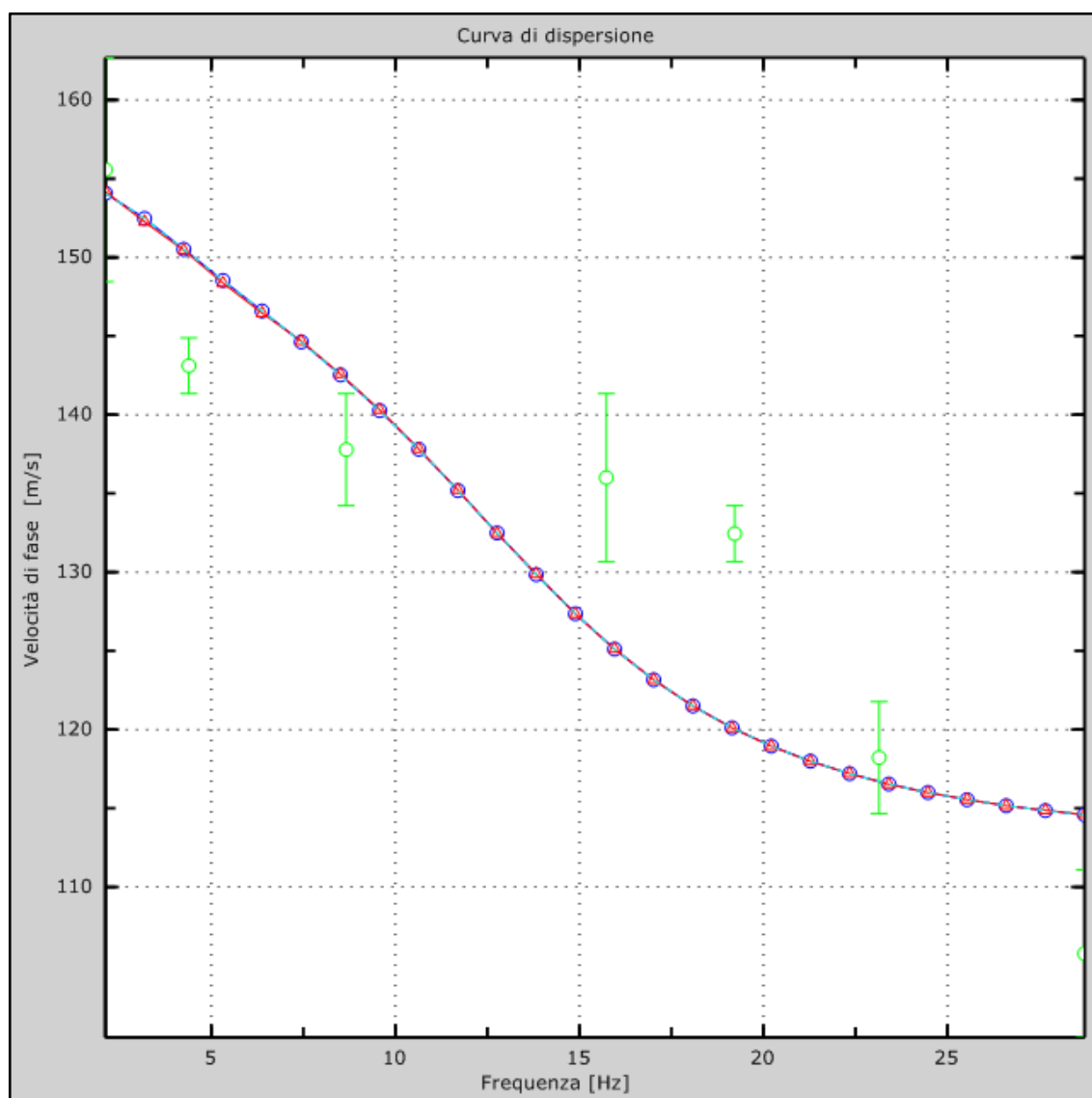


Fig. 19 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

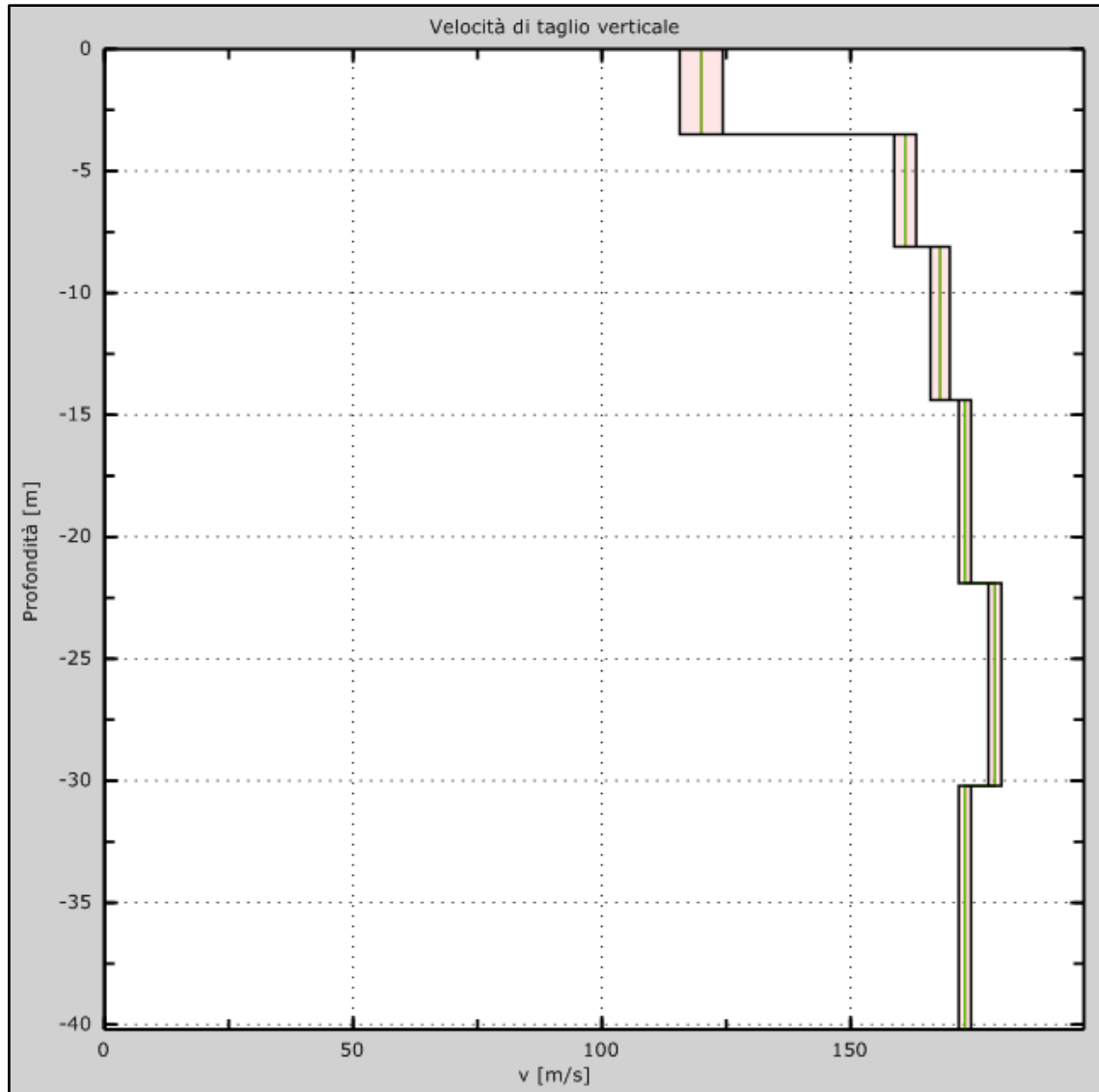


Fig. 20 – Profilo verticale delle  $V_s$  (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

## Prospezione sismica M.A.S.W. Mw2

### Dati sperimentali Mw2

Distanza tra i sensori:.....1,50 m

Numero di campioni temporali ..... 4096

Passo temporale di acquisizione .....2 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi ..... 24

L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....0 ms

L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 8190 ms

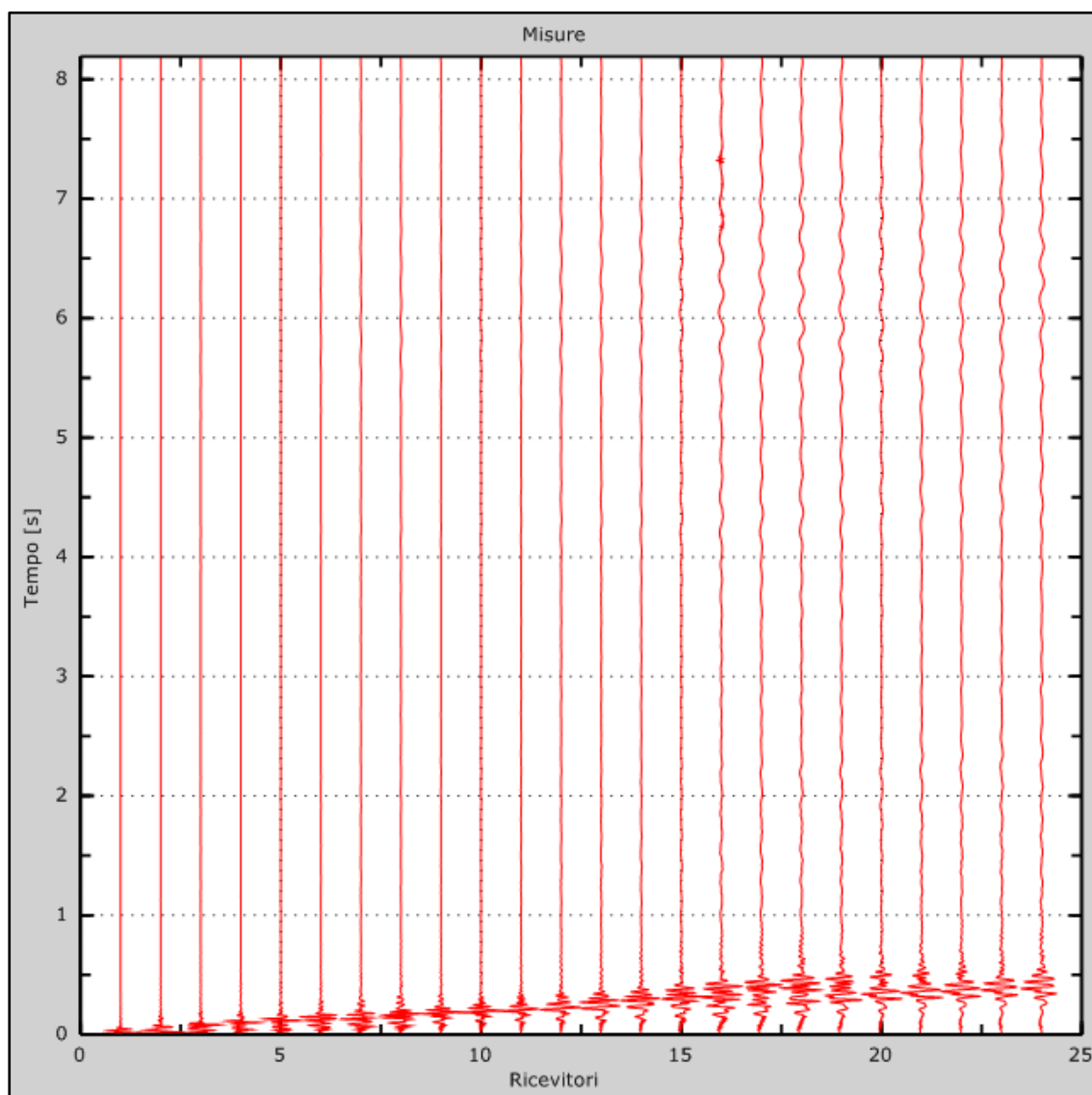


Fig. 21 – Sismogrammi relativi all'indagine MASW Mw01 (tracce sperimentali) Mw2

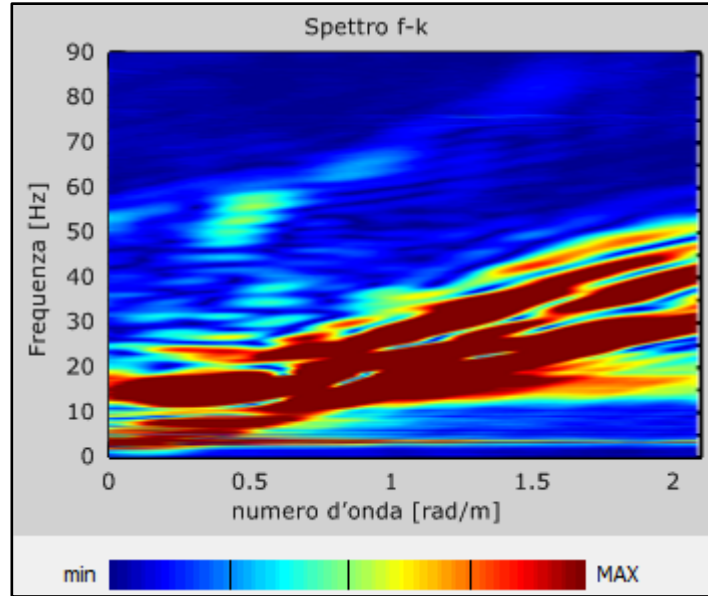


Fig. 22 – Curve di livello dello spettro di risposta sperimentale del suolo

**Risultati delle analisi Mw 2**

Frequenza finale ..... 70Hz

Frequenza iniziale ..... 2Hz

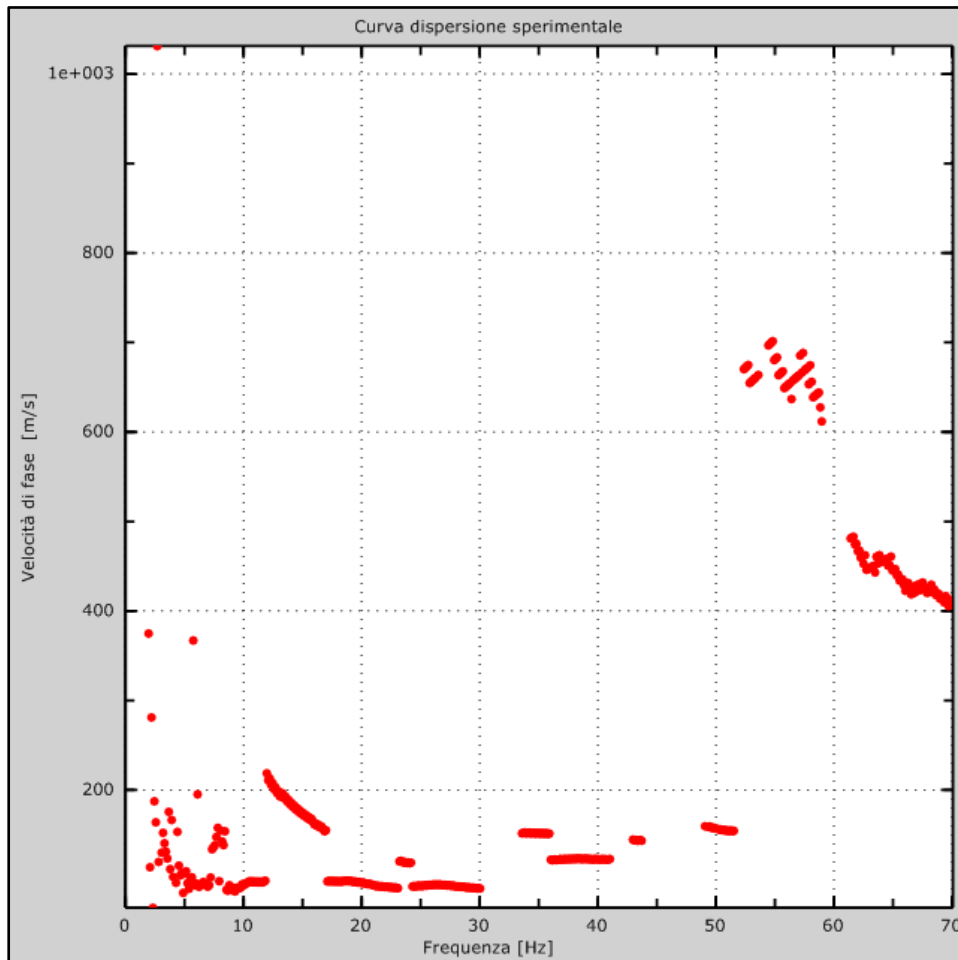


Fig. 23 – Curva di dispersione sperimentale Mw2

Curva di dispersione Mw2

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
2.10471	217.213	211.034	223.392
2.54489	182.198	178.079	186.317
3.24918	141.004	136.885	145.124
4.83385	112.169	105.989	118.348
7.56299	103.93	95.691	112.169
12.0529	99.8104	91.5716	108.049
18.5676	95.691	89.5119	101.87
23.2336	91.5716	87.4522	95.691
30.1885	87.4522	79.2135	95.691

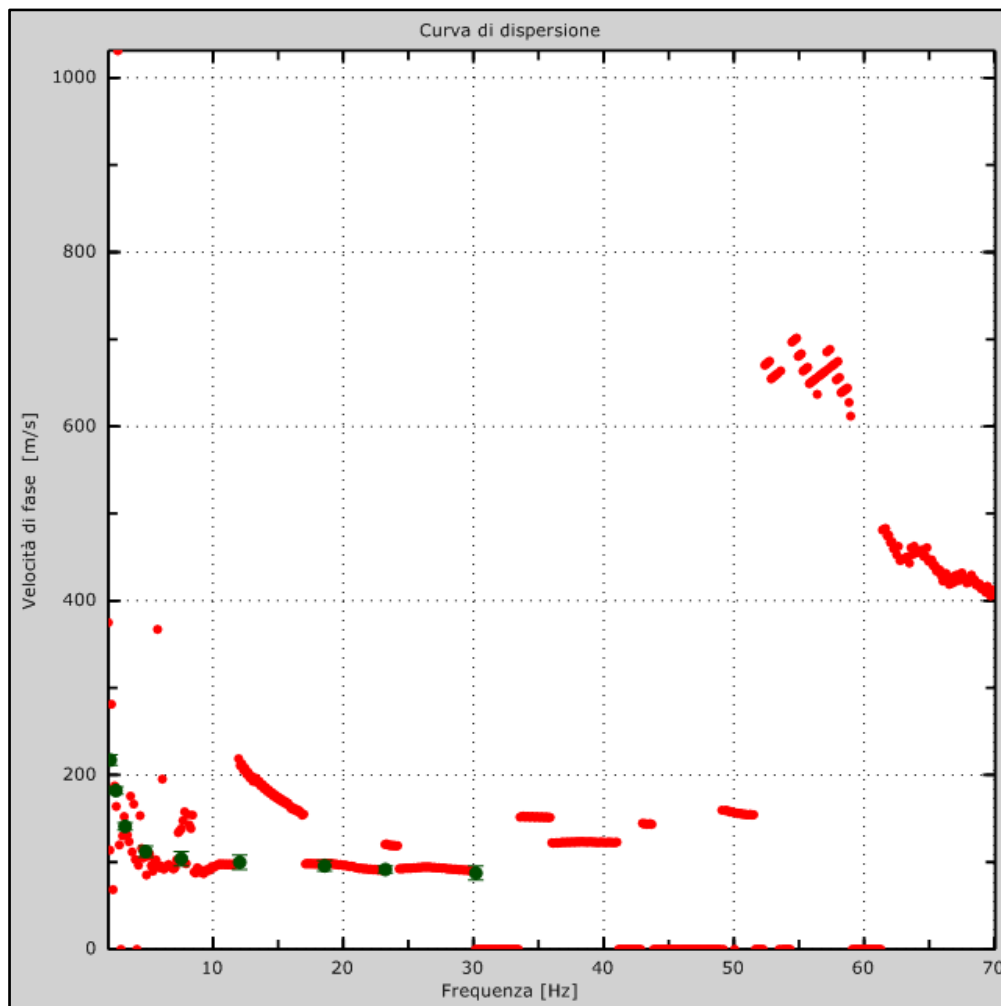


Fig. 24 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW Mw2

## Profilo in sito Mw2

Prospetto delle determinazioni dei valori di  $V_s$  per i sismostrati riscontrati nella Mw1

Numero sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ finale (m/s)	Falda nello strato
S1	0,00 - 1,90	1,90	97	Presente
S2	1,90 - 4,10	2,20	111	Presente
S3	4,10 - 7,80	3,70	115	Presente
S4	7,80 - 12,10	4,30	125	Presente
S5	12,10 - 20,40	8,30	157	Presente
S6	20,40 - 30,10	9,70	202	Presente

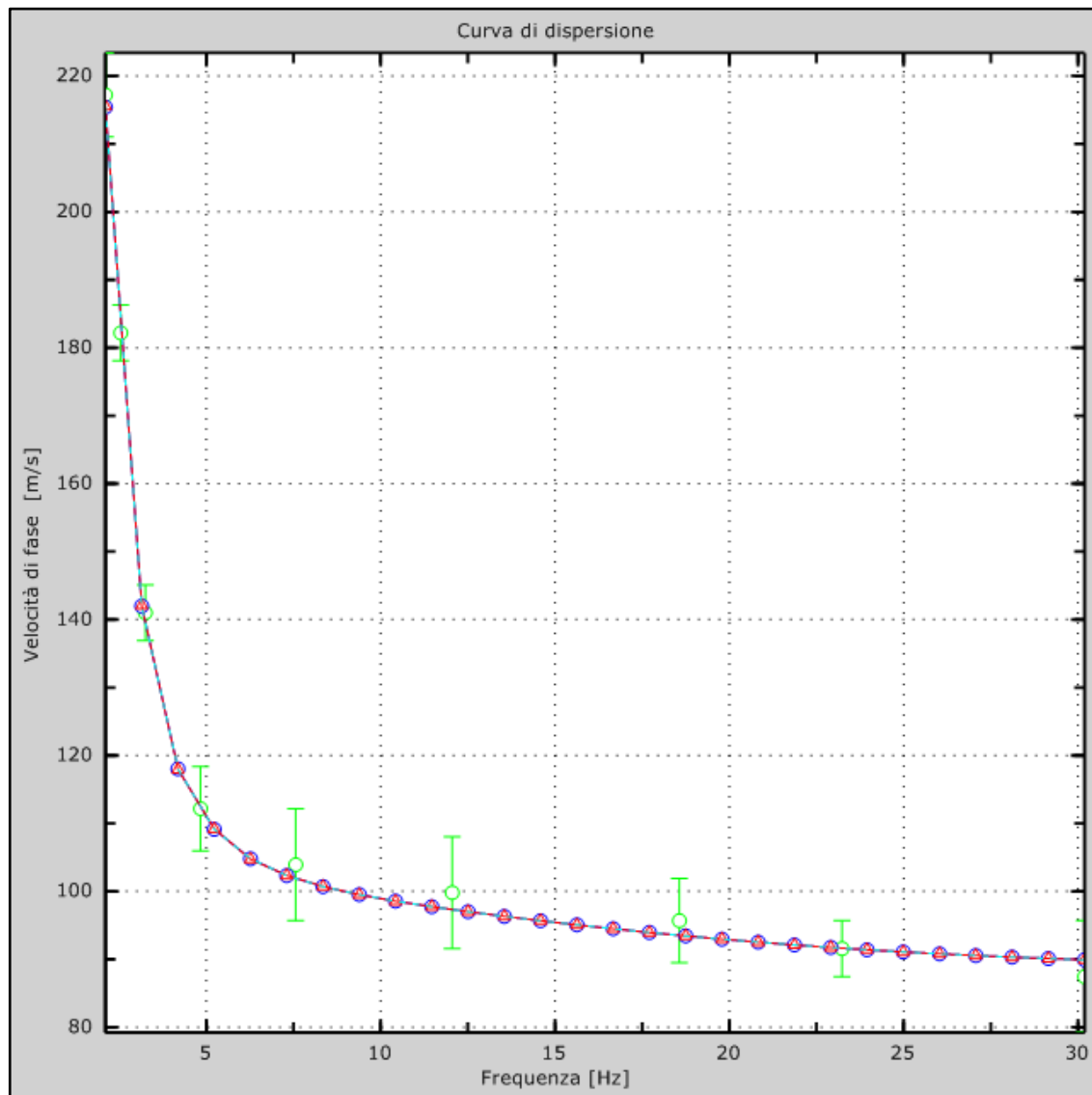


Fig. 25 – Velocità numeriche–punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)



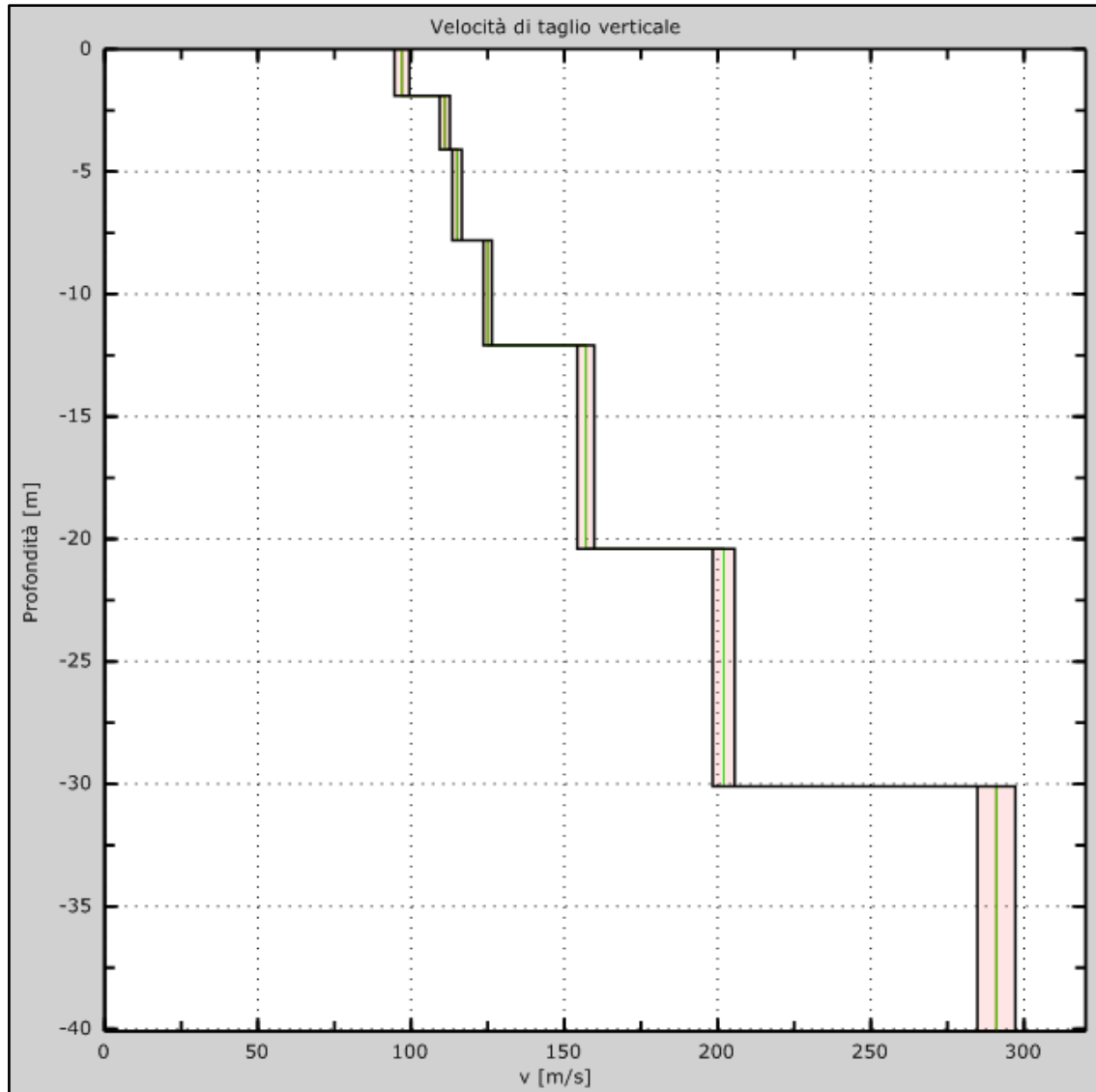


Fig. 26 – Profilo verticale delle Vs (in verde velocità iniziale, in rosso velocità finale) ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh

## 8. Considerazioni sul rischio sismico

### 8.1 Indicazione della zona sismogenetica

La Zonazione sismogenetica per il territorio nazionale, denominata ZS9, è stata eseguita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Meletti e G. Valensise - marzo 2004) che rappresenta il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone della precedente *Zonazione sismogenetica ZS4* (Scandone e Stucchi, 2000) e dell'introduzione di nuove zone (Fig. 27).

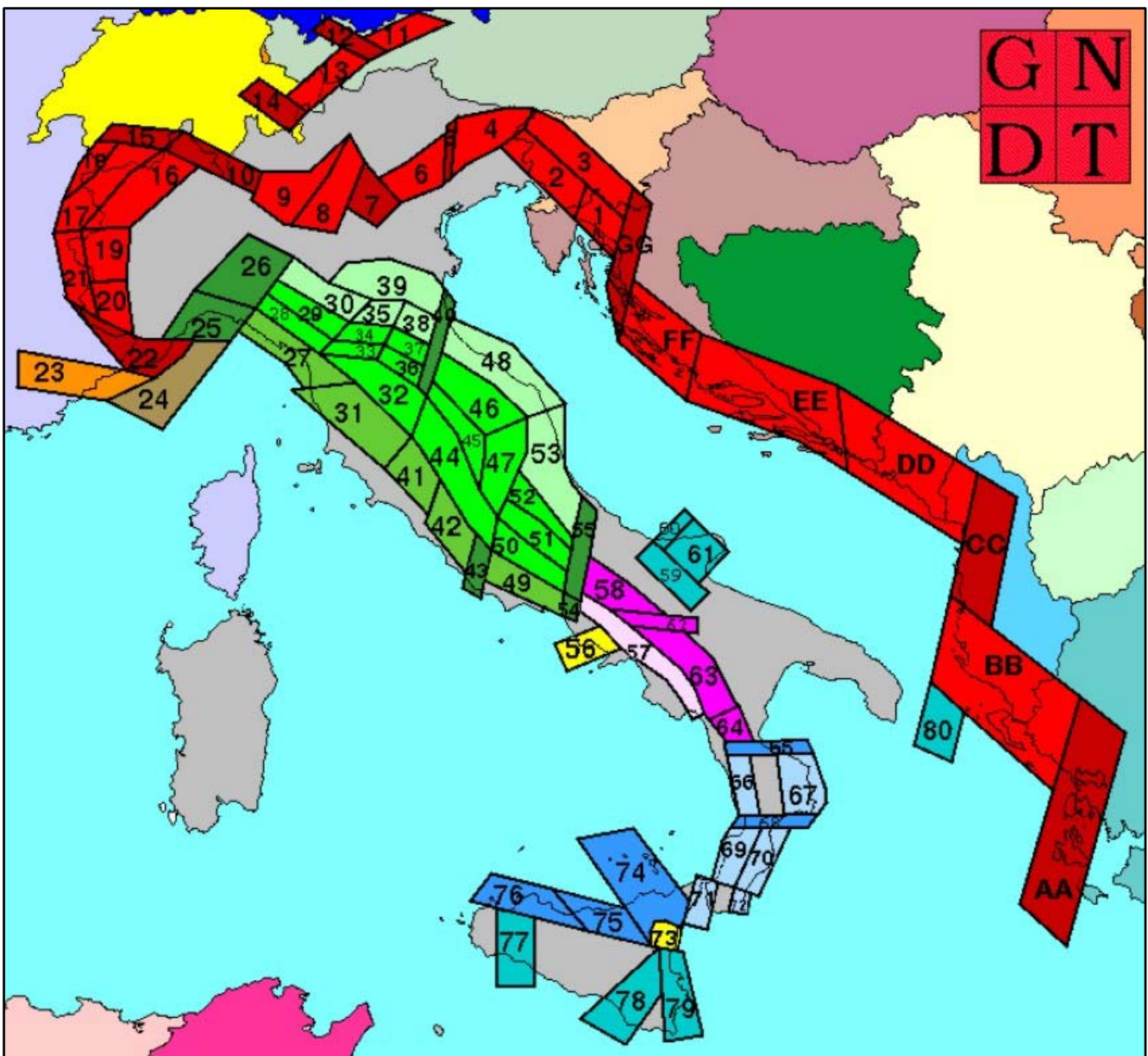


Fig. 27 – Zonazione sismogenetica ZS4

L'obiettivo di questa ricerca è stato la realizzazione di un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismotettonico oggi disponibile, tenendo in considerazione soprattutto le indicazioni e gli spunti che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali (tra gli altri Bormio 2000, Monferrato 2001, Merano 2001, Palermo 2002, Molise 2002) localizzati al di fuori delle zone-sorgente in essa definite.

La zonazione sismogenetica ZS9 è stata disegnata in maniera tale da soddisfare i seguenti requisiti:

- a) *essere basata sul pregresso modello ZS4;*
- b) *recepire le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane alla luce delle nuove evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni;*
- c) *considerare ed analizzare i dati relativi a terremoti localizzati al di fuori delle zone sorgente definite in ZS4;*
- d) *essere utilizzabile con i dati di CPTI2;*
- e) *fornire una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;*
- f) *fornire per ogni ZS un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile con le relazioni di attenuazione classiche modificate secondo le procedure di Bommer et al., (2003).*

La Zonazione sismogenetica ZS9 è costituita da 36 zone-sorgente identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A ad F) (Fig. 28).

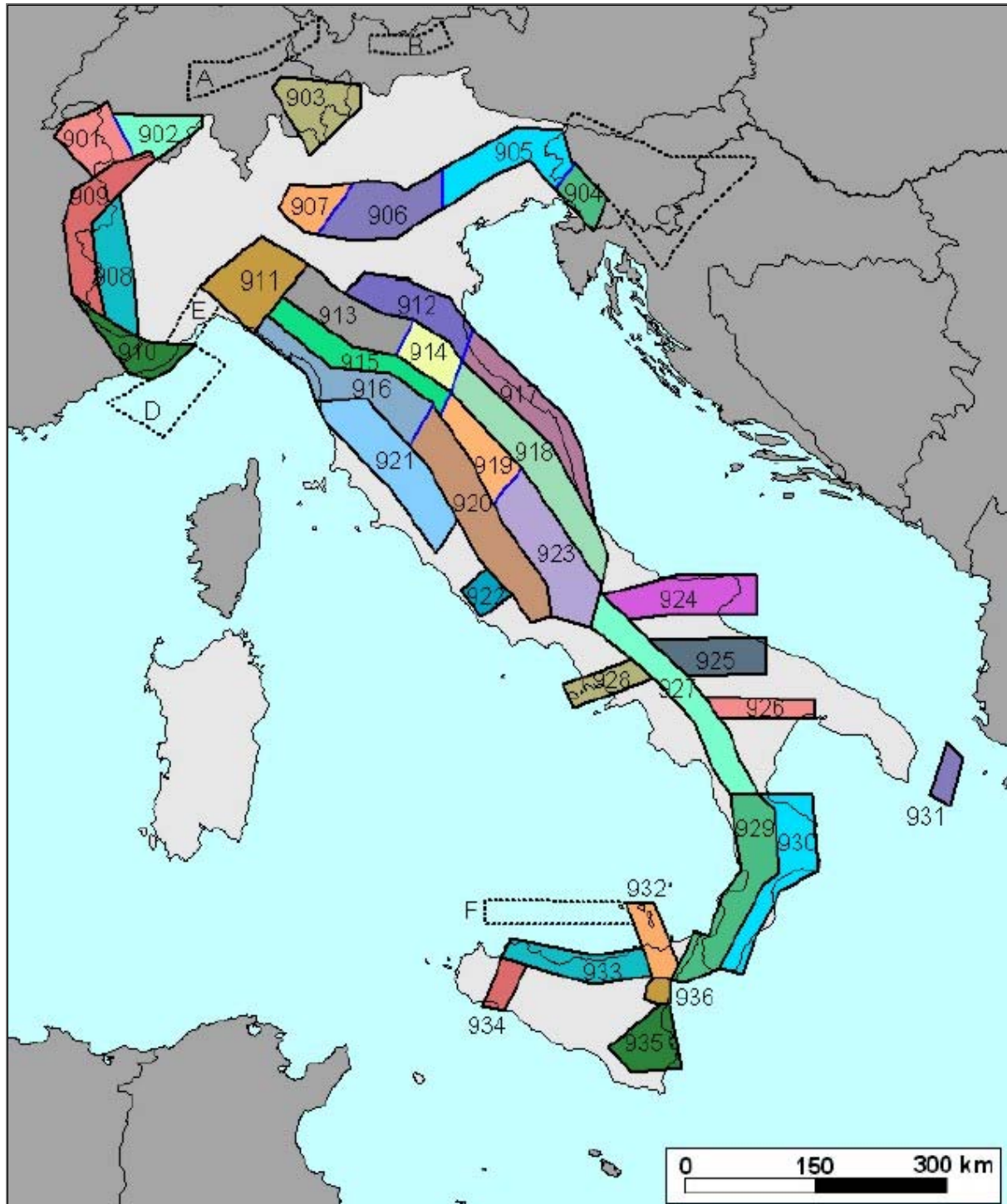


Fig. 28 – Zonazione sismogenetica ZS9

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.

La geometria delle sorgenti sismogenetiche della Campania e, più in generale, l'Appennino Meridionale (zone da 56 a 64 in ZS4 e zone da 924 a 928 in ZS9), in seguito alla realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9, è stata sensibilmente modificata rispetto a ZS4 (Rapolla, 2005).

La zona 927 include l'area caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata alla distensione generalizzata che, a partire da ca. 0.7 Ma, ha interessato l'Appennino meridionale (es. Patacca et al., 1990). Tale zona comprende tutte le precedenti zone di ZS4 coincidenti con il settore assiale della catena, fino al confine calabro-lucano (massiccio del Pollino).

La zona 57 di ZS4, corrispondente alla fascia costiera tirrenica, è stata in gran parte cancellata. Infatti si ritiene che, in caso di zonazione della fascia tirrenica, la sismicità non sarebbe tale da consentire una definizione affidabile dei tassi di sismicità. Peraltro, il contributo che verrebbe alla PGA sarebbe del tutto trascurabile rispetto agli effetti che su questa stessa zona verrebbero dall'attivazione di sorgenti nella zona 927.

La parte rimanente della zona 57, insieme alla zona 56 sono attualmente rappresentate dalla zona 928 (Ischia-Vesuvio), che include l'area vulcanica napoletana, con profondità ipocentrali comprese nei primi 5 km.

Nell'area al confine tra la catena e la Puglia, cioè l'area dell'avanfossa e dell'avampaese apulo, le nuove conoscenze sulla sismicità locale, suggerite dalla sequenza sismica del Molise del 2002 (Di Bucci e Mazzoli, 2003; Valensise et al., 2004), hanno comportato scelte che cambiano notevolmente le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed hanno permesso di identificare sorgenti con direzione EW, caratterizzate da cinematica trascorrente.

E' stata così identificata (Fig. 29):

- nell'area garganica una zona 924 (Molise-Gargano) orientata E-W, che include tutta la sismicità dell'area e la faglia di Mattinata, generalmente ritenuta attiva;
- una zona 925 (Ofanto) la cui geometria trae in parte spunto dalla zona 62 di ZS4, ad andamento WNW-ESE;
- la zona 926 (Basento) ad andamento E-W, definita dall'allineamento di terremoti a sismicità medio-bassa nell'area di Potenza.

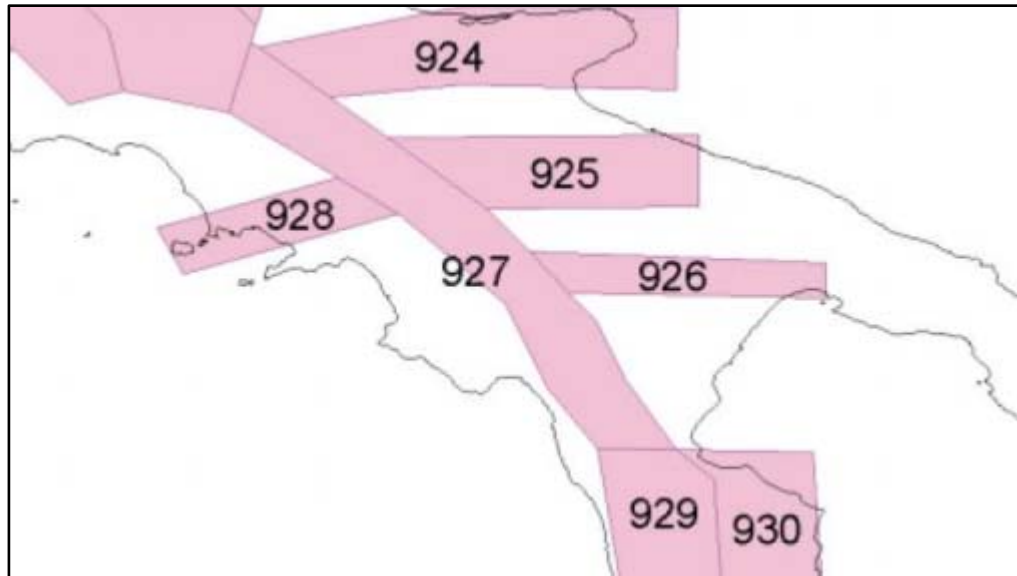


Fig. 29 – Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Appennino Meridionale

L'area di studio è prossima alla **Zona 928**. La *profondità efficace*, vale a dire quella profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, per la zona 928 è di 3 Km (Fig. 30).

Il *meccanismo di fagliazione* prevalente per la zona 928, dove per meccanismo prevalente si intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi, è di tipo diretto (Fig. 31).

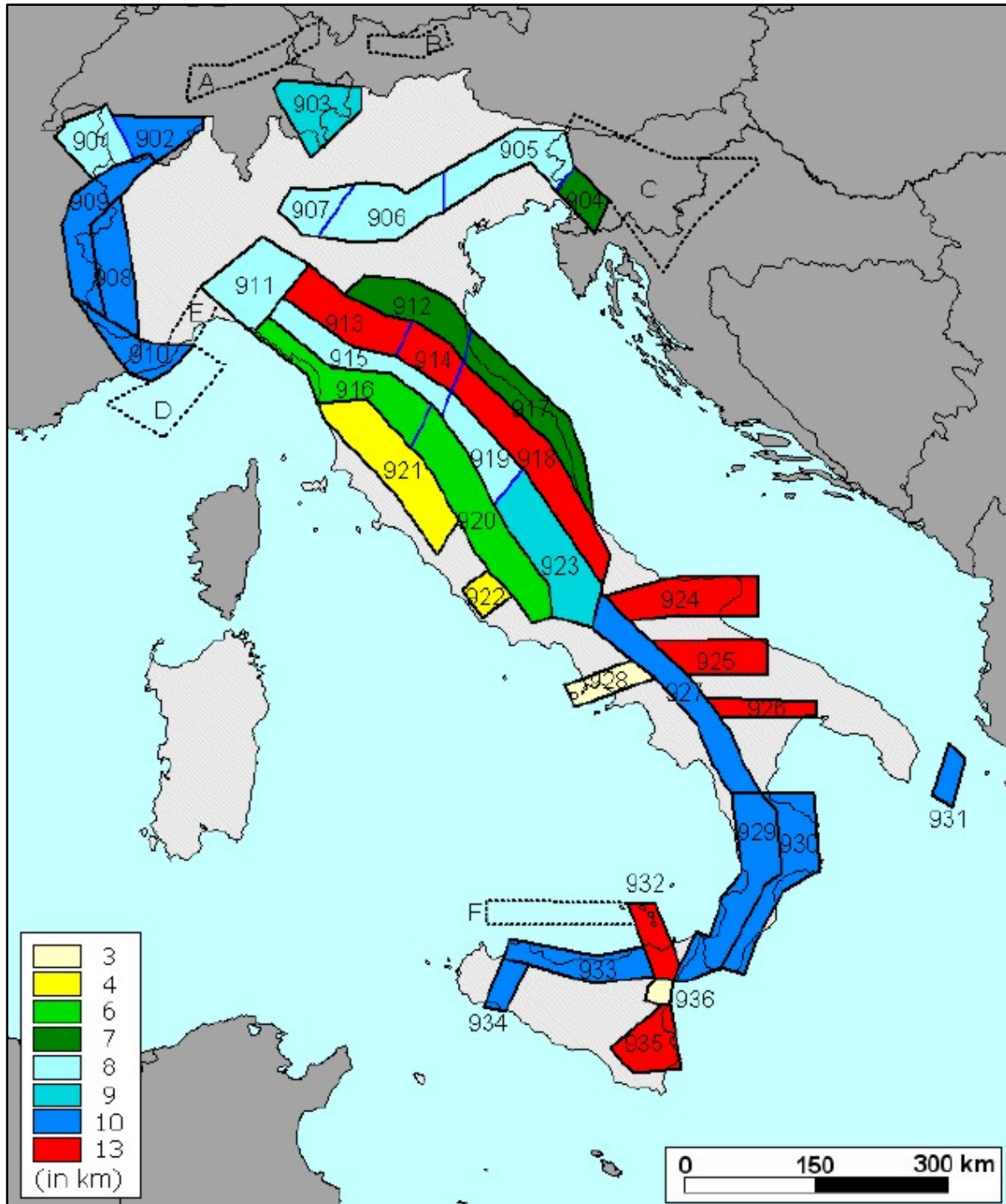


Fig. 30 – Moda delle distribuzioni di frequenza in funzione della profondità dei terremoti riportati nel catalogo strumentale INGV (1983-2002) per tutte le ZS di ZS9

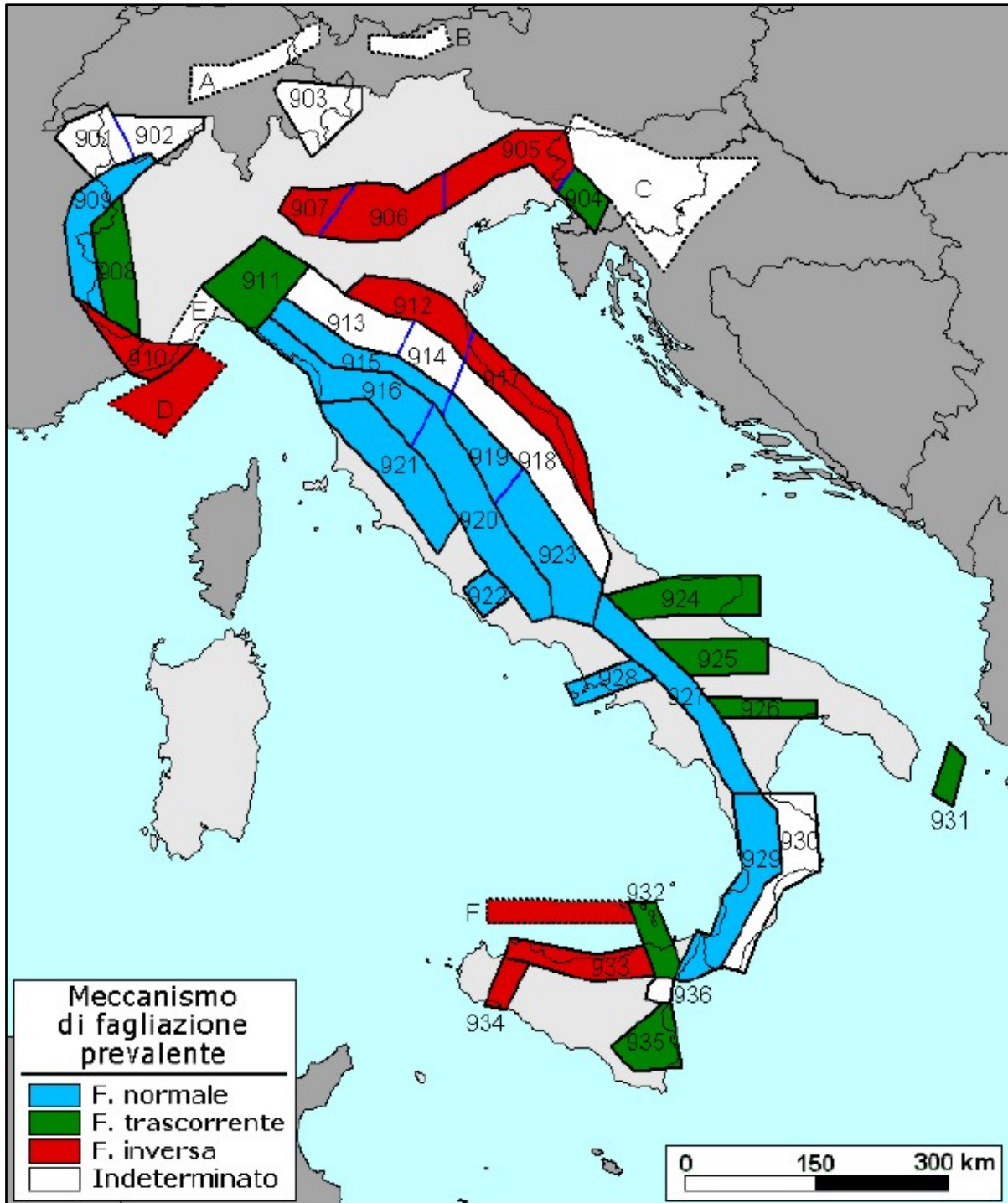


Fig. 31 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono ZS9.



## 8.2 Inquadramento geologico-geofisico della Campania

Il territorio comunale di Castel Volturno è situato al margine settentrionale della Piana Campana, un'ampia depressione (graben) che si estende dalle propaggini dell'Appennino fino al mar Tirreno (Fig. 32). La genesi del margine campano si inserisce nella più ampia evoluzione geodinamica dell'Italia e del Mediterraneo caratterizzata dallo scontro della Placca Africana con la Placca Euro-Asiatica, che ha portato alla formazione della catena alpina e successivamente degli Appennini (legati alla subduzione della Placca Africana al di sotto di quella Euro-Asiatica).

In particolare, l'assetto strutturale della Piana Campana è legato alla tettonica distensiva che ha interessato il sistema Appennino - Mar Tirreno (bacino di retroarco) negli ultimi stadi della sua evoluzione, tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene. I bordi della Piana sono caratterizzati da faglie dirette, ad orientamento NE-SW, NW-SE e E - W, delimitanti i massicci carbonatici che costituiscono le strutture marginali del graben.

A queste strutture tettoniche 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 maggior rigetto e quindi il massimo sprofondamento.

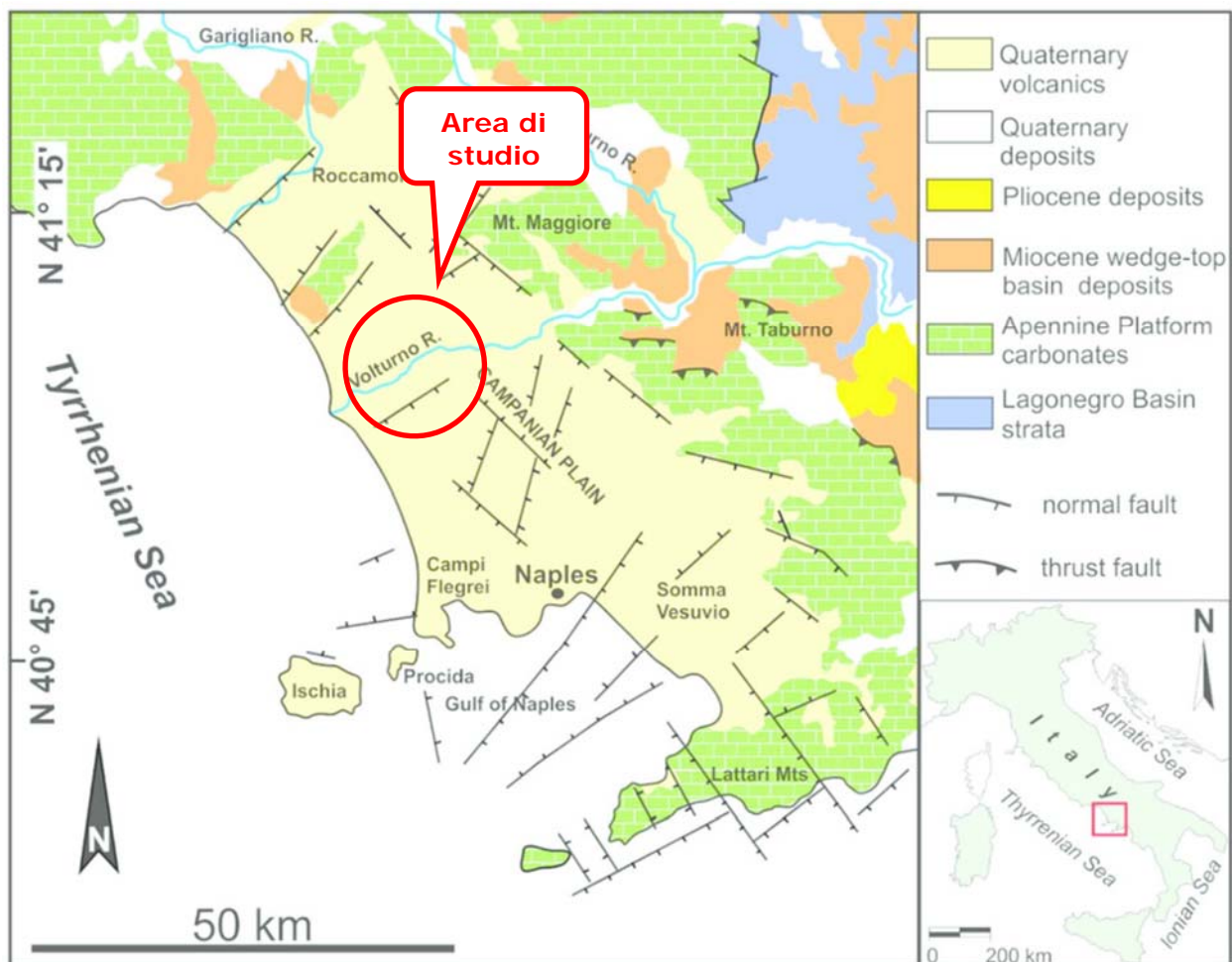


Fig. 32 - Carta geologico-strutturale schematica della Campania; [da Vitale e Isaia, 2014].

La Piana è caratterizzata da forti spessori di sedimenti di ambiente continentale e subordinatamente marino, talora con importanti intercalazioni di materiali vulcanici.

Tali sedimenti ricoprono la formazione calcarea ribassata a notevoli profondità mediante faglie dirette durante le fasi successive alla formazione della catena appenninica.

La messa in posto delle coltri sedimentarie è avvenuta durante il Mesozoico in ambiente di mare da basso a profondo. I banchi calcarei così costituiti furono successivamente impilati in una serie di falde a sovrascorrimenti e pieghe est-vergenti durante l'orogenesi appenninica.

Nella Piana Campana tali unità sono state dissecate in una serie di horst e graben e ribassate a profondità maggiori di 3 km, come testimoniano alcune perforazioni profonde (3 km) eseguite dall'AGIP tra gli anni '60 e '80, che non hanno rivenuto il top di tali unità.

Le serie sedimentarie che affiorano intorno alla Piana (ad est, a nord del Roccamonfina e a sud lungo la penisola Sorrentina e isola di Capri) consistono prevalentemente di carbonati di piattaforma la cui età varia dal Triassico al Cretaceo superiore.

Queste sequenze sono spesso coperte da sedimenti concordanti trasgressivi che culminano con depositi di flysch di età miocenica (Barberi et al., 1977).

La subsidenza, fortemente attiva nel Quaternario, è stata principalmente controllata da faglie normali subverticali ad andamento NW-SE e NE-SW, compensata da un tasso di sedimentazione variabile (mediamente 50 – 150 m/Ma con punte di 750 m/Ma) (Romano et al., 1994). Il risultato di tale sedimentazione è stato l'accumulo di notevoli spessori di depositi alluvionali costituiti da termini litologici di granulometria variabile tra le argille e le ghiaie.

Alcuni autori (Romano et al. – 1994) descrivono sei unità stratigrafiche ascrivibili ad ambienti variabili tra Marino, Transizionale e Continentale nel periodo compreso tra il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene, rappresentativi di una Piana inizialmente sommersa che poi è progressivamente emersa (Pleistocene superiore). Ciò in concomitanza con il deciso abbassamento del livello del mare legato all'ultima regressione eustatica e alla diminuzione dei tassi di subsidenza (Santangelo - 2011).

Nell'ambito delle fasi di riempimento del Graben della Piana Campana assume particolare rilevanza la messa in posto di materiali di origine vulcanica legati ai principali Apparati presenti: Roccamonfina, Campi Flegrei e Vesuvio. Con riferimento al territorio in studio, assumono particolare rilevanza gli eventi eruttivi che hanno dato origine alla formazione dell'Ignimbrite Campana (39.000 anni fa) e del Tufo Giallo Napoletano (15.000 anni fa).

Riguardo l'origine dell'Ignimbrite Campana, alcuni autori (Barbieri et al. 1991) (Fisher et al. 1993) (Orsi et al. 1999) (Ortolani et al. 1999) collocano il centro di emissione nell'ambito della caldera dei Campi Flegrei (originatasi a causa dell'eruzione), altri autori (Di Girolamo 1978) (Rolandi et al. 2003) ipotizzano un'eruzione di tipo fissurale lungo fratture in corrispondenza delle faglie che bordano la Piana Campana. In ogni caso si ritiene che l'eruzione ignimbritica rappresenti l'evento esplosivo più forte della storia vulcanica del mediterraneo degli ultimi 200.000 anni.

La distribuzione del flusso piroclastico dell'Ignimbrite Campana è rappresentata nella fig. 6, dove è evidenziato in giallo (LYT) la facies di tufo giallo litificato (Langella et al., 2013) e in grigio (WGI) la facies di Ignimbrite grigia (Barbieri et al., 1978) (Fig. 33).

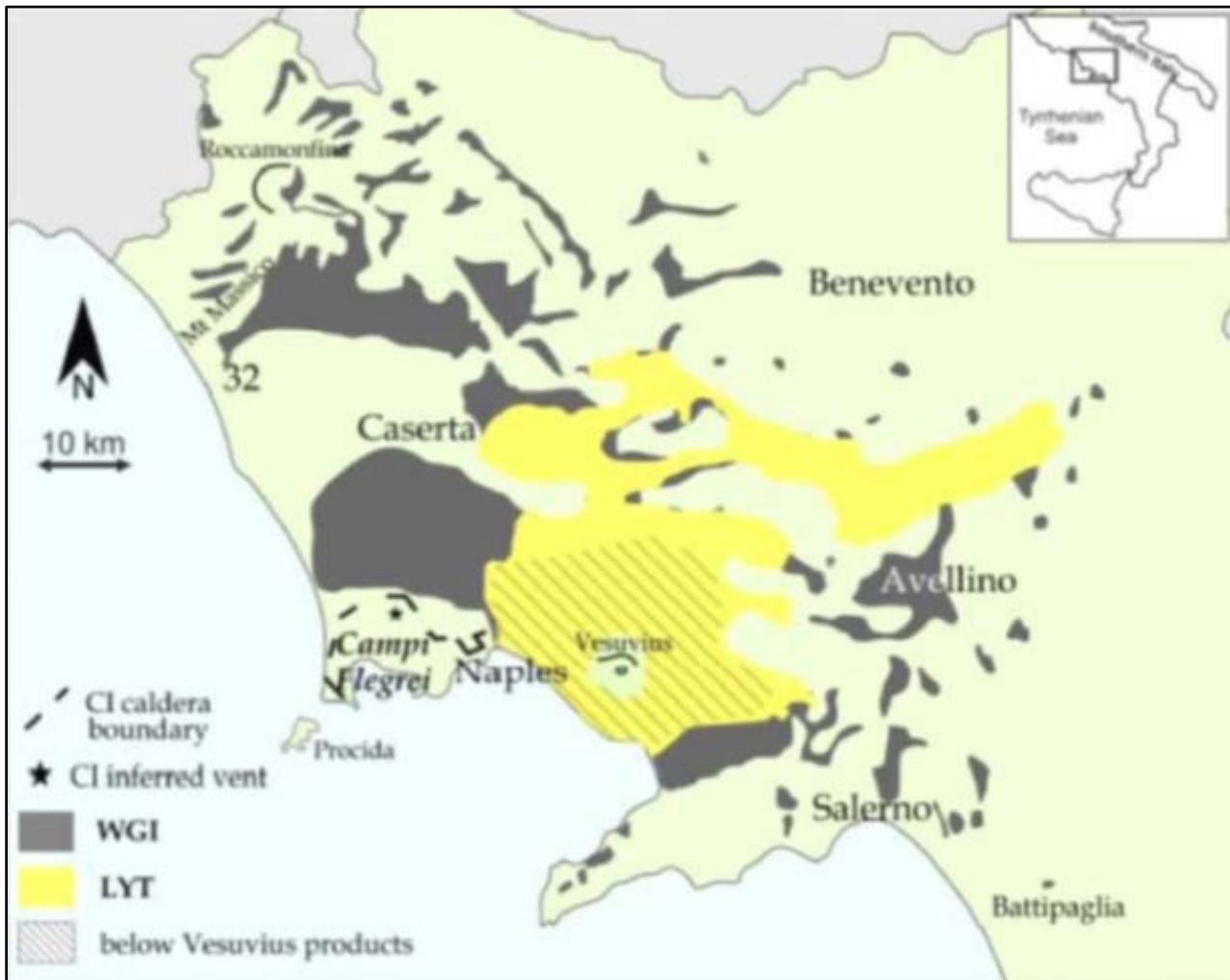


Fig. 33 – Distribuzione del flusso piroclastico dell'Ignimbrite Campana (da Scarpati, 2005)

Per la continuità, caratteristiche e spessori, l'Ignimbrite Campana costituisce un vero e proprio marker stratigrafico nella Piana Campana. Si stima che nella fase eruttiva furono prodotti 15–20 Km<sup>3</sup> di depositi piroclastici da caduta (Rosi et al. 1999) (Perrotta et al. 2003), circa 54 Kmc di depositi da flusso piroclastico (Scarpati et al. 2014) costituenti il tufo grigio trachitico distribuito su una superficie di circa 30.000 Km<sup>2</sup> e da 100 Km<sup>3</sup> di ceneri co-ignimbritiche distali (Perrotta et al. 2003). A seguito dei numerosi studi condotti sulla formazione ignimbritica si è passati da una descrizione monotona orizzontalmente e verticalmente (Di Girolamo 1970): depositi tufacei distinti in 4 unità (Cinerazzo, Semitufo, Tufo pipernoide, Piperno) che differiscono per il grado di saldatura crescente dall'alto verso il basso, alla descrizione di 10 unità stratigrafiche (Fedele et al. 2008) (Scarpati et al. 2012) di cui 9 depositi di flusso piroclastico distribuiti in modo disomogeneo ed 1 deposito pomiceo da caduta alla base.

### 8.3 Stratigrafia ed assetto morfo-strutturale della Piana Campana

La Piana Campana si presenta come un graben riempito da materiale alluvionale e piroclastico che si è sviluppato in seguito alla tettonica distensiva che ha interessato il margine tirrenico a partire dal Pio-Pleistocene, esplicitasi attraverso lineamenti di faglie in direzione NW-SE, NE-SW e E-W, che hanno ribassato le unità sedimentarie meso-cenozoiche affioranti ai bordi della Piana (Fig. 34). Le faglie con andamento NW-SE rappresentano strutture multifase e vari autori suggeriscono che siano caratterizzate da una più antica cinematica normale seguita da una di tipo strike-slip (principalmente laterale sinistra). Queste faglie formatesi nel Pleistocene inferiore diedero origine alle strutture ad horst e graben.

Le faglie normali con andamento NE-SW ed immergenti a SE, danno origine a semigraben riempiti da materiale quaternario e a blocchi piegati immergenti verso NW. Le faglie E-W sono caratterizzate da cinematica laterale sinistra (Torrente et al., 2010 e referenze citate) e sono più antiche delle precedenti (Miocene medio-superiore).

I vincoli principali per la ricostruzione stratigrafica dell'area sono rappresentati dai pozzi profondi perforati dall'AGIP tra gli anni '60 ed '80, per la ricerca degli idrocarburi e a scopo geotermico (Fig. 35).

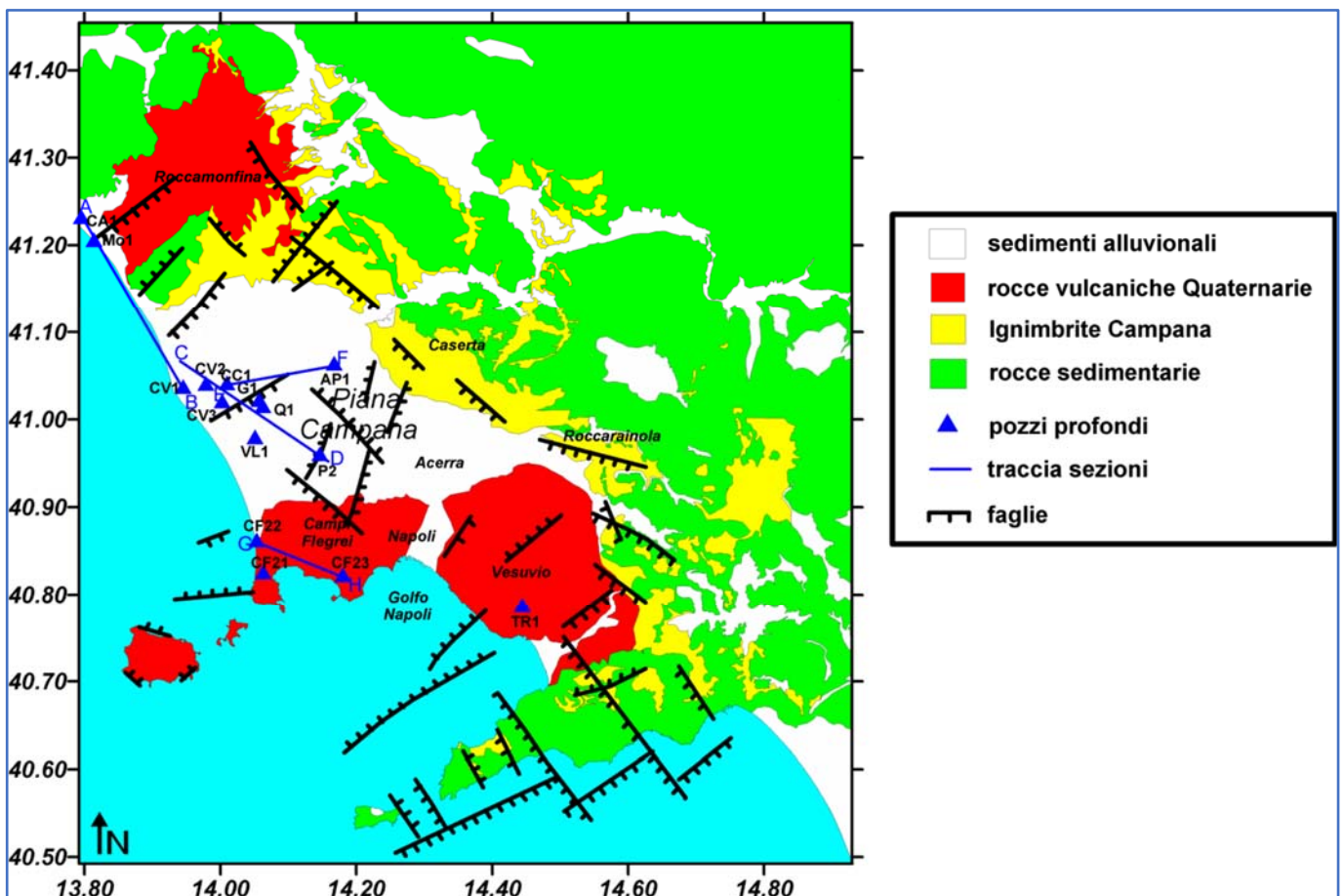


Fig. 34 - Ubicazione dei pozzi profondi su carta geologica semplificata (modificata da Orsi et al., 1996) con le tracce delle sezioni per i profili stratigrafici. Legenda Pozzi: Mo1=Mondragone 1; CA1= Cellole Aurunci 1; CV1-CV2-CV3 = Castel Volturno 1-2-3; CC1 = Cancellone 1; AP1 =Apramo 1; G1=Grazzanise 1; Q1=Qualiano 1; P2=Parete 2; VL1= Villa Literno 1; CF 21-22-23 = Campi Flegrei 21-22-23; TR1=Trecase 1.

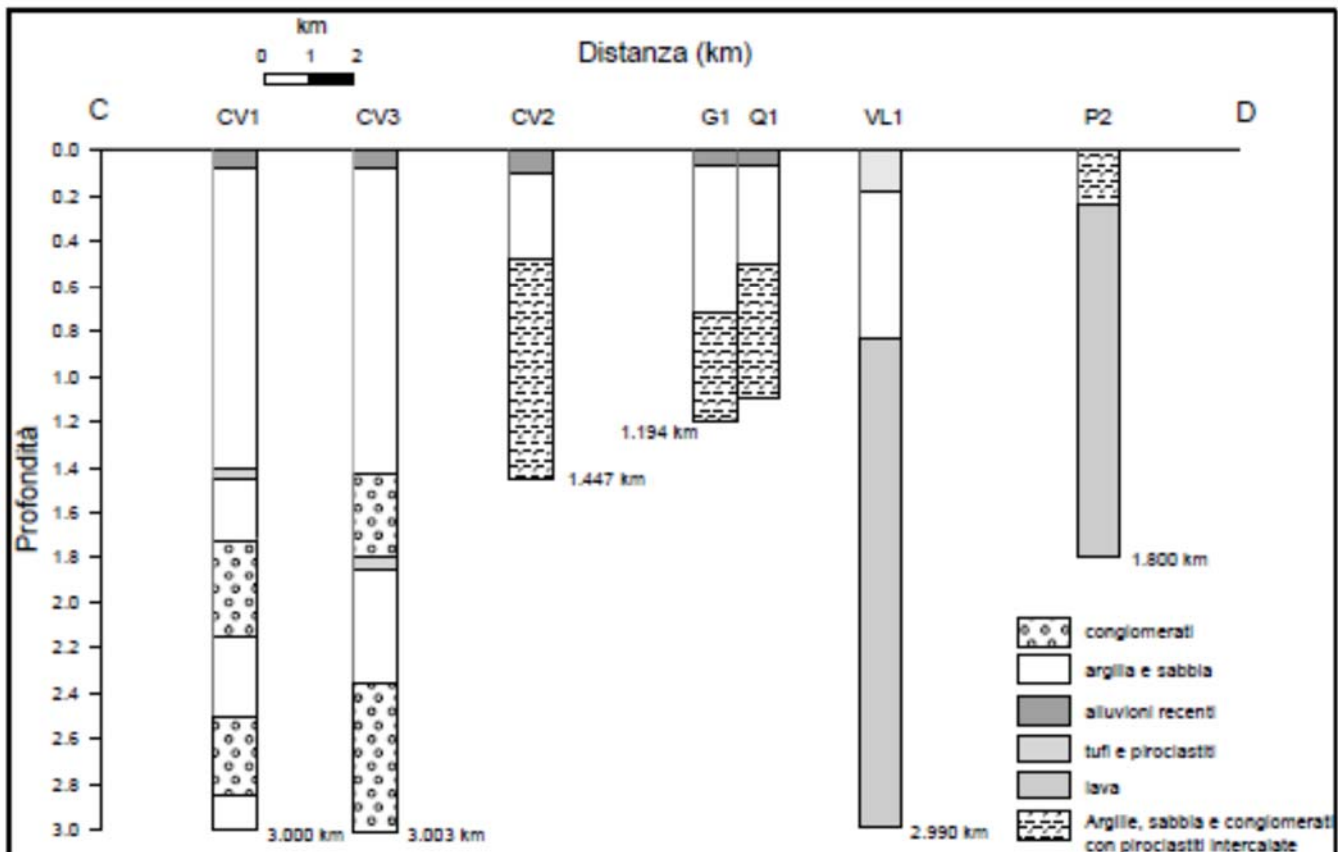


Fig. 35 - Profili stratigrafici dei pozzi profondi lungo l'allineamento CD (ubicato in Fig. 40).  
Tutti i pozzi attraversano per l'intera lunghezza depositi quaternari.

L'area di studio si trova lungo l'allineamento CD dove i pozzi CV1 e CV3 presentano depositi clastici di ambiente variabile da marino a continentale fino a 3000 m di profondità, all'interno dei quali sono state rinvenute due intercalazioni di piroclastiti tra 1430 e 1450 m (CV1) e tra 1800 e 1830 m (CV3).

Nei pozzi CV2, G1, Q1, gli spessori delle piroclastiti intercalate a livelli di sabbia e argilla aumentano ed è possibile ritrovarle a profondità minori, rispettivamente di 475, 720 e 500 m.

Nel pozzo VL1, al disotto dei prodotti piroclastici recenti sono stati ritrovati circa 150 m di tuffi andesitici, circa 650 m di depositi clastici di ambiente marino e di transizione e infine, da 830 m fino a 2980 m, alternanze di rocce effusive di tipo basaltico ed andesitico e tuffi. Negli ultimi 10 m è stata rinvenuta un'alternanza di sabbie e argille di età terziaria.

Nel pozzo P2 al di sotto dei prodotti piroclastici recenti alternati a depositi clastici (primi 300 m di spessore), sono state rinvenute alternanze di lave basaltiche e andesitiche fino a fondo pozzo (1800 m).

Nell'area compresa tra il basso corso del fiume Volturno ed i Campi Flegrei, dunque, i pozzi non rinvencono il basamento carbonatico.

## 8.4 Sismicità storica dell'area di studio

La provincia di Caserta risente della sismicità storica originatasi all'interno delle zone sismogenetiche presenti nella catena appenninica, disposte lungo una fascia orientata NW-SE, comprendente parte delle regioni Molise, Campania e Basilicata.

Questa fascia è definita dalla distribuzione degli epicentri dei terremoti sia storici che recenti. Gli addensamenti degli epicentri, le modalità di rilascio energetico in correlazione con l'assetto geologico-strutturale, permettono di individuare aree sismogenetiche a diverso comportamento sismico. Per tale motivo sono state identificate quattro aree sismogenetiche principali in cui vengono successivamente riconosciute le strutture sismogenetiche attive (Alessio et al., 1993).

Il territorio di in esame ricade in un settore regionale che presenta un rischio sismico derivante dalla sua posizione rispetto alla catena appenninica. Questa è, infatti, ancora in fase di prevalente sollevamento rispetto al margine tirrenico ed è caratterizzata dalla presenza di strutture sismogenetiche lungo le quali si distribuiscono maggiormente i principali eventi sismici.

L'analisi della distribuzione degli effetti prodotti dai terremoti con intensità maggiore dell'VIII grado **MCS** (Mercalli-Cancani-Sieberg), a partire dal XV secolo fino al terremoto del 1980 (terremoto dicembre 1456; 5 giugno 1688; 8 settembre 1694; 26 luglio 1805; 23 luglio 1930; 21 agosto 1962; 23 novembre 1980), ha evidenziato che gran parte della provincia di Caserta ha subito un danneggiamento valutabile tra il IX e il X grado della scala MCS.

Una stima della pericolosità sismica nella provincia di Caserta per effetto di sorgenti appenniniche può essere effettuata riferendosi al catalogo degli eventi sismici e considerando la legge di attenuazione degli effetti (Grandori et al., 1987) particolarizzata per l'Italia Centro-Meridionale. Analogamente è possibile procedere per quanto riguarda l'accelerazione orizzontale riferendosi alla legge di attenuazione (Sabetta & Pugliese, 1987). In ordine all'intensità sismica, si osserva che le zone della provincia di Salerno risentono fortemente degli effetti dei terremoti con epicentro nell'Irpinia e nella Lucania.

Lo studio della bibliografia esistente e del catalogo dei terremoti italiani ha permesso di individuare i sismi ritenuti più significativi avvenuti nel passato, i cui effetti sono stati avvertiti nell'area in studio; questi sono di seguito elencati:

1. Terremoto anno 927 - epicentro Ariano - Benevento (X);
2. Terremoto anno 981 - epicentro Benevento (X);
3. Terremoto anno 990 - epicentro BN - AV - Ariano - Conza (X);
4. Terremoto anno 1095 - epicentro Benevento (X);
5. Terremoto anno 1125 - epicentro Benevento (X);
6. Terremoto anno 1139 - epicentro Benevento (IX);
7. Terremoto anno 1139 - epicentro Benevento (IX);
8. Terremoto anno 1158 - epicentro Benevento (IX);
9. Terremoto anno 1180 - epicentro Ariano Irpino (X);
10. Terremoto anno 1349 - epicentro Benevento (IX);

11. Terremoto anno 1688 - epicentro Benevento - Ariano Irpino (IX);
12. Terremoto anno 1694 - epicentro Alto Sele - Ariano Irpino (IX);
13. Terremoto anno 1702 - epicentro Benevento - Ariano Irpino (X);
14. Terremoto anno 1732 - epicentro Benevento-Avellino-Ariano Irpino (X);
15. Terremoto anno 1805- epicentro Ariano Irpino - Avellino - Melfi (X);
16. Terremoto anno 1885 - epicentro Benevento (IX);
17. Terremoto anno 1905 - epicentro Benevento (IX);
18. Terremoto anno 1905 - epicentro Benevento - Montesarchio (X);
19. Terremoto anno 1962 - epicentro Ariano Irpino - Melito (X);
20. Terremoto anno 1980- epicentro Alto Sele-Ofanto (X).

Il territorio comunale di Castel Volturno è, tuttavia, ubicato a margine delle strutture sismogenetiche situate lungo la direttrice Sannio-Matese orientale sulla quale si sono sviluppati alcuni dei principali terremoti precedentemente riportati; l'intensità massima con la quale i suddetti sismi si sono manifestati nell'ambito del territorio comunale è del IX°-X°.

Alla luce di quanto sopra esposto si deduce che le zone prossime al margine tirrenico risentono gli effetti in forma più attenuata, come è confermato dai campi macrosismici dei maggiori eventi storici per i quali nell'area di studio non è mai stato registrato l'VIII grado MCS.

Le intensità dello scuotimento in termini di accelerazione di gravità  $g$ , confermano la previsione fatta con l'intensità macrosismica.

Appare, pertanto, che il **6° grado MCS** può essere considerato come il massimo grado di danneggiamento per il Comune di *Castel Volturno* (Fig. 36).

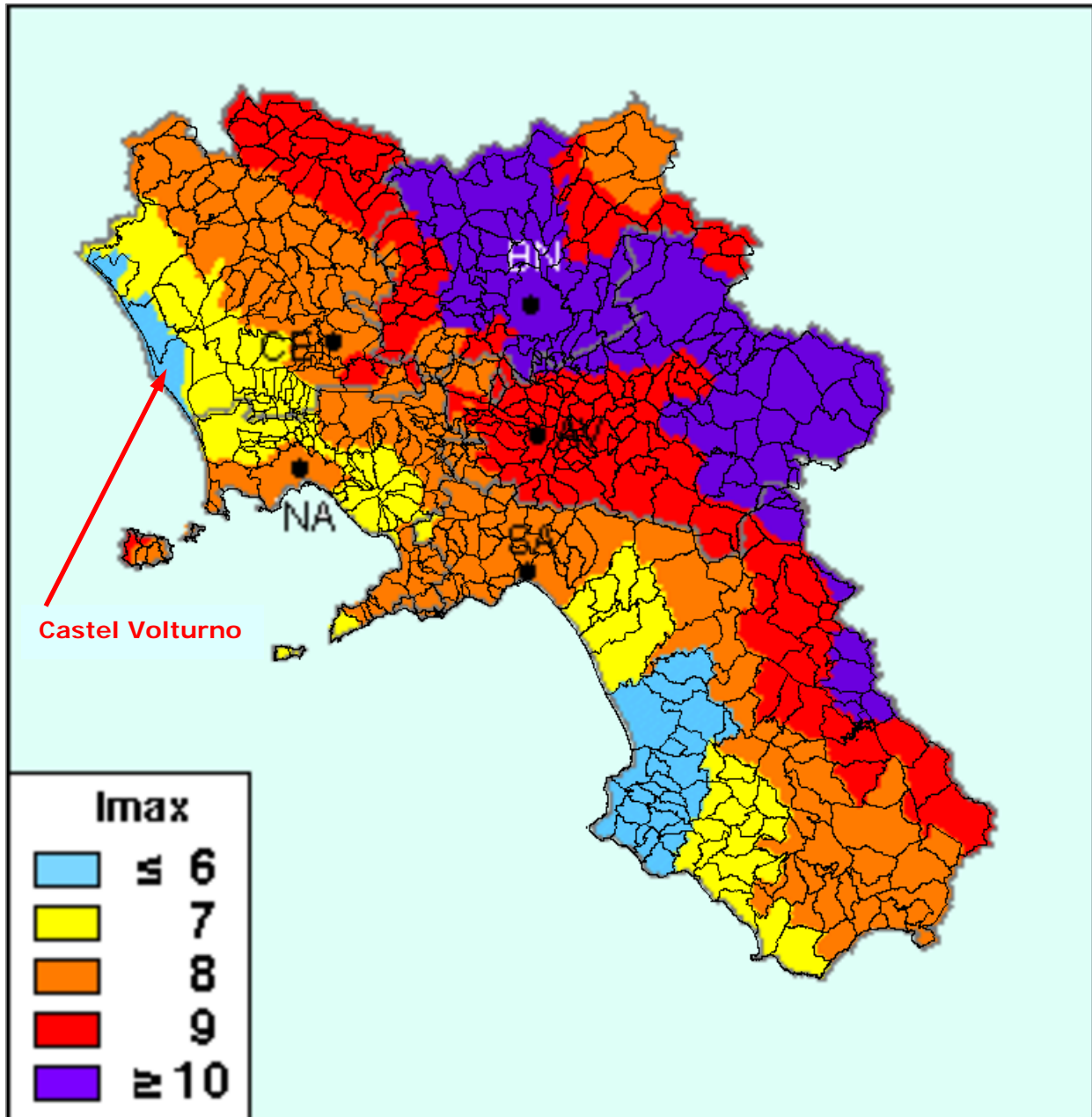


Fig. 36 – Massime intensità macrosismiche in Campania

Il **Database Macrosismico Italiano** permette di visionare la storia sismica delle località italiane. La versione **DBMI 15** è stato realizzato nell'ambito della linea di attività INGV T3 "Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio" e quale contributo alle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.

La versione 2015 del Database Macrosismico Italiano (DBMI15), è consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>. L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic*



Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11 (Locati et al., 2011). DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti. DBMI15 contiene 122701 dati di intensità relativi a 3212 terremoti.

La storia sismica del Comune di **Castel Volturno** è di seguito riportata (Figg. 37-38-39).

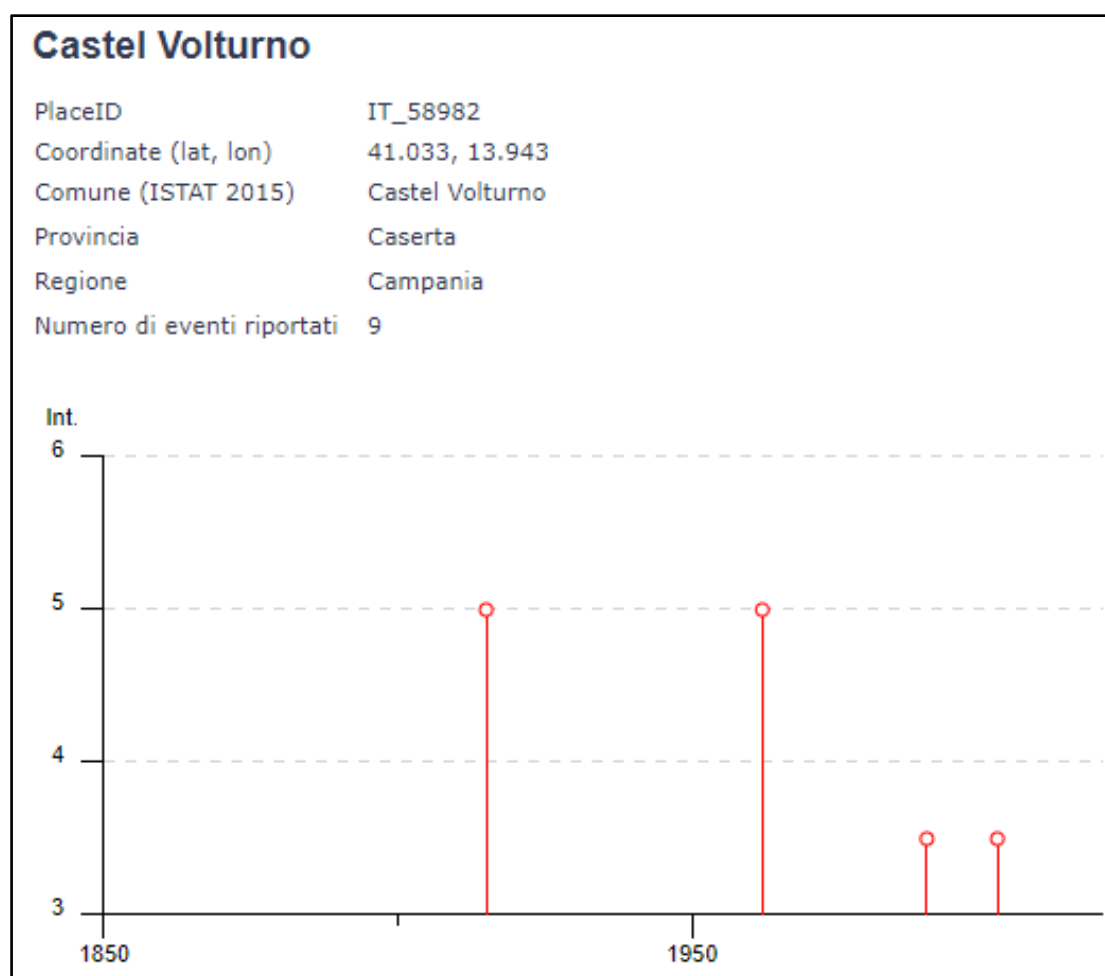


Fig. 37 – Storia sismica del Comune di Castel Volturno

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1892	11	16	02	10		Isola di Ponza	17	5-6	4.40
NF	1899	03	27	01	19	55	Tirreno centrale	18	4	3.70
5	1915	01	13	06	52	43	Marsica	1041	11	7.08
2	1919	10	22	06	10		Anzio	142	6-7	5.22
5	1962	08	21	18	19		Irpinia	562	9	6.15
NF	1967	10	05	22	49		Teano	9	6-7	4.86
3-4	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3-4	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
NF	2005	05	21	19	55	19	Area Nolana	271	5	4.07

Fig. 38 – Storia sismica del Comune di Castel Volturno

dove:

Int. = Intensità al sito (scala MCS); NMDP = Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io = Intensità massima (scala MCS); Mw = Magnitudo momento

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Cancello ed Arnone (Cancello)	5	8
Arnone	3	9
Mondragone	11	10

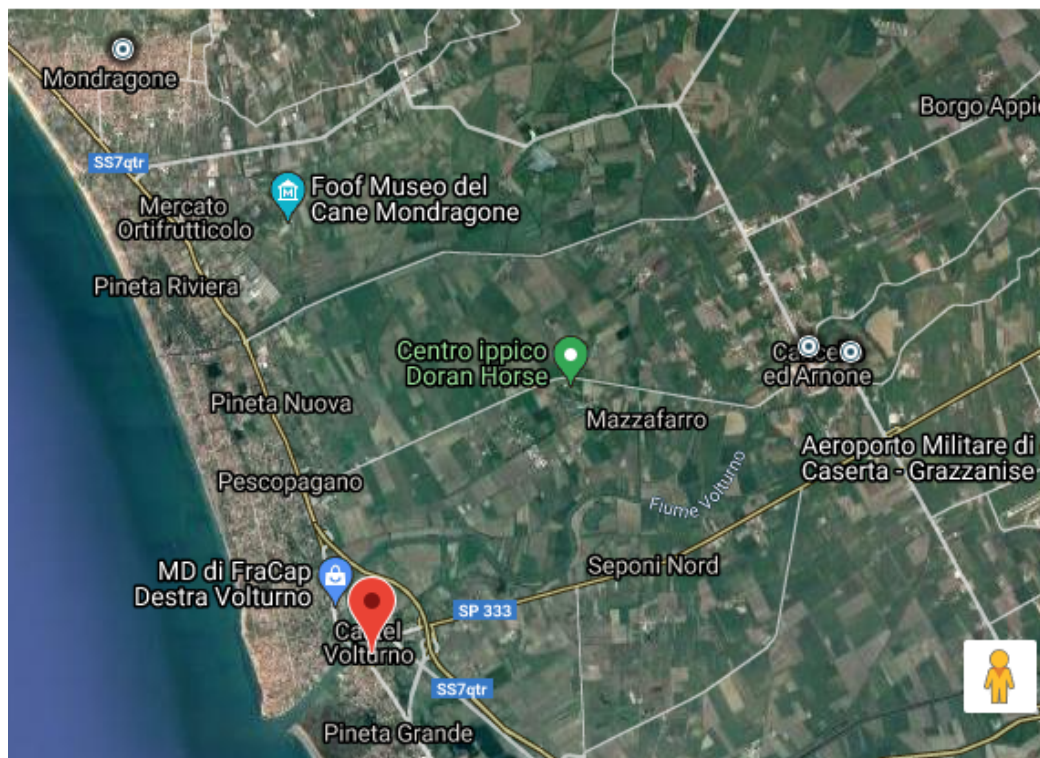


Fig. 39 – Maggiori terremoti registrati nelle località vicine al Comune di Castel Volturno

## 8.5 Classificazione sismica di Castel Volturno

A livello normativo, il problema del rischio sismico viene affrontato in modo organico con la legge n. 64 del 2 febbraio 1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche", in cui si prevedeva l'aggiornamento periodico della classificazione e delle norme tecniche costruttive in funzione di nuove conoscenze sulla genesi e sull'azione dinamica esercitata sulle strutture dall'azione sismica.

Ai sensi della L. 64/74 i comuni dichiarati sismici venivano classificati mediante decreti legislativi con i quali ad essi veniva assegnato un grado di sismicità "S" (6,9,12) a seconda dell'intensità macrosismica.

Dal grado di sismicità  $S$ , successivamente si determinava semplicemente il coefficiente di intensità sismica "C", inteso come percentuale dell'accelerazione di gravità  $g$ , mediante la formula  $C = (S - 2)/100$  (Fig. 40).

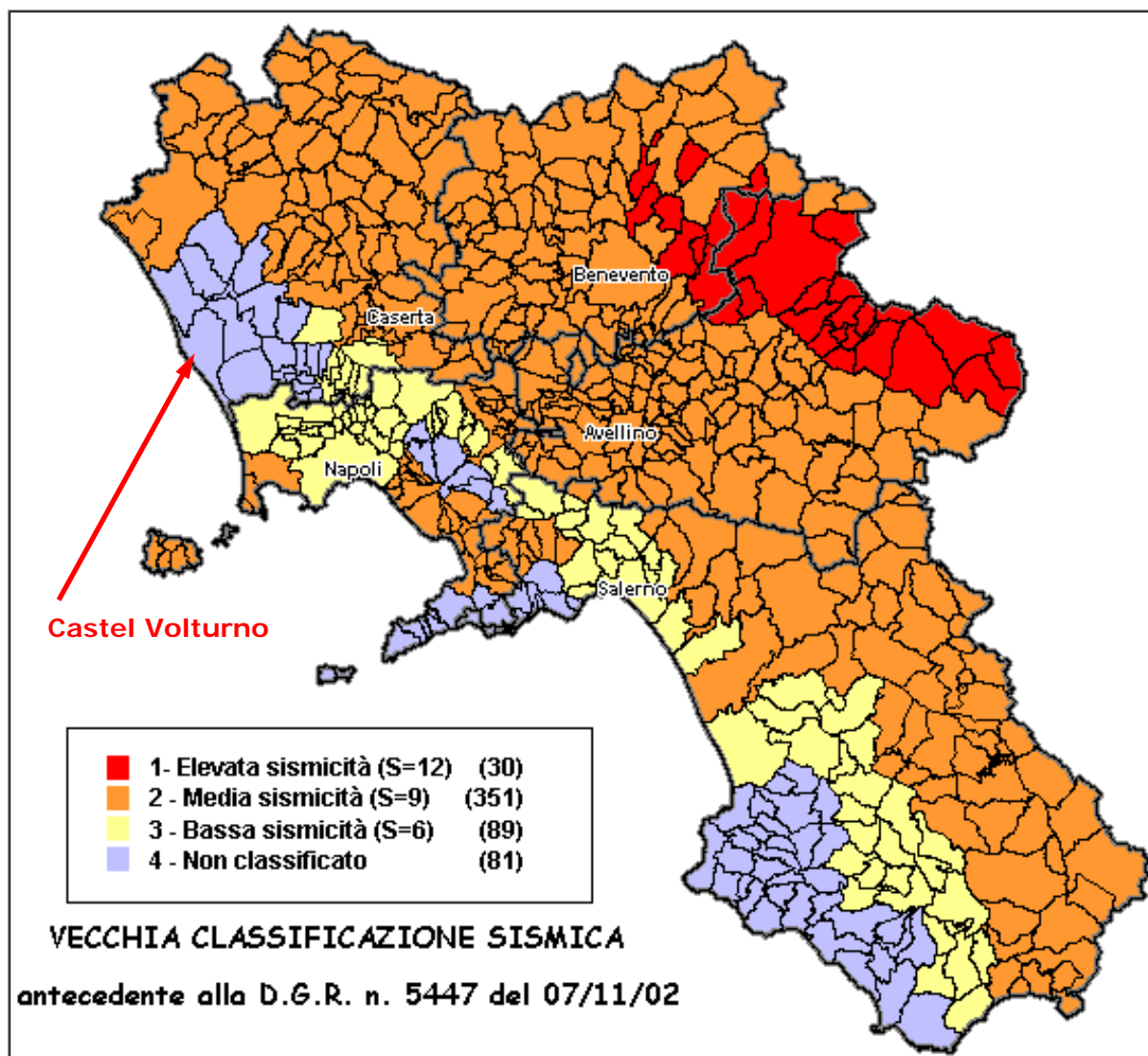


Fig. 40 – Vecchia classificazione sismica della Regione Campania

In seguito al terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, che evidenziò le errate scelte urbanistiche fino ad allora operate in chiave di protezione sismica, si rese necessario imporre norme più restrittive per l'adeguamento degli strumenti urbanistici generali e particolareggiati vigenti.

In tal senso, la Legge n.741 del 10 dicembre 1981 oltre a stabilire i criteri per la formazione degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico, determinava la delega alle Regioni (art. 20) per l'emanazione delle suddette norme, che in Campania trovò nella **Legge Regionale 9/83** una delle prime norme a livello locale che introducevano i criteri e le indagini per la redazione di mappe di Microzonazione comunale, per le progettazioni urbanistiche a carattere generale, e di Caratterizzazione sismica dei siti, per le progettazioni esecutive, nei comuni dichiarati sismici.

A seguito dei recenti eventi sismici (terremoto dell'Appennino umbro-marchigiano del 1998, terremoto del Molise del 2002), il legislatore ha emanato nel 2003 nuove norme antisismiche, introdotte con l'**Ordinanza n. 3274** del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".

In anticipo rispetto alla normativa nazionale, la Regione Campania ha adottato, con **D.G.R. 5447 del 7 novembre 2002**, la nuova classificazione sismica del territorio regionale formulata dal gruppo di lavoro costituito da esperti del Servizio Sismico Nazionale, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997 e le risultanze relative ai comuni della Campania (Fig. 41).

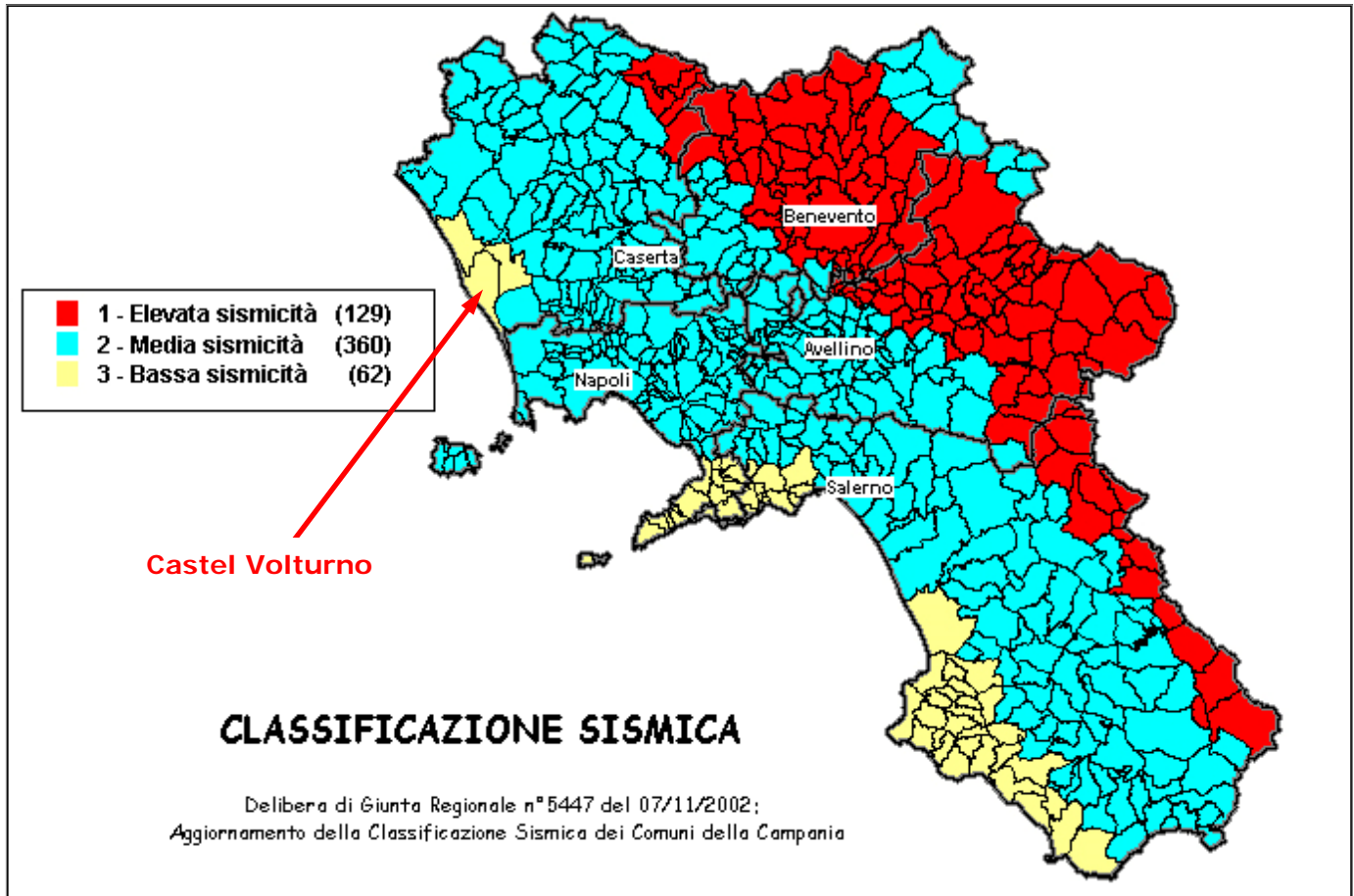


Fig. 41 – Nuova classificazione sismica del 2002 dei comuni della Regione Campania.  
Zona 1, valore di  $ag=0.35g$ ; Zona 2, valore di  $ag=0.25g$ ; Zona 3, valore di  $ag=0.15g$ .

In seguito a tale risoluzione, la classificazione sismica del territorio nazionale passa da tre a quattro categorie. In Campania i comuni classificati di *classe 1* (corrispondente ad un grado di sismicità  $S = 12$ ) passano da 30 a 131, con 101 comuni che passano dalla ex 2a categoria alla classe 1; *quelli di classe 2* ( $S = 9$ ) passano da 351 a 365, di cui 86 comuni della ex 3a categoria e 29 non classificati; quelli di *classe 3* passano da 89 a 55, di cui 52 comuni non classificati ai sensi della precedente classificazione (Figg. 42-43).

Pertanto il Comune di **Castel Volturno**, ai sensi della normativa vigente, è classificato a rischio sismico e rientra nella **zona 3** (*bassa sismicità*).

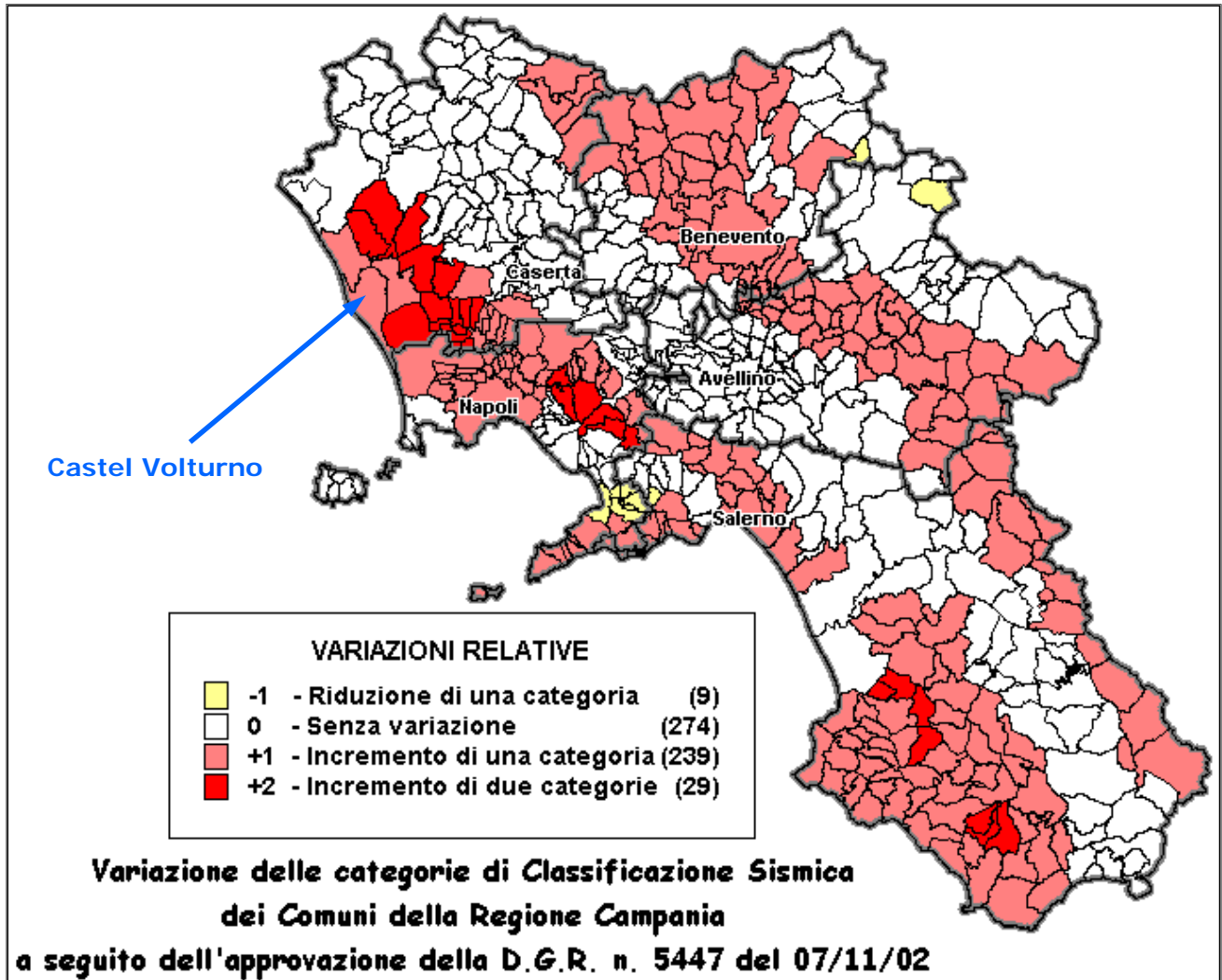


Fig. 42 – Variazione delle categorie di classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania

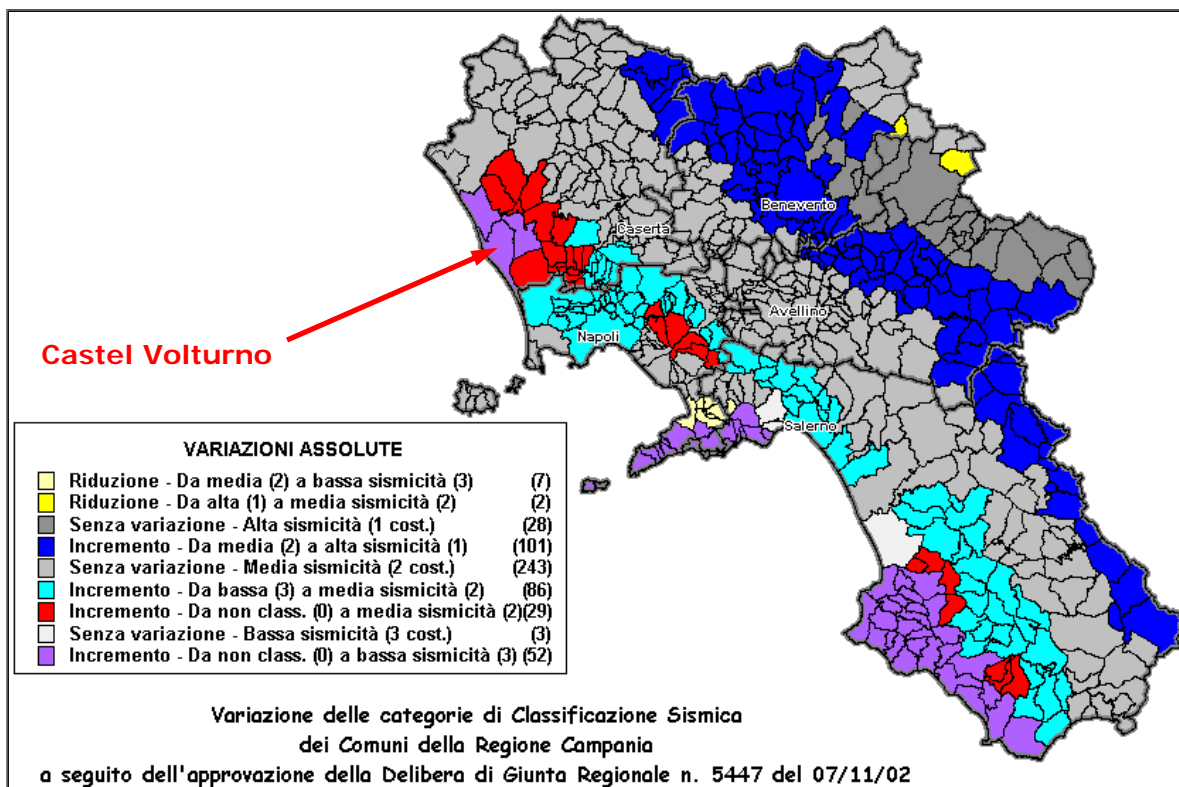


Fig. 43 – Variazione delle categorie di classificazione sismica dei Comuni della Regione Campania

Con l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 è cambiato il livello energetico attribuito alle classi sismiche, per cui la "Pericolosità Sismica", espressa come intensità sismica in termini di accelerazione al suolo ( $ag/g$ ), mette in luce nuovi valori di riferimento, notevolmente superiori rispetto a quelli precedentemente vigenti.

Nella tabella di seguito riportata è evidenziata la variazione di intensità sismica in termini di  $ag/g$ , a parità di classe sismica a scala nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2001; 2004). La Regione Campania ha anticipato l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 con la classificazione del territorio attuata dalla DGRC 5447/02.

Classificazione Sismica (O.P.C.M. 3274/03)	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $ag/g$	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) $ag/g$	Classificazione Sismica (D.M. 19/01/96)	Coefficiente Sismico (S)
1	>0,25	0,35	1	0,1
2	0,15 - 0,25	0,25	2	0,09
3	0,05 - 0,15	0,15	3	0,06
4	<0,05	0,05	4	0

Dall'applicazione della nuova normativa regionale (D.G.R.C. 248 del 24/01/2003; G.R.C. prot. 1667/SP del 5/11/2003; D.G.R.C. 816 del 10/06/2004) ne consegue che i Comuni che hanno subito una variazione dell'intensità sismica devono procedere ad una revisione degli strumenti

urbanistici, in quanto questi risultano, di fatto, inadeguati a garantire la sicurezza nel territorio e, soprattutto, degli edifici in occasione dell'evento massimo atteso.

Tutti i Comuni della Campania devono, pertanto, procedere ad **azioni di valutazione dell'intensità sismica locale (Microzonazione Sismica)** e ad una **revisione degli strumenti urbanistici vigenti**, in quanto gli stessi risultano essere inadeguati, in termini di "Pericolosità Sismica", alla nuova normativa vigente in Italia (cfr. *Relazione finale della Commissione Pericolosità Sismica -Deliberazione n°181 del 24/01/2007 dell'Ordine dei Geologi della Campania*).

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di **Castel Volturno** (Fig. 44) rientra nelle celle contraddistinte da valori di *ag* di riferimento compresi tra **0.075 e 0.125** (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *ag*; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

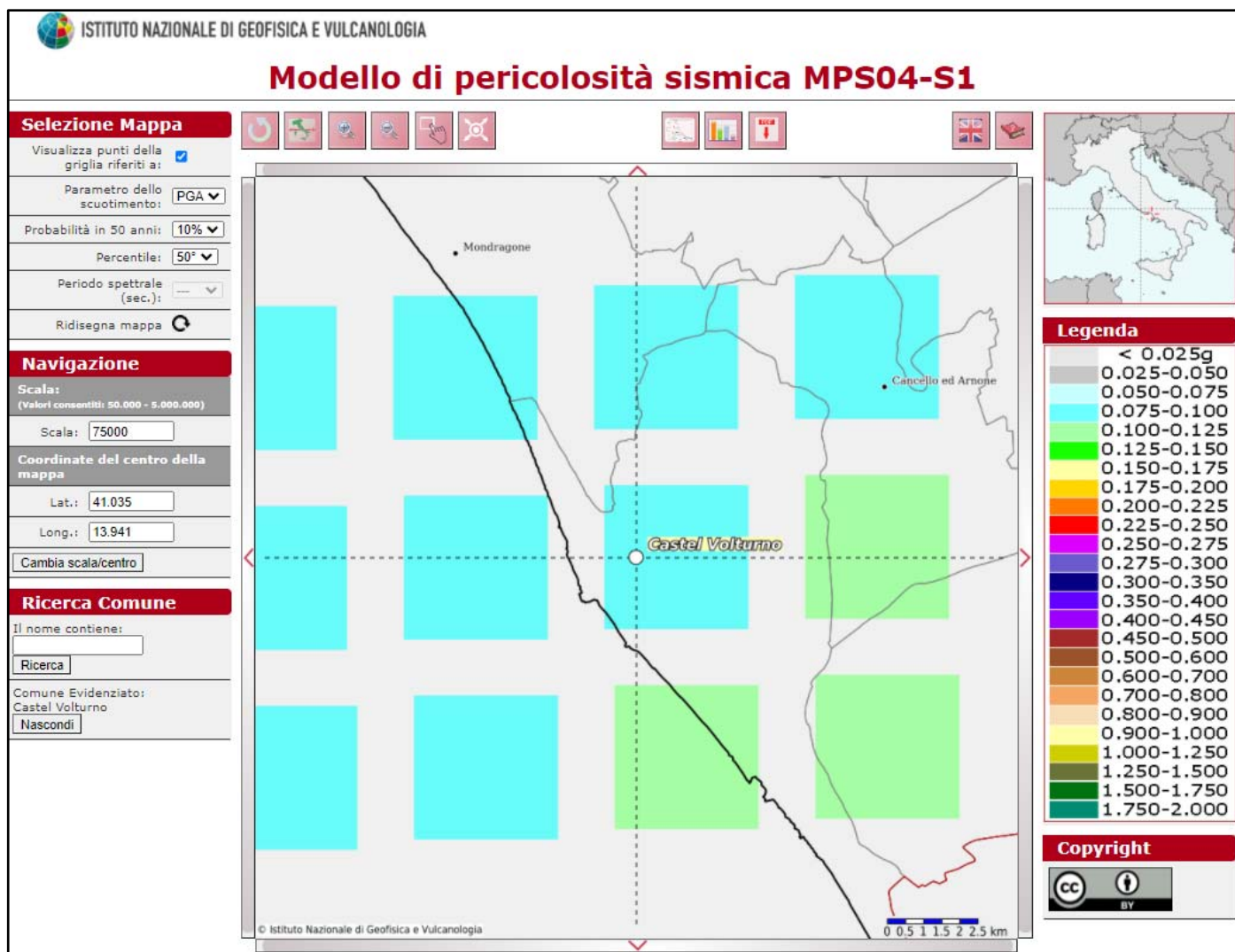


Fig. 44 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le N.T.C./2018. Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento *a(g)*; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.



## 8.6 Zonazione del territorio comunale in prospettiva sismica

Per la redazione del PUC del Comune di Castel Volturno la zonazione del territorio in prospettiva sismica è stata effettuata seguendo i criteri riportati nell'OPCM 3274 in base ai dati ricavati dalle indagini effettuate, in situ ed in laboratorio, estraendo i valori stratigrafici, geotecnici e geosismici, per ciascuna verticale investigata e parametrizzata.

Essi sono stati associati a valori desunti dall'iterazione dei risultati inerenti il parametro finale "Vs<sub>30</sub>". Inoltre è stato utilizzato anche il parametro "Nspt n", dove con n viene intesa la profondità raggiunta dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti effettuate DPHS. Tali indagini sono state spinte tra i 19,60 metri e i 25.20 metri di profondità dal p.c. Tale valore pur non raggiungendo i 30 metri dal p.c. si è dimostrato accettabile in quanto i valori di categoria di suolo scaturiti rientrano perfettamente nell'ambito dei limiti geolitologici individuati e si relazionano perfettamente con i valori di categoria di suolo scaturiti dalle indagini DH effettuate negli stessi ambiti geologici. Di seguito si riportano per l'area di specifico interesse, e per un suo congruo intorno, tutti i valori dei parametri ottenuti, direttamente dalle indagini effettuate (DH), ovvero ottenuti per correlazione fra alcuni di essi (DPSH):

Sondaggio S2	strato I	strato II	strato III	strato IV	strato V	strato VI	unità di misura
Spessore	1,5	2,9	4	11,4	2,6	7,6	m
Velocità media onde P	453,01	670,07	726,06	1326,08	1828,04	1449,09	m/s
Densità media	1,42	1,5	1,52	1,73	1,89	1,77	gr/cm <sup>3</sup>
Velocità media onde S	133,08	124,05	106,03	362,01	348,04	320,09	m/s
Coefficiente di Poisson	0,45	0,48	0,49	0,46	0,48	0,47	
Rigidità media	0,19	0,19	0,16	0,63	0,66	0,57	
Vs <sub>30</sub>	<b>222,66</b>						m/s

Sondaggio S10	strato I	strato II	strato III	strato IV	strato V	unità di misura
Spessore	3,25	4,9	9,4	1,2	11,2	m
Velocità media onde P	432,7	931,7	1247,7	2180,5	1413	m/s
Densità media	1,42	1,6	1,7	1,99	1,76	gr/cm <sup>3</sup>
Velocità media onde S	140,6	154	141,1	162,4	298,1	m/s
Coefficiente di Poisson	0,44	0,49	0,49	0,50	0,48	
Rigidità media	0,20	0,25	0,24	0,32	0,52	
Vs <sub>30</sub>	<b>180,18</b>					m/s

Confrontando i dati scaturiti dalle indagini sismiche in foro (DH) e quelli delle prove penetrometriche pesanti (DPSH), con i dati stratigrafici quali risultano dai relativi sondaggi a carotaggio continuo, è stato possibile effettuare una caratterizzazione geosismica degli strati litologici significativi costituenti il sottosuolo di Castel Volturno. Questo ha permesso di quindi avere una distribuzione diffusa del dato caratterizzante il territorio comunale dal punto di vista sismico. La tabella che segue mostra il dato Vs<sub>30</sub> calcolato per tutti i carotaggi effettuati sul territorio comunale:

DH	S2
Vs30 (m/sec)	223
Categoria di suolo	C

DPSH	P1	P2
NSPTn	3	6
Categoria di suolo	D	D

DH	S10
Vs30 (m/sec)	180
Categoria di suolo	D

DPSH	P4
NSPTn	6
Categoria di suolo	D

L'elaborazione dei dati sopra menzionata, ha permesso quindi di effettuare una zonazione del territorio comunale dal punto di vista della risposta sismica, utilizzando il valore della Vs30.

Il "range" dei valori calcolati mette in evidenza che, in funzione della pressappoco estesa eterogeneità litostratigrafica caratterizzante il sottosuolo dell'area di studio risulta caratterizzato da un valore della Vs<sub>30</sub> compreso tra 116 e 192 e di Nspt compreso tra 3 e 7 colpi, ricadenti quindi nella categoria di suolo D.

In base ai valori relativi alla Vs<sub>30</sub> è possibile estrapolare una zonazione del territorio comunale dei fattori di incremento da applicare nelle varie microzone all'accelerazione sismica relativa allo spettro elastico di ancoraggio riferito a suoli di fondazione della categoria A.

Nel caso specifico del territorio comunale di Castel Volturno, per quanto concerne la parte caratterizzata da Categoria di Suolo D il fattore di incremento da applicare all'accelerazione sismica di ancoraggio è  $S = 1,35$ . (OPCM 327472003, D.G.R. Campania 1701 del 28-10-2006).

## 9. Risposta sismica locale

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie.

Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive.

Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni "DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» Circolare 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, pubblicate in GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8.

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono, dunque, a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della *risposta sismica locale*, cioè l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno (coefficienti  $S_s$  e  $C_c$ );
- *effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza (coefficiente  $S_T$ ).

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati. In tal caso si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV delle NTC.

## 9.1 Categoria di sottosuolo

Il D.M. 17 gennaio 2018, al *Capitolo 3.2.2 (Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche)*, prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde  $S$  nella copertura che dello spessore della stessa.

Esso propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque tipologie di suoli ( $A, B, C, D, E$  - Tabella 3.2.II), per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare, da individuare in relazione ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{S,eq}$ ).

Per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 (Fig. 45) si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2.

Tabella 3.2.II delle NTC – Categorie di sottosuolo

Classe	Descrizione
A	<i>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 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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 m.</i>

In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (m/s)$$

con:

$h_i$ : spessore in metri dell' $i$ -esimo strato di terreno;

$V_{s,i}$ : velocità dell'onda di taglio media nell' $i$ -esimo strato;

$N$ : numero di strati;

$H$ : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

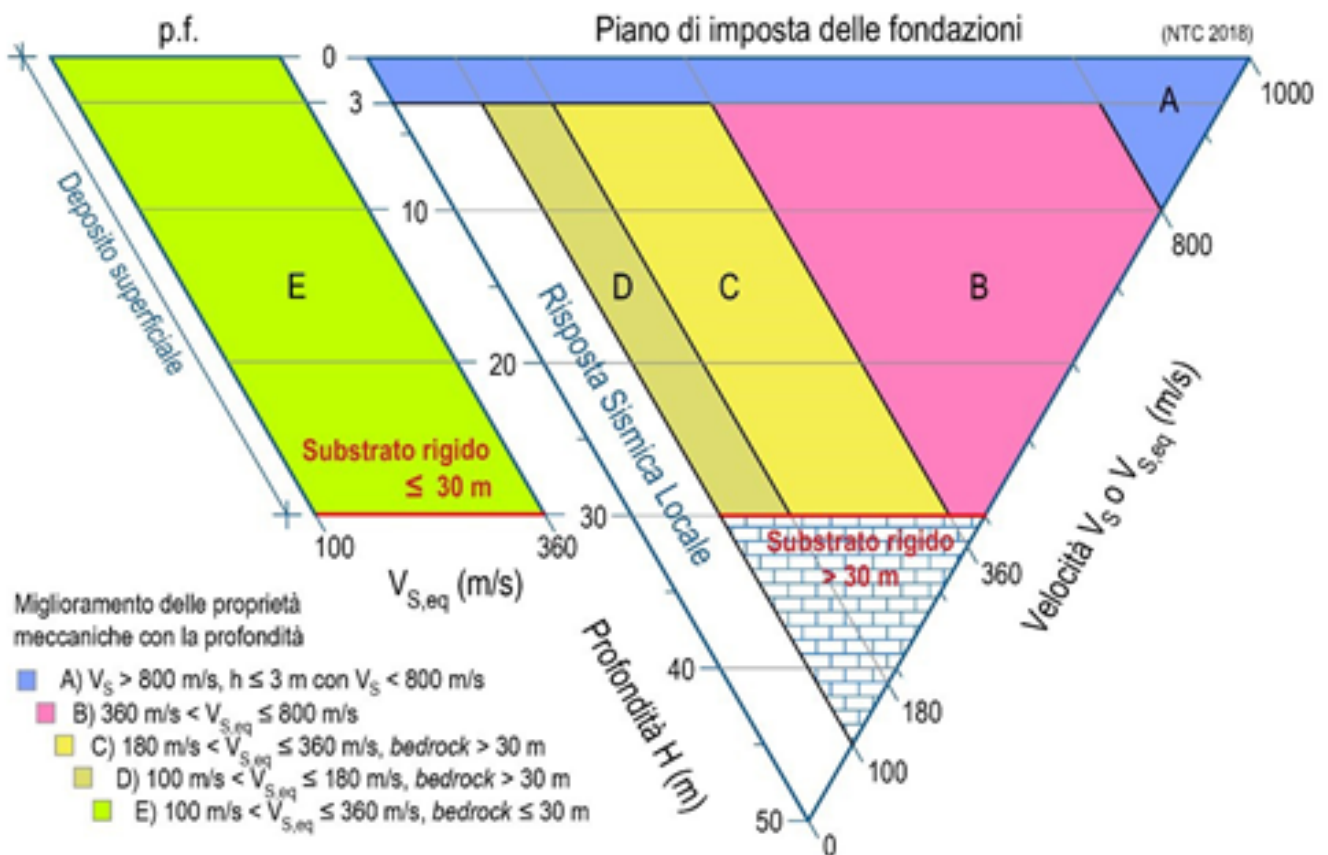


Fig. 45 - Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione (Fig. 46).

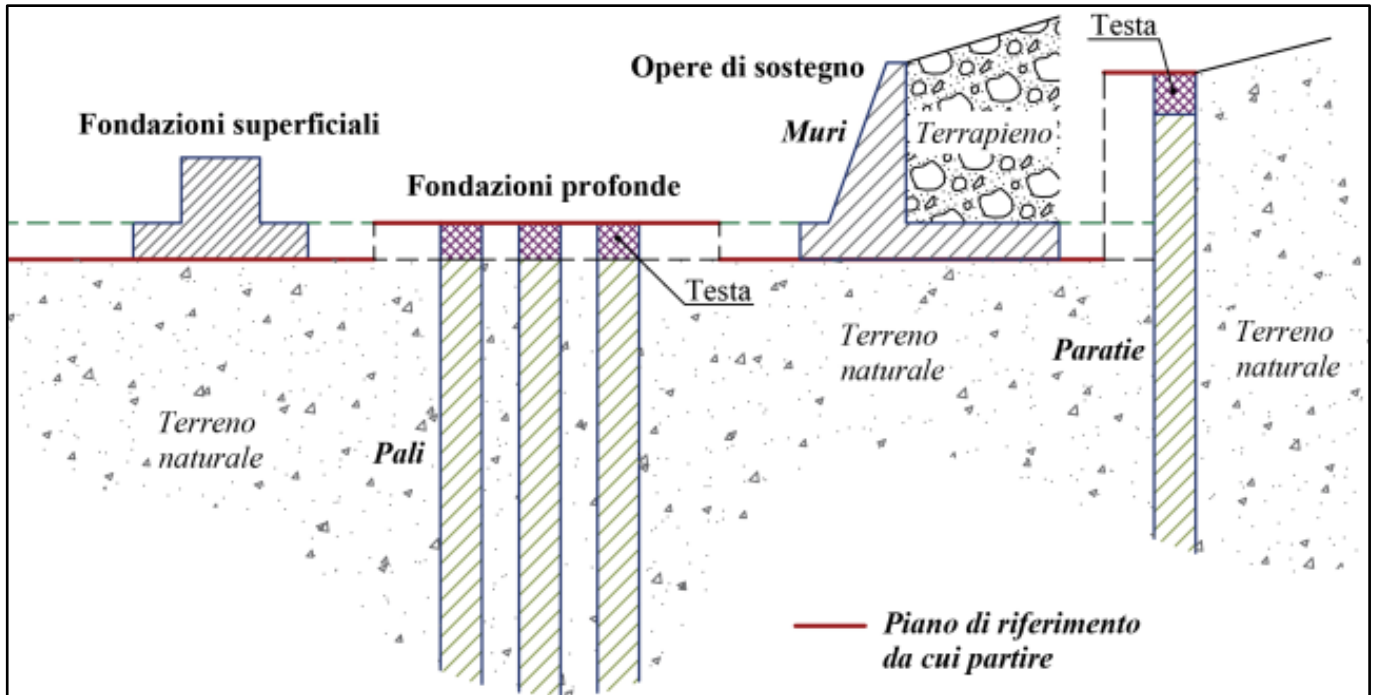


Fig. 46 – Piano di riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo  
Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

Di seguito sono riportate, secondo le indicazioni predisposte dalla normativa vigente, le operazioni di calcolo effettuate sulla base dell'elaborazione delle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite presso il **Campo A** e **Campo B**.

**Risultati di calcolo della categoria di sottosuolo per il Campo A**

*Nr* = numero progressivo per ciascun sismostrato, *H* = profondità, *hi* = spessori, *V<sub>s</sub>* = velocità onde di taglio, *H<sub>calc</sub>* e *hi<sub>calc</sub>* sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.

Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

Nr.	H (m)	hi (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /V <sub>s</sub> (s)
1	3,50	3,50	120,00	3,50	3,50	0,029167
2	8,10	4,60	161,00	8,10	4,60	0,028571
3	14,40	6,30	168,00	14,40	6,30	0,037500
4	21,90	7,50	173,00	21,90	7,50	0,043353
5	30,00	8,10	179,00	30,00	8,10	0,045251

V<sub>s,30</sub> = **163 m/s**

Categoria di sottosuolo: **D**

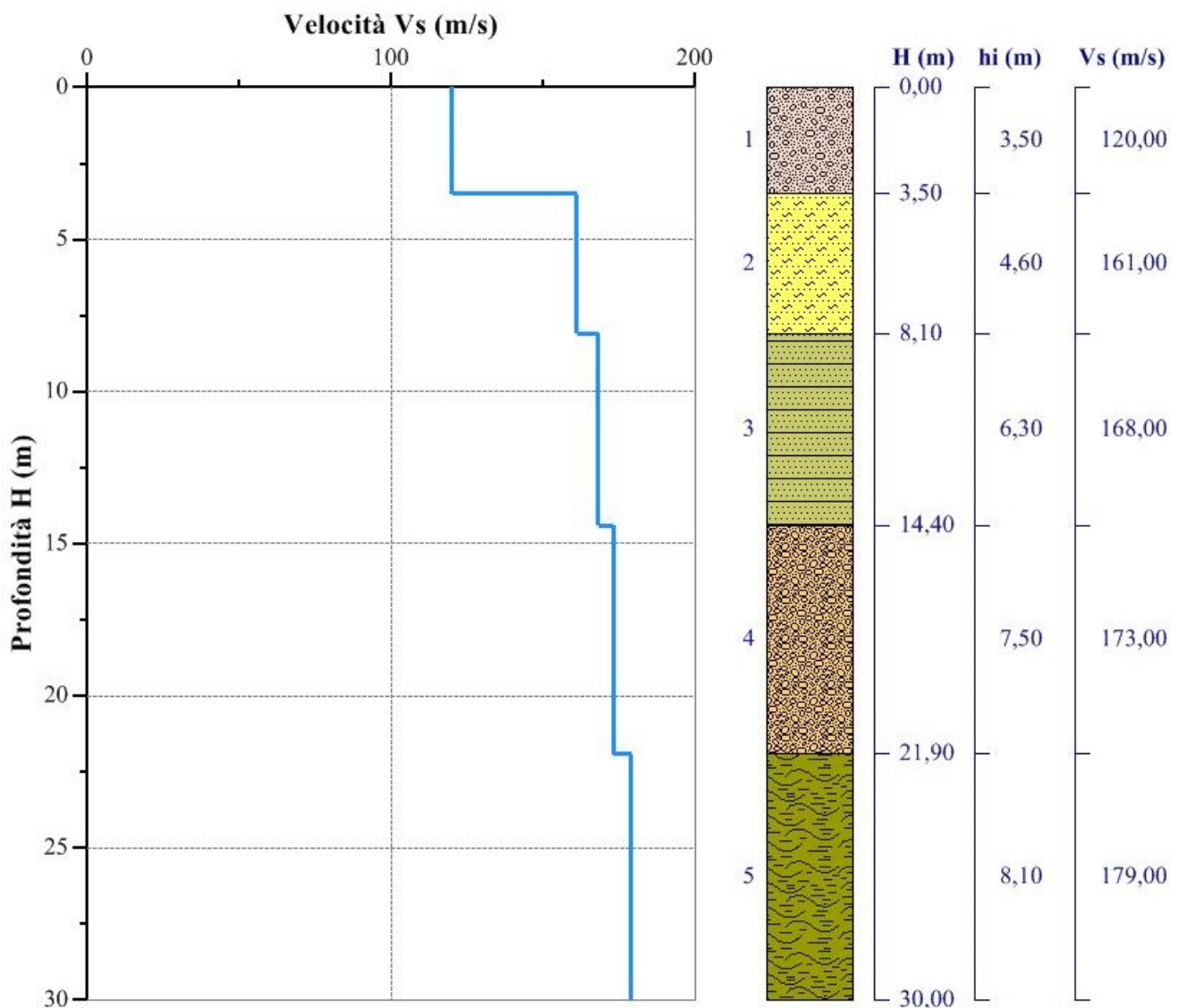


Fig. 47 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw1 eseguita nel Campo A

**Risultati di calcolo della categoria di sottosuolo per il Campo B**

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio, H<sub>calc</sub> e hi<sub>calc</sub> sono rispettivamente la profondità e gli spessori ricalcolati partendo dal piano d'imposta delle fondazioni.*

*Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo (§ 3.2.2 alle NTC 2018).*

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)	H <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> (m)	hi <sub>calc</sub> /Vs (s)
1	1,90	1,90	97,00	1,90	1,90	0,019588
2	4,10	2,20	111,00	4,10	2,20	0,019820
3	7,80	3,70	115,00	7,80	3,70	0,032174
4	12,10	4,30	125,00	12,10	4,30	0,034400
5	20,40	8,30	157,00	20,40	8,30	0,052866
6	30,00	9,60	202,00	30,00	9,60	0,047525

Vs,30 = **145 m/s**

Categoria di sottosuolo: **D**

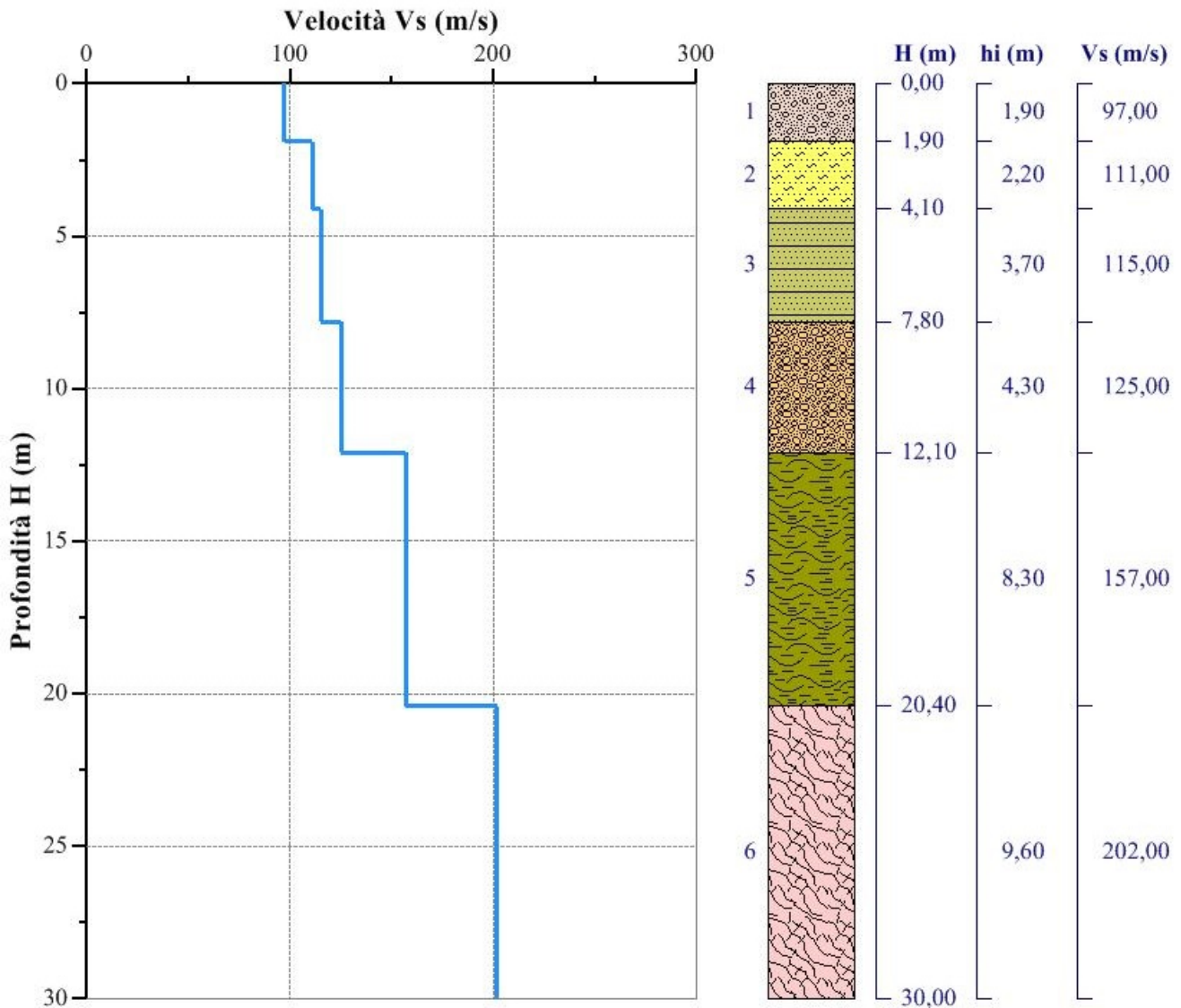


Fig. 48 – Sismostratigrafia dell'area di studio ottenuta dalla prospezione sismica superficiale M.A.S.W. Mw2 eseguita nel Campo B



### Riepilogo della determinazione delle categorie di sottosuolo

Prospezione M.A.S.W	Velocità $V_{30}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo
Mw 1	163	D
Mw 2	145	D

Come si può evincere dalla precedente tabella, i valori delle velocità delle onde di taglio ricavati dalle prospezioni sismiche M.A.S.W. eseguite nell'area di studio hanno evidenziato che entrambi i siti rientrano nella categoria di sottosuolo **D** – *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s, avendo determinato una velocità media delle onde di taglio  $V_s$  entro i 30,0 metri di profondità compresa tra **145 m/s** e **163 m/s**.

## 9.2 Categoria topografica

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Tabella 3.2.IV delle NTC – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Entrambi i siti di specifico interesse si sviluppano su una superficie pianeggiante. Per tale motivo essi rientrano nella categoria topografica **T1**.

## 10. Considerazioni tecniche e compatibilità geologica del progetto proposto

### 10.1 Richiami normativi del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Prima di addentrarsi in considerazioni sulla compatibilità geologica dei lavori di progetto è necessario, a parere di chi scrive, effettuare un sintetico rimando ai requisiti specificati dalle norme di riferimento, sia per quanto riguarda gli aspetti generali, sia per ciò che attiene alle disposizioni specifiche per la compatibilità geologica: ciò per far sì che quanto espresso in questo capitolo sia immediatamente, e più agevolmente, riconducibile ai dettami del disposto normativo.

La *Legge sismica 64/74* prescrive la verifica (art. 13) di compatibilità delle scelte di trasformazione urbanistica territoriale con le condizioni geomorfologiche del territorio. Il *Decreto 11/3/88* è richiamato per quanto riguarda la fattibilità geotecnica di opere su grandi aree, e, in maniera specifica, per i criteri di carattere geotecnico da adottare nell'elaborazioni di piani urbanistici (nuovi insediamenti urbani o civili o industriali, ristrutturazione di insediamenti già esistenti).

In presenza di questi riferimenti normativi, nella nostra regione fu attivata, già dal 1983, una procedura di analisi geologica del territorio ai fini della pianificazione, con la *L.R. 07.01.1983, n. 9 - Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico* - che rappresenta un importante strumento concepito per fornire informazioni sulle limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle sue caratteristiche geologico-tecniche, morfologiche e dalla valutazione degli effetti delle sollecitazioni sismiche.

Gli obiettivi del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico predisposto dall'ex Autorità di Bacino dei fiumi Liri - Garigliano e Volturno sono, tra gli altri:

- a) *prevedere e disciplinare vincoli e limitazioni d'uso del suolo, le attività e gli interventi antropici consentiti, le prescrizioni e le azioni di prevenzione nelle diverse tipologie di aree a rischio e di pericolo, nei casi più delicati subordinatamente ai risultati di appositi studi di compatibilità idraulica o idrogeologica;*
- b) *stabilire norme per il corretto uso del territorio e delle risorse naturali nonché per l'esercizio compatibile delle attività umane a maggior impatto sull'equilibrio idrogeologico del bacino;*
- c) *dettare disposizioni per l'adeguamento della strumentazione urbanistico-territoriale, con la costituzione di vincoli, prescrizioni e destinazioni d'uso del suolo in relazione ai diversi gradi di rischio;*
- d) *conseguire condizioni accettabili di sicurezza idraulica e geologica del territorio mediante la programmazione degli interventi non strutturali ed interventi strutturali e la definizione delle esigenze di manutenzione, completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti;*
- e) *programmare la sistemazione, la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua, anche attraverso la moderazione delle piene e la manutenzione delle opere, adottando modalità di intervento che privilegino la conservazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;*

- f) *programmare altresì la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, adottando modalità d'intervento che privilegino la conservazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;*
- g) *definire le necessità di manutenzione delle opere in funzione del grado di sicurezza compatibile e del rispettivo livello di efficienza ed efficacia;*
- h) *indicare le necessarie attività di prevenzione, di allerta e di monitoraggio dello stato dei dissesti.*

La compatibilità delle nuove attività, opere e sistemazioni con le prescrizioni del citato Piano deve essere verificata alla luce del "rischio atteso" determinato. Tutte le nuove attività, opere e sistemazioni e tutti i nuovi interventi consentiti nelle aree a rischio da frana, rispetto alla pericolosità da frana dell'area, devono essere tali da:

- a) *migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di sicurezza del territorio e di difesa del suolo;*
- b) *non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità da dissesti di versante, attraverso significative e non compatibili trasformazioni del territorio nelle aree interessate;*
- c) *non compromettere la stabilità dei versanti;*
- d) *non costituire elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- e) *non pregiudicare le sistemazioni definitive delle aree a rischio né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- f) *garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;*
- g) *limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*
- h) *rispondere a criteri di basso impatto ambientale; è pertanto necessario, ogni qualvolta possibile, prevedere l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica di cui al D.P.G.R.C. n.574 del 22 luglio.*

Per giungere a dimostrare la compatibilità geologica delle opere di progetto e per meglio inquadrarne gli aspetti d'impatto idrogeologico salienti, in modo da poter esprimere in maniera più compiuta un giudizio sulla sua compatibilità geologica, è necessario è necessario descrivere in maniera sintetica lo stato dei luoghi del territorio in esame ed effettuare alcune considerazioni inerenti sia all'assetto territoriale, già precedentemente descritto, sia alla tipologia degli interventi che si intendono realizzare.

*La caratterizzazione geomorfologica del territorio esaminato è stata effettuata individuando tutte quelle forme che consentono di caratterizzare i vari aspetti geomorfologici di un versante (rotture di pendio, solchi di erosione, terrazzi naturali e antropici, ecc.) che hanno permesso di individuare le forme denudazionali (erosionali e/o gravitative) e deposizionali, inquadrare nell'ambito del sistema crinale-versante-fondovalle, legate all'evoluzione più o meno recente del territorio nonché i processi che ne determinano il modellamento attuale.*

*Tale caratterizzazione ha messo in evidenza che nell'area di studio non sono presenti fenomeni d'instabilità in atto, non ci sono versanti in equilibrio precario (in terre o in roccia) che possano essere interessati da fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi, come pure sono assenti terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua, che possano essere sottoposti a possibili rifluimenti parziali o generalizzati, a causa dei fenomeni di liquefazione. I rilievi effettuati in campagna traggono, quindi, spiegazione dalle considerazioni sopra effettuate, e contemporaneamente le supportano come evidenze tangibili della loro coerenza.*

*I rilevamenti di campagna eseguiti nell'area di studio indicano che le sue condizioni geomorfologiche sono stabili, in quanto non sono emersi fattori predisponenti al dissesto, non sono state riscontrate evidenze di fenomeni franosi pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi.*

***I risultati dello studio geologico eseguito consentono di poter affermare che c'è piena compatibilità tra il progetto proposto e la caratterizzazione geomorfologica del territorio per i seguenti motivi:***

- i rilevamenti di campagna eseguiti presso il sito in esame indicano che le condizioni geomorfologiche del sito sono stabili, in quanto non sono state riscontrate evidenze di fenomeni di dissesto pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi;
- l'area risulta sistemata da attività antropiche ed opere di regimazione delle acque superficiali funzionanti;
- in aggiunta, nella stessa area, i terreni di copertura di natura alluvionale sono disposti su una superficie pianeggiante, hanno un discreto grado di consistenza e non presentano segni di instabilità.

Tanto premesso, e volendo sintetizzare i risultati dell'analisi del progetto presentato e dello studio geologico effettuato, le opere previste per il progetto denominato "Impianto agrofotovoltaico per la produzione di energia elettrica ubicato nel Comune di Castel Volturno (CE) in località Casella di Bortolotto e Volpicelli della potenza nominale di 20.384 kW, per una potenza in immissione di 20.000 kW (due lotti, uno da 12.152 kW e l'altro da 8.232 kW) comprensivo delle opere di rete per la connessione dell'impianto alla rete elettrica nazionale:

- non creano disequilibri di masse lungo il versante e di conseguenza non determinano un aumento della pericolosità da frana;

- non apportano variazioni dell'attuale conformazione del pendio, né creano neosuperfici esposte ad elevata pendenza: ciò si traduce nell'eliminazione di un ben noto fattore d'innescio di eventi franosi;
- non producono condizioni di concentrazione di deflusso superficiale tali da innescare processi di erosione e denudazione che possano evolvere in reali dissesti e, nello stesso tempo, non costituiscono ostacolo ai deflussi attualmente in essere nella zona.
- non sono riscontrabili nella zona di specifico interesse evidenze di fenomeni di dissesto pregressi o in atto, nonché danni ad essi connessi.

*In definitiva, i lavori di progetto non interferiranno sull'assetto idrogeologico attuale del territorio in esame risultando in linea con il dispositivo vincolistico e tecnico del Piano Stralcio dell'ex Autorità di Bacino dei fiumi Liri – Garigliano e Volturno, in quanto non peggiorano le condizioni di sicurezza attuali del territorio e di difesa del suolo, non costituiscono un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante, non costituiscono elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva delle specifiche cause di rischio esistenti ed, infine, non pregiudicano eventuali interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente.*

Il processo di verifica, valutazione e stima della compatibilità geologica dell'intervento, ripercorso in queste pagine, ha portato a stabilire che essa è, appunto verificata, stimata e valutata rispetto allo stato attuale, in quanto non si sono ravvisati condizioni geologiche tali da compromettere la realizzabilità dei lavori di progetto.

*A valle del presente studio, viste le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche delle aree esaminate, e per i motivi fin qui considerati, si può affermare che le opere necessarie per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico previsto in località Casella di Bortolotto e Volpicelli del Comune di Castel Volturno (CE) risultano compatibili con la caratterizzazione geomorfologica del territorio interessato.*

Postiglione, Luglio 2023

Il Geologo  
dott. Antonio Viggiano



**Allegati alla relazione:**

- *Rapporto delle prove penetrometriche dinamiche continue*
- *Indagini disponibili realizzate per il PUC di Castel Volturno*

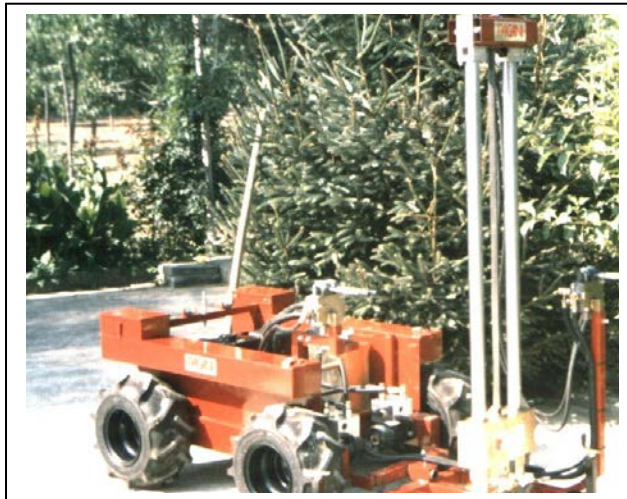
**Allegati alla relazione fuori testo:**

- *Tavola 1: Carta Tecnica Numerica Regionale. Scala 1:5.000*
- *Tavola 2: Carta geolitologica. Scala 1:5.000*
- *Tavola 3: Carta geomorfologica e della stabilità. Scala 1:5.000*
- *Tavola 4: Carta idrogeologica. Scala 1:5.000*
- *Tavola 5: Carta di ubicazione delle indagini in sito. Scala 1:2.000*

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali del Penetrometro TG 20-30 4x4 PAGANI : DPM (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta conica	10 cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	60°
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Energia specifica per colpo	6.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Coeff. Correlazione	0.783
Rivestimento/fanghi	No



### Classificazione ISSMFE (1988) delle Sonde Penetrometriche Dinamiche

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa battente in Kg
Leggero	DPL (Light)	M < 10
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40
Pesante	DPH (Heavy)	40 < M < 60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M > 60

### Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) misurando il numero di colpi N necessari. Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

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.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura a)
- avanzamento (penetrazione) d
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	M ≤ 10	8
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40 ≤ M < 60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M ≥ 60	25

### Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- *DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE):*  
massa battente M= 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento d= 10 cm, punta conica (a=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- *DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)*



massa battente M= 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento d= 10 cm, punta conica (a= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- *DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)*

massa battente M= 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento d=30 cm, punta conica (a= 60°), diametro D= 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm<sup>2</sup>, rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- *DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)*

massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica (a= 60°-90°) diametro D= 50.5 mm, area base cono A= 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

### Correlazione con Nspt

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 Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt.

Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>SPT</sub> 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;

d = passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (d/ N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA Pd 1**

Committente: Soc. MYT Renewables Development 5 s.r.l.

Profondità prova: 13,5 m

Località: CAMPO A

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	2	0,857	6,47	7,56	0,32	0,38
0,20	1	0,855	3,23	3,78	0,16	0,19
0,30	2	0,853	6,44	7,56	0,32	0,38
0,40	1	0,851	3,21	3,78	0,16	0,19
0,50	2	0,849	6,41	7,56	0,32	0,38
0,60	2	0,847	6,40	7,56	0,32	0,38
0,70	2	0,845	6,39	7,56	0,32	0,38
0,80	2	0,843	6,37	7,56	0,32	0,38
0,90	2	0,842	6,05	7,19	0,30	0,36
1,00	3	0,840	9,06	10,79	0,45	0,54
1,10	2	0,838	6,03	7,19	0,30	0,36
1,20	2	0,836	6,02	7,19	0,30	0,36
1,30	2	0,835	6,00	7,19	0,30	0,36
1,40	1	0,833	3,00	3,60	0,15	0,18
1,50	1	0,831	2,99	3,60	0,15	0,18
1,60	1	0,830	2,98	3,60	0,15	0,18
1,70	1	0,828	2,98	3,60	0,15	0,18
1,80	2	0,826	5,94	7,19	0,30	0,36
1,90	2	0,825	5,66	6,86	0,28	0,34
2,00	1	0,823	2,83	3,43	0,14	0,17
2,10	1	0,822	2,82	3,43	0,14	0,17
2,20	1	0,820	2,81	3,43	0,14	0,17
2,30	2	0,819	5,62	6,86	0,28	0,34
2,40	2	0,817	5,61	6,86	0,28	0,34
2,50	2	0,816	5,60	6,86	0,28	0,34
2,60	2	0,814	5,59	6,86	0,28	0,34
2,70	2	0,813	5,58	6,86	0,28	0,34
2,80	2	0,811	5,57	6,86	0,28	0,34
2,90	3	0,810	7,97	9,85	0,40	0,49
3,00	3	0,809	7,96	9,85	0,40	0,49
3,10	3	0,807	7,95	9,85	0,40	0,49
3,20	3	0,806	7,94	9,85	0,40	0,49
3,30	3	0,805	7,92	9,85	0,40	0,49
3,40	4	0,803	10,55	13,13	0,53	0,66
3,50	4	0,802	10,53	13,13	0,53	0,66
3,60	5	0,801	13,14	16,41	0,66	0,82
3,70	6	0,800	15,74	19,69	0,79	0,98
3,80	8	0,798	20,96	26,25	1,05	1,31
3,90	14	0,747	32,89	44,02	1,64	2,20
4,00	16	0,746	37,53	50,31	1,88	2,52
4,10	17	0,745	39,81	53,45	1,99	2,67
4,20	4	0,794	9,98	12,58	0,50	0,63
4,30	3	0,793	7,48	9,43	0,37	0,47
4,40	3	0,791	7,47	9,43	0,37	0,47
4,50	2	0,790	4,97	6,29	0,25	0,31
4,60	3	0,789	7,44	9,43	0,37	0,47
4,70	3	0,788	7,43	9,43	0,37	0,47
4,80	3	0,787	7,42	9,43	0,37	0,47
4,90	4	0,786	9,49	12,07	0,47	0,60
5,00	4	0,785	9,48	12,07	0,47	0,60
5,10	7	0,784	16,56	21,12	0,83	1,06
5,20	5	0,783	11,81	15,09	0,59	0,75
5,30	4	0,782	9,44	12,07	0,47	0,60

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,40	3	0,781	7,07	9,05	0,35	0,45
5,50	3	0,780	7,06	9,05	0,35	0,45
5,60	2	0,779	4,70	6,04	0,24	0,30
5,70	3	0,778	7,04	9,05	0,35	0,45
5,80	3	0,777	7,04	9,05	0,35	0,45
5,90	4	0,776	9,01	11,60	0,45	0,58
6,00	3	0,775	6,75	8,70	0,34	0,44
6,10	4	0,775	8,99	11,60	0,45	0,58
6,20	4	0,774	8,98	11,60	0,45	0,58
6,30	5	0,773	11,21	14,50	0,56	0,73
6,40	5	0,772	11,20	14,50	0,56	0,73
6,50	5	0,771	11,19	14,50	0,56	0,73
6,60	5	0,770	11,17	14,50	0,56	0,73
6,70	5	0,770	11,16	14,50	0,56	0,73
6,80	5	0,769	11,15	14,50	0,56	0,73
6,90	6	0,768	12,87	16,76	0,64	0,84
7,00	6	0,767	12,86	16,76	0,64	0,84
7,10	6	0,766	12,84	16,76	0,64	0,84
7,20	7	0,766	14,97	19,55	0,75	0,98
7,30	7	0,765	14,95	19,55	0,75	0,98
7,40	8	0,764	17,07	22,34	0,85	1,12
7,50	9	0,763	19,19	25,14	0,96	1,26
7,60	9	0,763	19,17	25,14	0,96	1,26
7,70	8	0,762	17,03	22,34	0,85	1,12
7,80	9	0,761	19,14	25,14	0,96	1,26
7,90	9	0,761	18,43	24,23	0,92	1,21
8,00	10	0,760	20,46	26,93	1,02	1,35
8,10	10	0,759	20,44	26,93	1,02	1,35
8,20	9	0,759	18,38	24,23	0,92	1,21
8,30	11	0,758	22,45	29,62	1,12	1,48
8,40	10	0,757	20,39	26,93	1,02	1,35
8,50	12	0,757	24,45	32,31	1,22	1,62
8,60	11	0,756	22,39	29,62	1,12	1,48
8,70	11	0,755	22,37	29,62	1,12	1,48
8,80	13	0,705	24,67	35,00	1,23	1,75
8,90	13	0,704	23,79	33,79	1,19	1,69
9,00	13	0,703	23,77	33,79	1,19	1,69
9,10	14	0,703	25,58	36,39	1,28	1,82
9,20	13	0,702	23,73	33,79	1,19	1,69
9,30	15	0,702	27,36	38,99	1,37	1,95
9,40	15	0,701	27,34	38,99	1,37	1,95
9,50	16	0,701	29,13	41,59	1,46	2,08
9,60	18	0,700	32,75	46,79	1,64	2,34
9,70	16	0,699	29,09	41,59	1,45	2,08
9,80	16	0,699	29,06	41,59	1,45	2,08
9,90	16	0,698	28,07	40,20	1,40	2,01
10,00	16	0,698	28,04	40,20	1,40	2,01
10,10	17	0,697	29,77	42,71	1,49	2,14
10,20	16	0,697	28,00	40,20	1,40	2,01
10,30	16	0,696	27,98	40,20	1,40	2,01
10,40	17	0,696	29,70	42,71	1,49	2,14
10,50	17	0,695	29,68	42,71	1,48	2,14
10,60	17	0,694	29,66	42,71	1,48	2,14
10,70	16	0,694	27,89	40,20	1,39	2,01
10,80	16	0,693	27,87	40,20	1,39	2,01
10,90	17	0,693	28,63	41,32	1,43	2,07
11,00	17	0,692	28,61	41,32	1,43	2,07
11,10	17	0,692	28,59	41,32	1,43	2,07
11,20	17	0,691	28,57	41,32	1,43	2,07

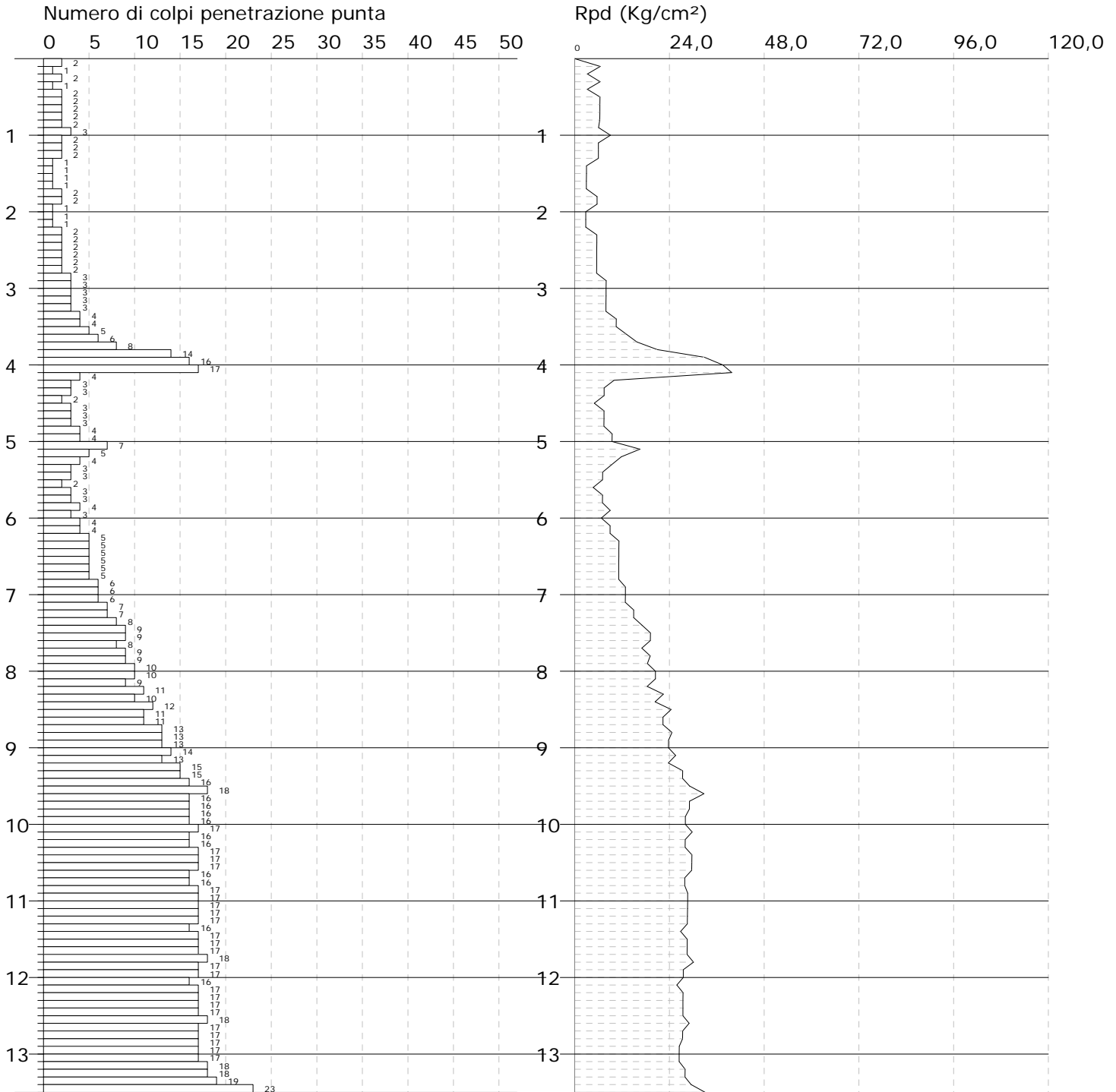
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
11,30	17	0,691	28,55	41,32	1,43	2,07
11,40	16	0,690	26,85	38,89	1,34	1,94
11,50	17	0,690	28,50	41,32	1,43	2,07
11,60	17	0,689	28,48	41,32	1,42	2,07
11,70	17	0,689	28,46	41,32	1,42	2,07
11,80	18	0,688	30,11	43,75	1,51	2,19
11,90	17	0,688	27,53	40,03	1,38	2,00
12,00	17	0,687	27,51	40,03	1,38	2,00
12,10	16	0,687	25,87	37,67	1,29	1,88
12,20	17	0,686	27,47	40,03	1,37	2,00
12,30	17	0,686	27,45	40,03	1,37	2,00
12,40	17	0,685	27,42	40,03	1,37	2,00
12,50	17	0,685	27,40	40,03	1,37	2,00
12,60	18	0,684	28,99	42,38	1,45	2,12
12,70	17	0,684	27,36	40,03	1,37	2,00
12,80	17	0,683	27,34	40,03	1,37	2,00
12,90	17	0,683	26,49	38,81	1,32	1,94
13,00	17	0,682	26,47	38,81	1,32	1,94
13,10	17	0,682	26,45	38,81	1,32	1,94
13,20	18	0,681	27,99	41,09	1,40	2,05
13,30	18	0,681	27,96	41,09	1,40	2,05
13,40	19	0,680	29,49	43,37	1,47	2,17
13,50	23	0,629	33,05	52,50	1,65	2,63

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Pd 1  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:  
Cantiere: Comune di Castel Volturno (CE)  
Località: Campo a e Campo B

Data:

Scala 1:75



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA Pd 2**

Committente: Soc. MYT Renewables Development 5 S.R.L.

Profondità prova: 13,5 m

Località: CAMPO A

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	3,24	3,78	0,16	0,19
0,20	1	0,855	3,23	3,78	0,16	0,19
0,30	2	0,853	6,44	7,56	0,32	0,38
0,40	2	0,851	6,43	7,56	0,32	0,38
0,50	2	0,849	6,41	7,56	0,32	0,38
0,60	1	0,847	3,20	3,78	0,16	0,19
0,70	3	0,845	9,58	11,33	0,48	0,57
0,80	2	0,843	6,37	7,56	0,32	0,38
0,90	3	0,842	9,08	10,79	0,45	0,54
1,00	3	0,840	9,06	10,79	0,45	0,54
1,10	3	0,838	9,04	10,79	0,45	0,54
1,20	3	0,836	9,02	10,79	0,45	0,54
1,30	2	0,835	6,00	7,19	0,30	0,36
1,40	2	0,833	5,99	7,19	0,30	0,36
1,50	2	0,831	5,98	7,19	0,30	0,36
1,60	3	0,830	8,95	10,79	0,45	0,54
1,70	2	0,828	5,96	7,19	0,30	0,36
1,80	1	0,826	2,97	3,60	0,15	0,18
1,90	1	0,825	2,83	3,43	0,14	0,17
2,00	1	0,823	2,83	3,43	0,14	0,17
2,10	1	0,822	2,82	3,43	0,14	0,17
2,20	1	0,820	2,81	3,43	0,14	0,17
2,30	2	0,819	5,62	6,86	0,28	0,34
2,40	2	0,817	5,61	6,86	0,28	0,34
2,50	3	0,816	8,40	10,30	0,42	0,51
2,60	4	0,814	11,18	13,73	0,56	0,69
2,70	4	0,813	11,16	13,73	0,56	0,69
2,80	4	0,811	11,14	13,73	0,56	0,69
2,90	5	0,810	13,29	16,41	0,66	0,82
3,00	7	0,809	18,58	22,97	0,93	1,15
3,10	7	0,807	18,55	22,97	0,93	1,15
3,20	10	0,806	26,45	32,82	1,32	1,64
3,30	11	0,805	29,05	36,10	1,45	1,80
3,40	15	0,753	37,09	49,23	1,85	2,46
3,50	21	0,702	48,39	68,92	2,42	3,45
3,60	23	0,701	52,90	75,48	2,65	3,77
3,70	29	0,700	66,58	95,17	3,33	4,76
3,80	26	0,698	59,59	85,32	2,98	4,27
3,90	21	0,697	46,03	66,03	2,30	3,30
4,00	23	0,696	50,33	72,31	2,52	3,62
4,10	9	0,795	22,49	28,30	1,12	1,41
4,20	7	0,794	17,47	22,01	0,87	1,10
4,30	7	0,793	17,44	22,01	0,87	1,10
4,40	7	0,791	17,42	22,01	0,87	1,10
4,50	6	0,790	14,91	18,86	0,75	0,94
4,60	7	0,789	17,37	22,01	0,87	1,10
4,70	7	0,788	17,35	22,01	0,87	1,10
4,80	6	0,787	14,85	18,86	0,74	0,94
4,90	6	0,786	14,23	18,11	0,71	0,91
5,00	5	0,785	11,84	15,09	0,59	0,75
5,10	5	0,784	11,83	15,09	0,59	0,75
5,20	4	0,783	9,45	12,07	0,47	0,60
5,30	4	0,782	9,44	12,07	0,47	0,60

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,40	4	0,781	9,43	12,07	0,47	0,60
5,50	4	0,780	9,42	12,07	0,47	0,60
5,60	4	0,779	9,40	12,07	0,47	0,60
5,70	5	0,778	11,74	15,09	0,59	0,75
5,80	6	0,777	14,07	18,11	0,70	0,91
5,90	7	0,776	15,77	20,31	0,79	1,02
6,00	8	0,775	18,00	23,21	0,90	1,16
6,10	7	0,775	15,73	20,31	0,79	1,02
6,20	7	0,774	15,71	20,31	0,79	1,02
6,30	7	0,773	15,69	20,31	0,78	1,02
6,40	6	0,772	13,44	17,41	0,67	0,87
6,50	6	0,771	13,42	17,41	0,67	0,87
6,60	7	0,770	15,64	20,31	0,78	1,02
6,70	6	0,770	13,39	17,41	0,67	0,87
6,80	5	0,769	11,15	14,50	0,56	0,73
6,90	5	0,768	10,72	13,96	0,54	0,70
7,00	6	0,767	12,86	16,76	0,64	0,84
7,10	6	0,766	12,84	16,76	0,64	0,84
7,20	6	0,766	12,83	16,76	0,64	0,84
7,30	6	0,765	12,82	16,76	0,64	0,84
7,40	6	0,764	12,81	16,76	0,64	0,84
7,50	6	0,763	12,79	16,76	0,64	0,84
7,60	6	0,763	12,78	16,76	0,64	0,84
7,70	6	0,762	12,77	16,76	0,64	0,84
7,80	6	0,761	12,76	16,76	0,64	0,84
7,90	7	0,761	14,34	18,85	0,72	0,94
8,00	7	0,760	14,32	18,85	0,72	0,94
8,10	7	0,759	14,31	18,85	0,72	0,94
8,20	8	0,759	16,34	21,54	0,82	1,08
8,30	8	0,758	16,33	21,54	0,82	1,08
8,40	8	0,757	16,31	21,54	0,82	1,08
8,50	9	0,757	18,34	24,23	0,92	1,21
8,60	9	0,756	18,32	24,23	0,92	1,21
8,70	9	0,755	18,30	24,23	0,92	1,21
8,80	9	0,755	18,29	24,23	0,91	1,21
8,90	11	0,754	21,56	28,59	1,08	1,43
9,00	12	0,753	23,50	31,19	1,18	1,56
9,10	13	0,703	23,75	33,79	1,19	1,69
9,20	14	0,702	25,56	36,39	1,28	1,82
9,30	14	0,702	25,53	36,39	1,28	1,82
9,40	15	0,701	27,34	38,99	1,37	1,95
9,50	16	0,701	29,13	41,59	1,46	2,08
9,60	15	0,700	27,29	38,99	1,36	1,95
9,70	15	0,699	27,27	38,99	1,36	1,95
9,80	15	0,699	27,25	38,99	1,36	1,95
9,90	15	0,698	26,31	37,68	1,32	1,88
10,00	14	0,698	24,54	35,17	1,23	1,76
10,10	14	0,697	24,52	35,17	1,23	1,76
10,20	15	0,697	26,25	37,68	1,31	1,88
10,30	15	0,696	26,23	37,68	1,31	1,88
10,40	15	0,696	26,21	37,68	1,31	1,88
10,50	15	0,695	26,19	37,68	1,31	1,88
10,60	16	0,694	27,91	40,20	1,40	2,01
10,70	16	0,694	27,89	40,20	1,39	2,01
10,80	15	0,693	26,13	37,68	1,31	1,88
10,90	16	0,693	26,95	38,89	1,35	1,94
11,00	16	0,692	26,93	38,89	1,35	1,94
11,10	16	0,692	26,91	38,89	1,35	1,94
11,20	15	0,691	25,21	36,46	1,26	1,82

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
11,30	16	0,691	26,87	38,89	1,34	1,94
11,40	16	0,690	26,85	38,89	1,34	1,94
11,50	15	0,690	25,15	36,46	1,26	1,82
11,60	16	0,689	26,81	38,89	1,34	1,94
11,70	16	0,689	26,79	38,89	1,34	1,94
11,80	16	0,688	26,77	38,89	1,34	1,94
11,90	16	0,688	25,91	37,67	1,30	1,88
12,00	16	0,687	25,89	37,67	1,29	1,88
12,10	17	0,687	27,49	40,03	1,37	2,00
12,20	16	0,686	25,85	37,67	1,29	1,88
12,30	16	0,686	25,83	37,67	1,29	1,88
12,40	17	0,685	27,42	40,03	1,37	2,00
12,50	17	0,685	27,40	40,03	1,37	2,00
12,60	17	0,684	27,38	40,03	1,37	2,00
12,70	16	0,684	25,75	37,67	1,29	1,88
12,80	17	0,683	27,34	40,03	1,37	2,00
12,90	17	0,683	26,49	38,81	1,32	1,94
13,00	18	0,682	28,03	41,09	1,40	2,05
13,10	19	0,682	29,56	43,37	1,48	2,17
13,20	17	0,681	26,43	38,81	1,32	1,94
13,30	18	0,681	27,96	41,09	1,40	2,05
13,40	20	0,680	31,05	45,66	1,55	2,28
13,50	24	0,629	34,49	54,79	1,72	2,74

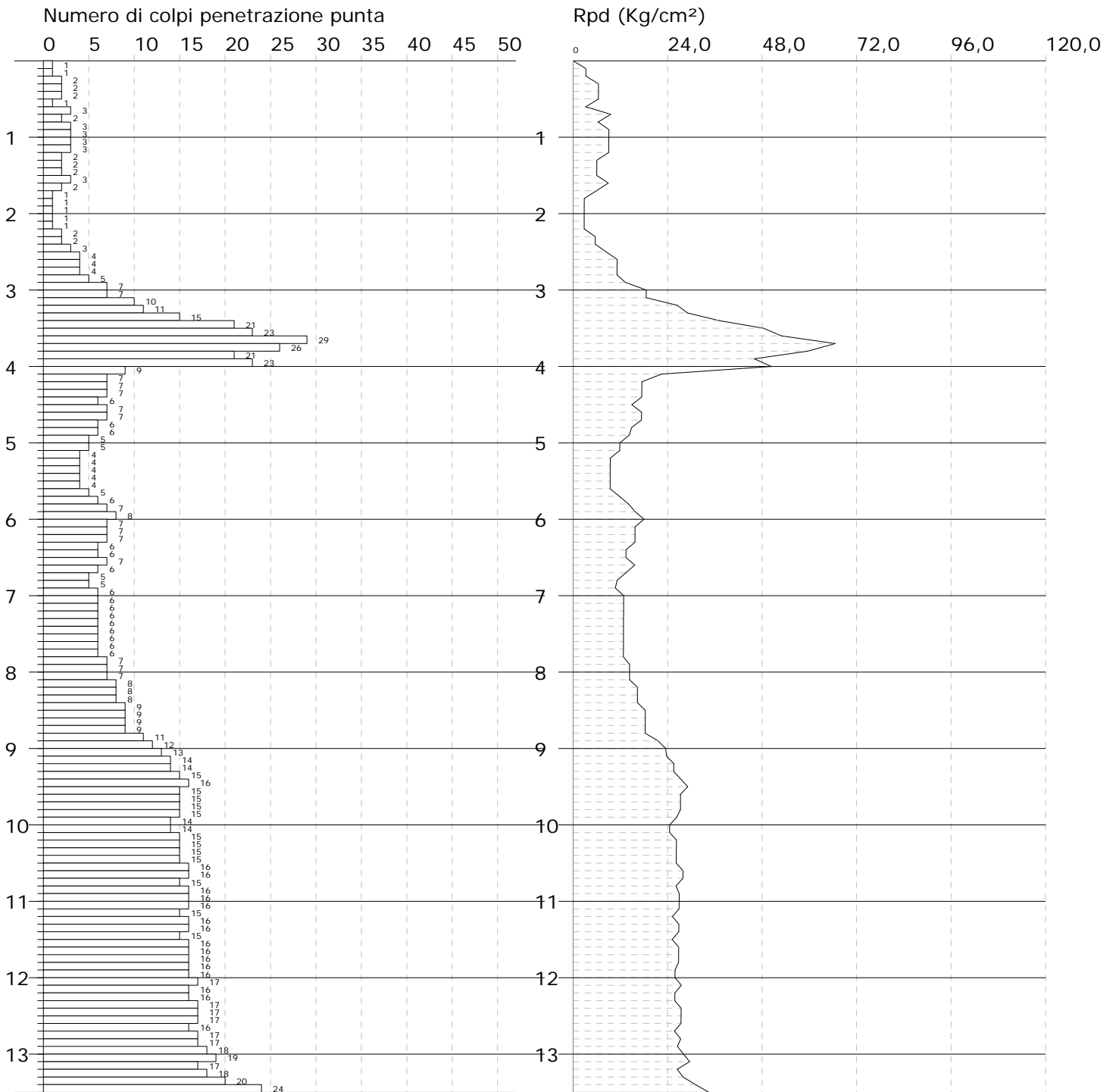


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Pd 2  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:  
Cantiere: Comune di Castel Volturno (CE)  
Località: Campo a e Campo B

Data:

Scala 1:75



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA Pd 3**

Committente: Soc. MYT Renewables Development 5 S.R.L.

Profondità prova: 14,8 m

Località: CAMPO B

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	2	0,857	6,47	7,56	0,32	0,38
0,20	1	0,855	3,23	3,78	0,16	0,19
0,30	1	0,853	3,22	3,78	0,16	0,19
0,40	1	0,851	3,21	3,78	0,16	0,19
0,50	1	0,849	3,21	3,78	0,16	0,19
0,60	1	0,847	3,20	3,78	0,16	0,19
0,70	1	0,845	3,19	3,78	0,16	0,19
0,80	1	0,843	3,19	3,78	0,16	0,19
0,90	1	0,842	3,03	3,60	0,15	0,18
1,00	1	0,840	3,02	3,60	0,15	0,18
1,10	2	0,838	6,03	7,19	0,30	0,36
1,20	2	0,836	6,02	7,19	0,30	0,36
1,30	2	0,835	6,00	7,19	0,30	0,36
1,40	1	0,833	3,00	3,60	0,15	0,18
1,50	2	0,831	5,98	7,19	0,30	0,36
1,60	1	0,830	2,98	3,60	0,15	0,18
1,70	2	0,828	5,96	7,19	0,30	0,36
1,80	1	0,826	2,97	3,60	0,15	0,18
1,90	1	0,825	2,83	3,43	0,14	0,17
2,00	1	0,823	2,83	3,43	0,14	0,17
2,10	1	0,822	2,82	3,43	0,14	0,17
2,20	1	0,820	2,81	3,43	0,14	0,17
2,30	2	0,819	5,62	6,86	0,28	0,34
2,40	2	0,817	5,61	6,86	0,28	0,34
2,50	3	0,816	8,40	10,30	0,42	0,51
2,60	3	0,814	8,38	10,30	0,42	0,51
2,70	3	0,813	8,37	10,30	0,42	0,51
2,80	2	0,811	5,57	6,86	0,28	0,34
2,90	3	0,810	7,97	9,85	0,40	0,49
3,00	2	0,809	5,31	6,56	0,27	0,33
3,10	3	0,807	7,95	9,85	0,40	0,49
3,20	11	0,806	29,10	36,10	1,45	1,80
3,30	9	0,805	23,77	29,54	1,19	1,48
3,40	3	0,803	7,91	9,85	0,40	0,49
3,50	3	0,802	7,90	9,85	0,39	0,49
3,60	2	0,801	5,26	6,56	0,26	0,33
3,70	2	0,800	5,25	6,56	0,26	0,33
3,80	2	0,798	5,24	6,56	0,26	0,33
3,90	2	0,797	5,01	6,29	0,25	0,31
4,00	2	0,796	5,01	6,29	0,25	0,31
4,10	2	0,795	5,00	6,29	0,25	0,31
4,20	2	0,794	4,99	6,29	0,25	0,31
4,30	2	0,793	4,98	6,29	0,25	0,31
4,40	1	0,791	2,49	3,14	0,12	0,16
4,50	2	0,790	4,97	6,29	0,25	0,31
4,60	2	0,789	4,96	6,29	0,25	0,31
4,70	2	0,788	4,96	6,29	0,25	0,31
4,80	2	0,787	4,95	6,29	0,25	0,31
4,90	3	0,786	7,12	9,05	0,36	0,45
5,00	2	0,785	4,74	6,04	0,24	0,30
5,10	2	0,784	4,73	6,04	0,24	0,30
5,20	2	0,783	4,73	6,04	0,24	0,30
5,30	2	0,782	4,72	6,04	0,24	0,30

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,40	2	0,781	4,71	6,04	0,24	0,30
5,50	2	0,780	4,71	6,04	0,24	0,30
5,60	1	0,779	2,35	3,02	0,12	0,15
5,70	1	0,778	2,35	3,02	0,12	0,15
5,80	2	0,777	4,69	6,04	0,23	0,30
5,90	1	0,776	2,25	2,90	0,11	0,15
6,00	2	0,775	4,50	5,80	0,22	0,29
6,10	2	0,775	4,49	5,80	0,22	0,29
6,20	1	0,774	2,24	2,90	0,11	0,15
6,30	2	0,773	4,48	5,80	0,22	0,29
6,40	1	0,772	2,24	2,90	0,11	0,15
6,50	13	0,721	27,20	37,71	1,36	1,89
6,60	17	0,720	35,52	49,32	1,78	2,47
6,70	11	0,770	24,56	31,91	1,23	1,60
6,80	10	0,769	22,30	29,01	1,12	1,45
6,90	9	0,768	19,30	25,14	0,97	1,26
7,00	15	0,717	30,04	41,89	1,50	2,09
7,10	11	0,766	23,55	30,72	1,18	1,54
7,20	8	0,766	17,11	22,34	0,86	1,12
7,30	4	0,765	8,54	11,17	0,43	0,56
7,40	3	0,764	6,40	8,38	0,32	0,42
7,50	2	0,763	4,26	5,59	0,21	0,28
7,60	2	0,763	4,26	5,59	0,21	0,28
7,70	2	0,762	4,26	5,59	0,21	0,28
7,80	2	0,761	4,25	5,59	0,21	0,28
7,90	3	0,761	6,14	8,08	0,31	0,40
8,00	3	0,760	6,14	8,08	0,31	0,40
8,10	3	0,759	6,13	8,08	0,31	0,40
8,20	5	0,759	10,21	13,46	0,51	0,67
8,30	4	0,758	8,16	10,77	0,41	0,54
8,40	7	0,757	14,27	18,85	0,71	0,94
8,50	6	0,757	12,22	16,16	0,61	0,81
8,60	8	0,756	16,28	21,54	0,81	1,08
8,70	6	0,755	12,20	16,16	0,61	0,81
8,80	3	0,755	6,10	8,08	0,30	0,40
8,90	3	0,754	5,88	7,80	0,29	0,39
9,00	4	0,753	7,83	10,40	0,39	0,52
9,10	3	0,753	5,87	7,80	0,29	0,39
9,20	4	0,752	7,82	10,40	0,39	0,52
9,30	3	0,752	5,86	7,80	0,29	0,39
9,40	4	0,751	7,81	10,40	0,39	0,52
9,50	3	0,751	5,85	7,80	0,29	0,39
9,60	3	0,750	5,85	7,80	0,29	0,39
9,70	3	0,749	5,84	7,80	0,29	0,39
9,80	2	0,749	3,89	5,20	0,19	0,26
9,90	4	0,748	7,52	10,05	0,38	0,50
10,00	3	0,748	5,64	7,54	0,28	0,38
10,10	4	0,747	7,51	10,05	0,38	0,50
10,20	3	0,747	5,63	7,54	0,28	0,38
10,30	3	0,746	5,62	7,54	0,28	0,38
10,40	3	0,746	5,62	7,54	0,28	0,38
10,50	4	0,745	7,49	10,05	0,37	0,50
10,60	3	0,744	5,61	7,54	0,28	0,38
10,70	3	0,744	5,61	7,54	0,28	0,38
10,80	3	0,743	5,60	7,54	0,28	0,38
10,90	4	0,743	7,22	9,72	0,36	0,49
11,00	4	0,742	7,22	9,72	0,36	0,49
11,10	4	0,742	7,21	9,72	0,36	0,49
11,20	3	0,741	5,41	7,29	0,27	0,36

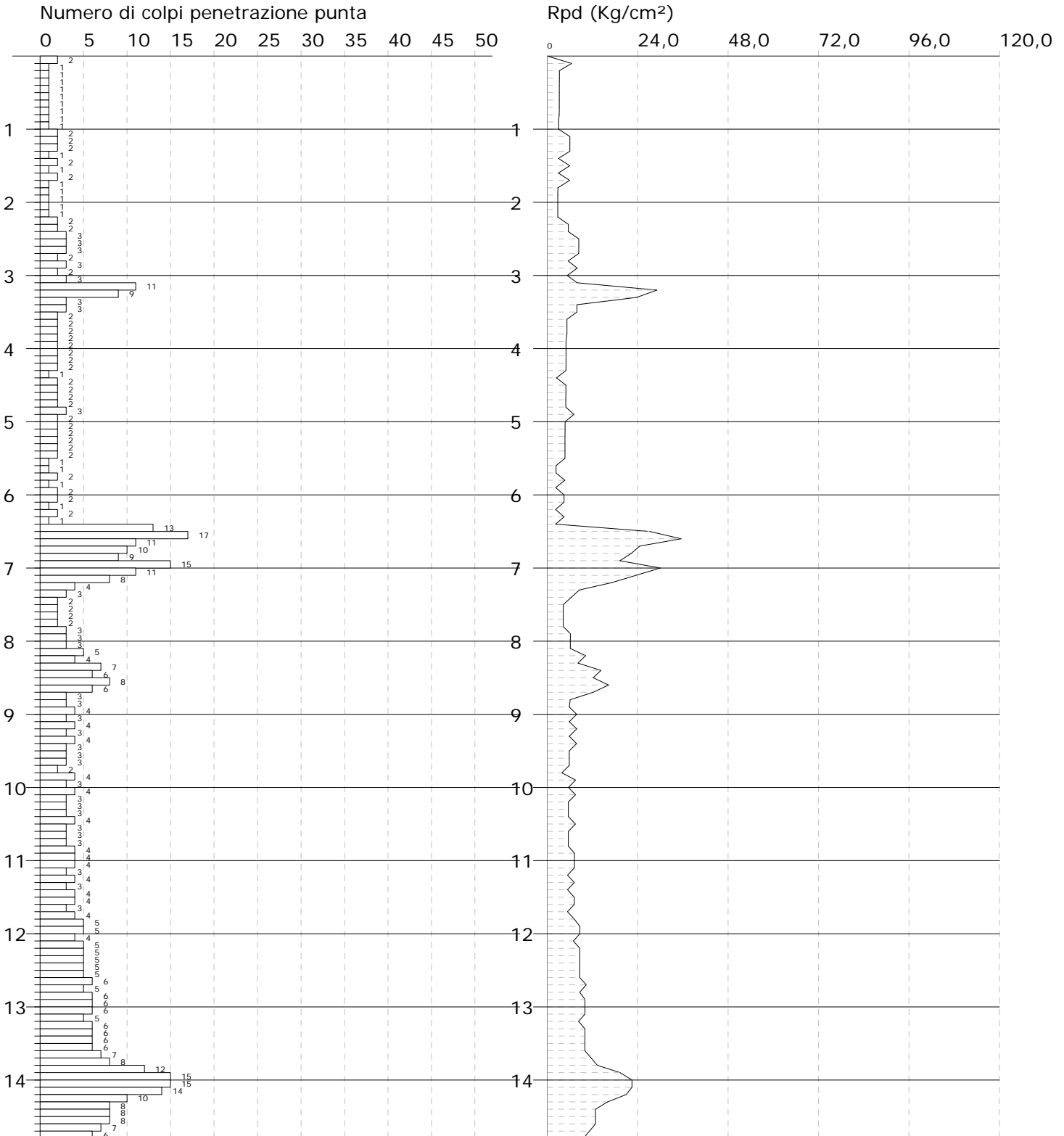
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
11,30	4	0,741	7,20	9,72	0,36	0,49
11,40	3	0,740	5,40	7,29	0,27	0,36
11,50	4	0,740	7,19	9,72	0,36	0,49
11,60	4	0,739	7,19	9,72	0,36	0,49
11,70	3	0,739	5,39	7,29	0,27	0,36
11,80	4	0,738	7,18	9,72	0,36	0,49
11,90	5	0,738	8,68	11,77	0,43	0,59
12,00	5	0,737	8,68	11,77	0,43	0,59
12,10	4	0,737	6,94	9,42	0,35	0,47
12,20	5	0,736	8,67	11,77	0,43	0,59
12,30	5	0,736	8,66	11,77	0,43	0,59
12,40	5	0,735	8,65	11,77	0,43	0,59
12,50	5	0,735	8,65	11,77	0,43	0,59
12,60	5	0,734	8,64	11,77	0,43	0,59
12,70	6	0,734	10,36	14,13	0,52	0,71
12,80	5	0,733	8,63	11,77	0,43	0,59
12,90	6	0,733	10,03	13,70	0,50	0,68
13,00	6	0,732	10,03	13,70	0,50	0,68
13,10	6	0,732	10,02	13,70	0,50	0,68
13,20	5	0,731	8,34	11,41	0,42	0,57
13,30	6	0,731	10,01	13,70	0,50	0,68
13,40	6	0,730	10,00	13,70	0,50	0,68
13,50	6	0,729	9,99	13,70	0,50	0,68
13,60	6	0,729	9,98	13,70	0,50	0,68
13,70	7	0,728	11,64	15,98	0,58	0,80
13,80	8	0,728	13,29	18,26	0,66	0,91
13,90	12	0,727	19,34	26,58	0,97	1,33
14,00	15	0,677	22,49	33,23	1,12	1,66
14,10	15	0,676	22,47	33,23	1,12	1,66
14,20	14	0,676	20,96	31,02	1,05	1,55
14,30	10	0,725	16,07	22,15	0,80	1,11
14,40	8	0,725	12,84	17,72	0,64	0,89
14,50	8	0,724	12,83	17,72	0,64	0,89
14,60	8	0,723	12,82	17,72	0,64	0,89
14,70	7	0,723	11,21	15,51	0,56	0,78
14,80	6	0,722	9,60	13,29	0,48	0,66

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Pd3  
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:  
Cantiere: Comune di Castel Volturno (CE)  
Località: Campo a e Campo B

Data:

Scala 1:75



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA Pd 4**

Committente: Soc. MYT Renewables Development 5 S.R.L.

Profondità prova: 13,8 m

Località: CAMPO B

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	3,24	3,78	0,16	0,19
0,20	1	0,855	3,23	3,78	0,16	0,19
0,30	1	0,853	3,22	3,78	0,16	0,19
0,40	1	0,851	3,21	3,78	0,16	0,19
0,50	1	0,849	3,21	3,78	0,16	0,19
0,60	3	0,847	9,60	11,33	0,48	0,57
0,70	4	0,845	12,77	15,11	0,64	0,76
0,80	2	0,843	6,37	7,56	0,32	0,38
0,90	2	0,842	6,05	7,19	0,30	0,36
1,00	2	0,840	6,04	7,19	0,30	0,36
1,10	2	0,838	6,03	7,19	0,30	0,36
1,20	2	0,836	6,02	7,19	0,30	0,36
1,30	2	0,835	6,00	7,19	0,30	0,36
1,40	1	0,833	3,00	3,60	0,15	0,18
1,50	2	0,831	5,98	7,19	0,30	0,36
1,60	1	0,830	2,98	3,60	0,15	0,18
1,70	1	0,828	2,98	3,60	0,15	0,18
1,80	1	0,826	2,97	3,60	0,15	0,18
1,90	2	0,825	5,66	6,86	0,28	0,34
2,00	1	0,823	2,83	3,43	0,14	0,17
2,10	1	0,822	2,82	3,43	0,14	0,17
2,20	1	0,820	2,81	3,43	0,14	0,17
2,30	2	0,819	5,62	6,86	0,28	0,34
2,40	1	0,817	2,80	3,43	0,14	0,17
2,50	2	0,816	5,60	6,86	0,28	0,34
2,60	1	0,814	2,79	3,43	0,14	0,17
2,70	2	0,813	5,58	6,86	0,28	0,34
2,80	1	0,811	2,78	3,43	0,14	0,17
2,90	2	0,810	5,32	6,56	0,27	0,33
3,00	2	0,809	5,31	6,56	0,27	0,33
3,10	2	0,807	5,30	6,56	0,26	0,33
3,20	2	0,806	5,29	6,56	0,26	0,33
3,30	2	0,805	5,28	6,56	0,26	0,33
3,40	2	0,803	5,27	6,56	0,26	0,33
3,50	8	0,802	21,06	26,25	1,05	1,31
3,60	11	0,801	28,91	36,10	1,45	1,80
3,70	15	0,750	36,90	49,23	1,85	2,46
3,80	11	0,798	28,82	36,10	1,44	1,80
3,90	2	0,797	5,01	6,29	0,25	0,31
4,00	2	0,796	5,01	6,29	0,25	0,31
4,10	2	0,795	5,00	6,29	0,25	0,31
4,20	2	0,794	4,99	6,29	0,25	0,31
4,30	2	0,793	4,98	6,29	0,25	0,31
4,40	1	0,791	2,49	3,14	0,12	0,16
4,50	1	0,790	2,48	3,14	0,12	0,16
4,60	2	0,789	4,96	6,29	0,25	0,31
4,70	1	0,788	2,48	3,14	0,12	0,16
4,80	2	0,787	4,95	6,29	0,25	0,31
4,90	2	0,786	4,74	6,04	0,24	0,30
5,00	2	0,785	4,74	6,04	0,24	0,30
5,10	2	0,784	4,73	6,04	0,24	0,30
5,20	2	0,783	4,73	6,04	0,24	0,30
5,30	3	0,782	7,08	9,05	0,35	0,45

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
5,40	2	0,781	4,71	6,04	0,24	0,30
5,50	2	0,780	4,71	6,04	0,24	0,30
5,60	2	0,779	4,70	6,04	0,24	0,30
5,70	2	0,778	4,70	6,04	0,23	0,30
5,80	2	0,777	4,69	6,04	0,23	0,30
5,90	3	0,776	6,76	8,70	0,34	0,44
6,00	2	0,775	4,50	5,80	0,22	0,29
6,10	2	0,775	4,49	5,80	0,22	0,29
6,20	2	0,774	4,49	5,80	0,22	0,29
6,30	2	0,773	4,48	5,80	0,22	0,29
6,40	3	0,772	6,72	8,70	0,34	0,44
6,50	3	0,771	6,71	8,70	0,34	0,44
6,60	2	0,770	4,47	5,80	0,22	0,29
6,70	4	0,770	8,93	11,60	0,45	0,58
6,80	14	0,719	29,19	40,61	1,46	2,03
6,90	15	0,718	30,08	41,89	1,50	2,09
7,00	18	0,717	36,05	50,27	1,80	2,51
7,10	16	0,716	32,01	44,69	1,60	2,23
7,20	8	0,766	17,11	22,34	0,86	1,12
7,30	4	0,765	8,54	11,17	0,43	0,56
7,40	3	0,764	6,40	8,38	0,32	0,42
7,50	2	0,763	4,26	5,59	0,21	0,28
7,60	3	0,763	6,39	8,38	0,32	0,42
7,70	3	0,762	6,38	8,38	0,32	0,42
7,80	3	0,761	6,38	8,38	0,32	0,42
7,90	4	0,761	8,19	10,77	0,41	0,54
8,00	3	0,760	6,14	8,08	0,31	0,40
8,10	3	0,759	6,13	8,08	0,31	0,40
8,20	5	0,759	10,21	13,46	0,51	0,67
8,30	6	0,758	12,24	16,16	0,61	0,81
8,40	6	0,757	12,23	16,16	0,61	0,81
8,50	6	0,757	12,22	16,16	0,61	0,81
8,60	5	0,756	10,18	13,46	0,51	0,67
8,70	3	0,755	6,10	8,08	0,31	0,40
8,80	4	0,755	8,13	10,77	0,41	0,54
8,90	3	0,754	5,88	7,80	0,29	0,39
9,00	3	0,753	5,88	7,80	0,29	0,39
9,10	3	0,753	5,87	7,80	0,29	0,39
9,20	3	0,752	5,87	7,80	0,29	0,39
9,30	3	0,752	5,86	7,80	0,29	0,39
9,40	3	0,751	5,86	7,80	0,29	0,39
9,50	3	0,751	5,85	7,80	0,29	0,39
9,60	4	0,750	7,80	10,40	0,39	0,52
9,70	3	0,749	5,84	7,80	0,29	0,39
9,80	4	0,749	7,79	10,40	0,39	0,52
9,90	4	0,748	7,52	10,05	0,38	0,50
10,00	4	0,748	7,51	10,05	0,38	0,50
10,10	4	0,747	7,51	10,05	0,38	0,50
10,20	3	0,747	5,63	7,54	0,28	0,38
10,30	4	0,746	7,50	10,05	0,37	0,50
10,40	3	0,746	5,62	7,54	0,28	0,38
10,50	4	0,745	7,49	10,05	0,37	0,50
10,60	3	0,744	5,61	7,54	0,28	0,38
10,70	3	0,744	5,61	7,54	0,28	0,38
10,80	4	0,743	7,47	10,05	0,37	0,50
10,90	4	0,743	7,22	9,72	0,36	0,49
11,00	4	0,742	7,22	9,72	0,36	0,49
11,10	4	0,742	7,21	9,72	0,36	0,49
11,20	4	0,741	7,21	9,72	0,36	0,49

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
11,30	4	0,741	7,20	9,72	0,36	0,49
11,40	4	0,740	7,20	9,72	0,36	0,49
11,50	4	0,740	7,19	9,72	0,36	0,49
11,60	4	0,739	7,19	9,72	0,36	0,49
11,70	4	0,739	7,18	9,72	0,36	0,49
11,80	4	0,738	7,18	9,72	0,36	0,49
11,90	5	0,738	8,68	11,77	0,43	0,59
12,00	5	0,737	8,68	11,77	0,43	0,59
12,10	5	0,737	8,67	11,77	0,43	0,59
12,20	5	0,736	8,67	11,77	0,43	0,59
12,30	5	0,736	8,66	11,77	0,43	0,59
12,40	5	0,735	8,65	11,77	0,43	0,59
12,50	5	0,735	8,65	11,77	0,43	0,59
12,60	5	0,734	8,64	11,77	0,43	0,59
12,70	6	0,734	10,36	14,13	0,52	0,71
12,80	5	0,733	8,63	11,77	0,43	0,59
12,90	7	0,733	11,71	15,98	0,59	0,80
13,00	6	0,732	10,03	13,70	0,50	0,68
13,10	6	0,732	10,02	13,70	0,50	0,68
13,20	6	0,731	10,01	13,70	0,50	0,68
13,30	6	0,731	10,01	13,70	0,50	0,68
13,40	6	0,730	10,00	13,70	0,50	0,68
13,50	7	0,729	11,66	15,98	0,58	0,80
13,60	6	0,729	9,98	13,70	0,50	0,68
13,70	7	0,728	11,64	15,98	0,58	0,80
13,80	6	0,728	9,97	13,70	0,50	0,68



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Pd4  
 Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:  
 Cantiere: Comune di Castel Volturno (CE)  
 Località: Campo a e Campo B

Data:

Scala 1:75

