

# COMUNE DI ACQUASPARTA

## Provincia di Terni

### PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER COMUNICAZIONI ELETTRONICHE

Titolo documento:

### RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Cliente:

COMMITTENTE: **IBS PROGETTI**  
RICHIEDENTE:

Inoltro al cliente:

CHIUSURA COMMESSA [ ]  
PER INFORMAZIONE [ ]  
NON RICHiesto [ ]

Località:

VIA DELLA RIMEMBRANZA SNC

Comune:

ACQUASPARTA

Provincia:

TERNI



STUDIO DI GEOLOGIA  
GEOL. ALESSANDRO LORENZINI  
Via dell'Orlo n° 7 - 53040 SERRE DI RAPOLANO (SI)  
tel.: 0577.704786 - e-mail: alessandrolorenzini@icloud.com

Il richiedente

Il tecnico

Geol. Alessandro Lorenzini

Prima emissione

00

AGOSTO 2023

Pagine:

16

Denominazione file:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA  
SRB QUADRELLI.docx

Elaborato:

Revisione

01

## 1. PREMESSA

### 1.1. Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento

Su incarico e per conto dello studio IBS Progetti viene redatta la presente relazione a carattere geologico e sismico relativa al progetto di installazione di una stazione radio in corrispondenza di un terreno agricolo situato circa 1.5 km a NE di Casteltodino..

L'intervento è così descritto nella Relazione Tecnica di progetto:

*L'area in oggetto si trova in un'area agricola già antropizzata, limitrofa al centro abitato.*

*Il sito di nuova installazione verrà posizionato in modo da gravare il meno possibile sul territorio, il terreno dove sarà posizionato il sito e quello intorno, verrà rimodellato in modo da eseguire un ripristino armonioso con i luoghi.*

*La nuova infrastruttura sarà costituita da un'area quadrata di dimensioni 6.50x6.50m recintata con recinzione in rete a maglie sciolte su cordolo in c.a. con accesso pedonale mediante cancello metallico posto sul lato N.E. del sito.*

*All'interno dell'area troveranno spazio un palo metallico porta-antenne, gli apparati di tipo outdoor e quadri elettrici di comando su telaio, un armadio per il ricevimento dell'energia e un sistema di illuminazione con faretti su piantane metalliche.*

*La struttura porta-antenne sarà costituita da un palo metallico di tipo poligonale di altezza pari a 30.00m con pennone sommitale di altezza 4.00m con round-about.*

*Tale struttura poggerà su di una fondazione a plinto interrato di dimensioni approssimative 5.00x5.00x2.00m. Le dimensioni precise del plinto saranno definite in fase esecutiva.*

*Esternamente all'area fronte ingresso saranno predisposti n.2 pozzetti per gli allacci di Enel e fibra.*

*L'accesso al sito avverrà tramite uno percorso appositamente realizzato in stabilizzato, per permettere il passaggio ai mezzi di cantiere sarà necessario rimuovere n°2 alberi.*

*Il volume di scavo totale ipotizzabile in fase preliminare È di 60mc.*

*Il terreno/rocce da scavo verrà riutilizzato totalmente nel sito, a condizione che:*

- il materiale analizzato, non risulti come rifiuto;*
- il luogo in cui si trova o verrà costruita la SRB lo permetta;*

5

- venga distribuito in modo uniforme seguendo le pendenze naturali del terreno evitando pertanto cumuli;*

- la proprietà del terreno in cui verranno riutilizzate le terre dello scavo sia la stessa proprietà di quella in cui si trova la SRB e vi siano accordi chiari e scritti con la proprietà in merito.*

*Qualora il terreno/rocce da scavo non possa essere riutilizzato in loco, verrà smaltito presso discariche autorizzate.*

*La nuova stazione radio base sarà composta da:*

*> Un nuovo palo poligonale metallico alto 30.00m con pennone sommitale di altezza 4.00m + round about. > Un plinto di fondazione in c.a. con superficie dado superiore di dim. 5.00x5.00x2.00m da definire in fase di progettazione esecutiva.*

*> Cavi per il collegamento e alimentazione dell'antenna.*

*> N°1 armadio in VTR per alloggiamento quadro elettrico.*

*> Impianti elettrici ed impianto di messa a terra delle strutture metalliche ed elettriche componenti l'impianto in progetto.*

*> Nella zona esterna del sito saranno posti n.2 pozzetti per gli allacci di Enel e fibra*

*> Realizzazione di un cavidotto opportunamente dimensionato per il passaggio dei cavi Enel per la fornitura di energia elettrica dal punto di allaccio fino al sito, il percorso sarà precisato in fase di progettazione esecutiva previa sopralluogo con tecnico Enel*

*> L'area della stazione radio base verrà recintata con recinzione in rete a maglie sciolte su cordolo in c.a. con accesso pedonale mediante cancello metallico.*

*> N°1 contatore Enel dotato di quadro di protezione linea montante, posato all'interno di conchiglia in VTR, per allaccio alla linea BT.*

Di seguito i riferimenti cartografici e geografici della zona di ubicazione della stazione radio:

	<b>BASI CARTOGRAFICHE</b>
<b>IGMI SERIE 25V</b>	Foglio 131 III SO (ACQUASPARTA)
<b>CTR 1 :10.000</b>	Sezione 335110
	<b>COORDINATE GEOGRAFICHE</b>
<b>COORDINATE EPSG3004</b>	X= 2317334.143 m – Y=4727130.909 m

La presente relazione prende in esame le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito di prevista fabbricazione desunte da un rilevamento di campagna esteso a parte dell'area circostante la zona di progetto.

Per la ricostruzione dell'assetto stratigrafico, geotecnico e sismostratigrafico del terreno di appoggio della nuova struttura si fa riferimento ad una prova penetrometrica dinamica superpesante e una MASW eseguite nel dicembre 2022 a corredo della relazione geologica redatta dallo scrivente, sempre per l'installazione di una stazione radio, a breve distanza dalla zona di attuale progetto, nello stesso contesto geologico (vedi fig. 7).

Sulla base dei dati acquisiti è stato ricostruito il modello geologico e geotecnico del sottosuolo in corrispondenza dell'area di intervento in modo da fornire i parametri necessari per la corretta scelta e dimensionamento delle strutture di fondazione relative alla stazione radio in progetto.



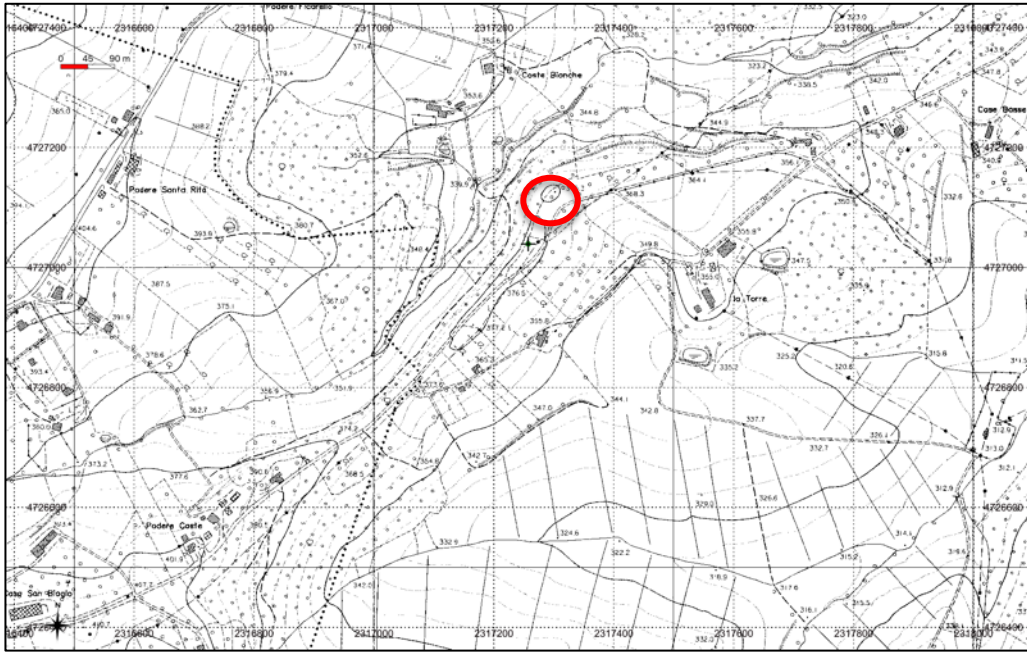


Figura 1 - UBICAZIONE AREA INTERVENTO SU CTR 5K E ORTOFOTO

## 1.2. Quadro normativo di riferimento

Le norme di riferimento per l'elaborazione della documentazione richiesta sono:

- Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al DM 17 gennaio 2018
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7
- P.A.I. A.d.B. Tevere.
- Piano Regolatore Generale Comunale.
- VARIANTE parziale P.R.G. PS e PO

## 2. SINTESI DELLE CONOSCENZE

Di seguito gli estratti cartografici del PAI Tevere, del Piano Regolatore Comunale e dell'ISPRA che riguardano la zona di intervento

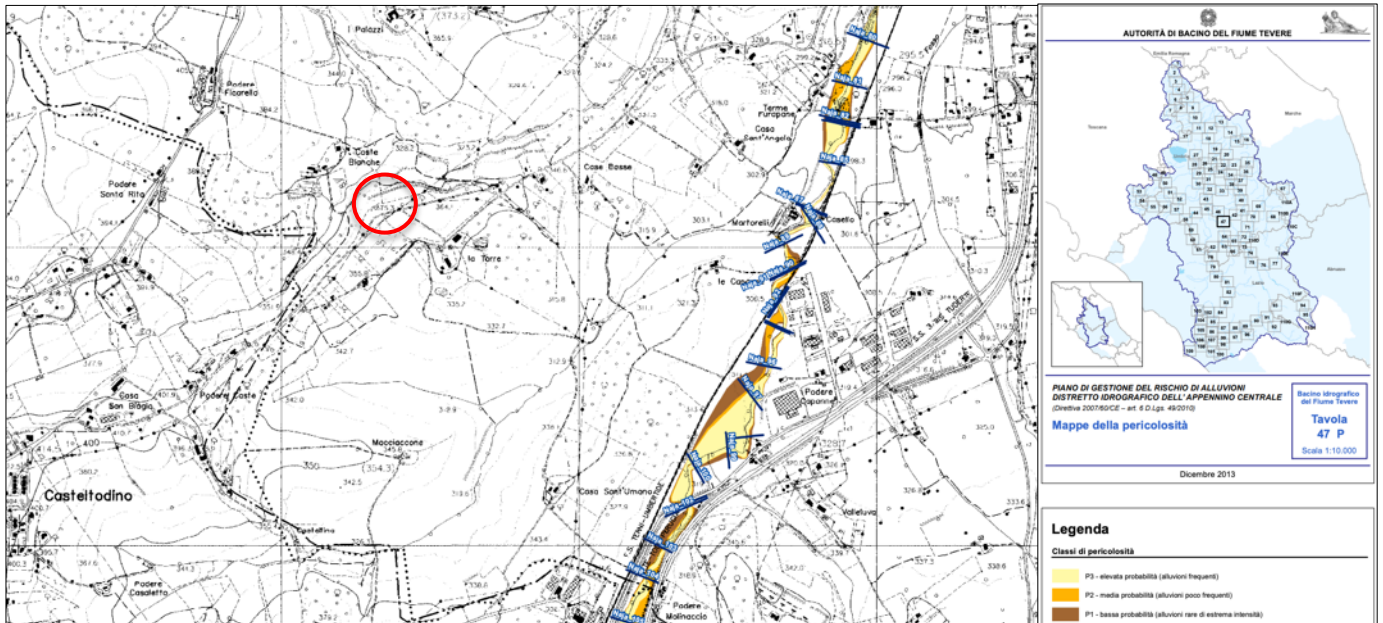


Figura 2 - Estratto PAI Tevere. Mappa pericolosità alluvioni

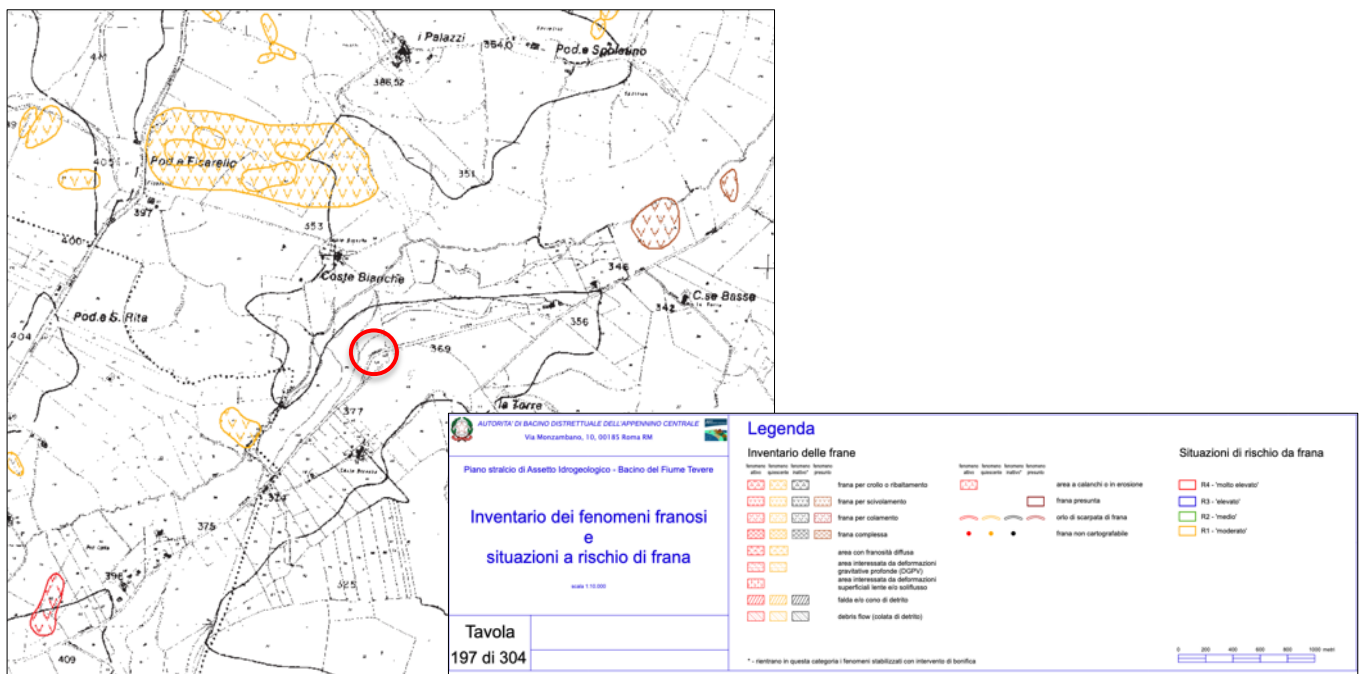


Figura 3 - Estratto PAI Tevere. Inventario dei fenomeni franosi e situazioni rischio di frana



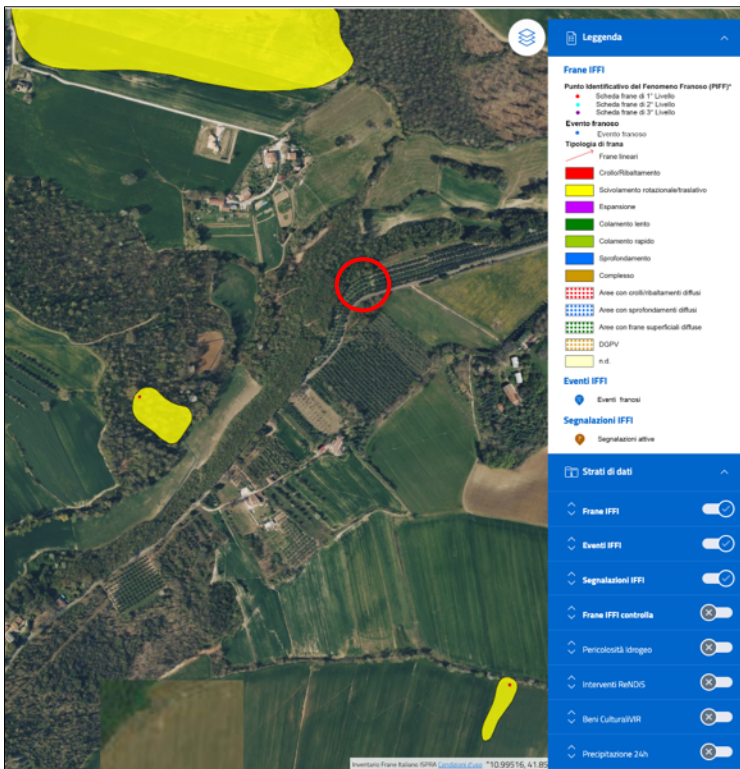


Figura 4 - Estratto IFFI. Inventario dei fenomeni franos

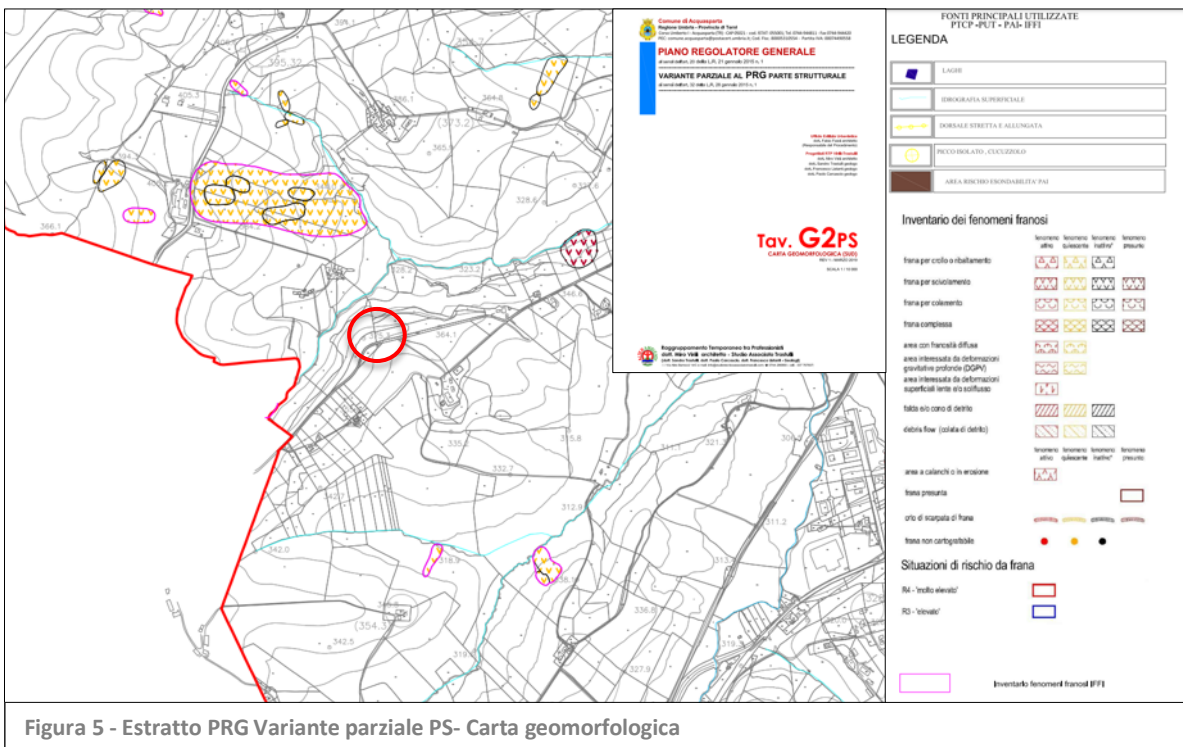


Figura 5 - Estratto PRG Variante parziale PS- Carta geomorfologica

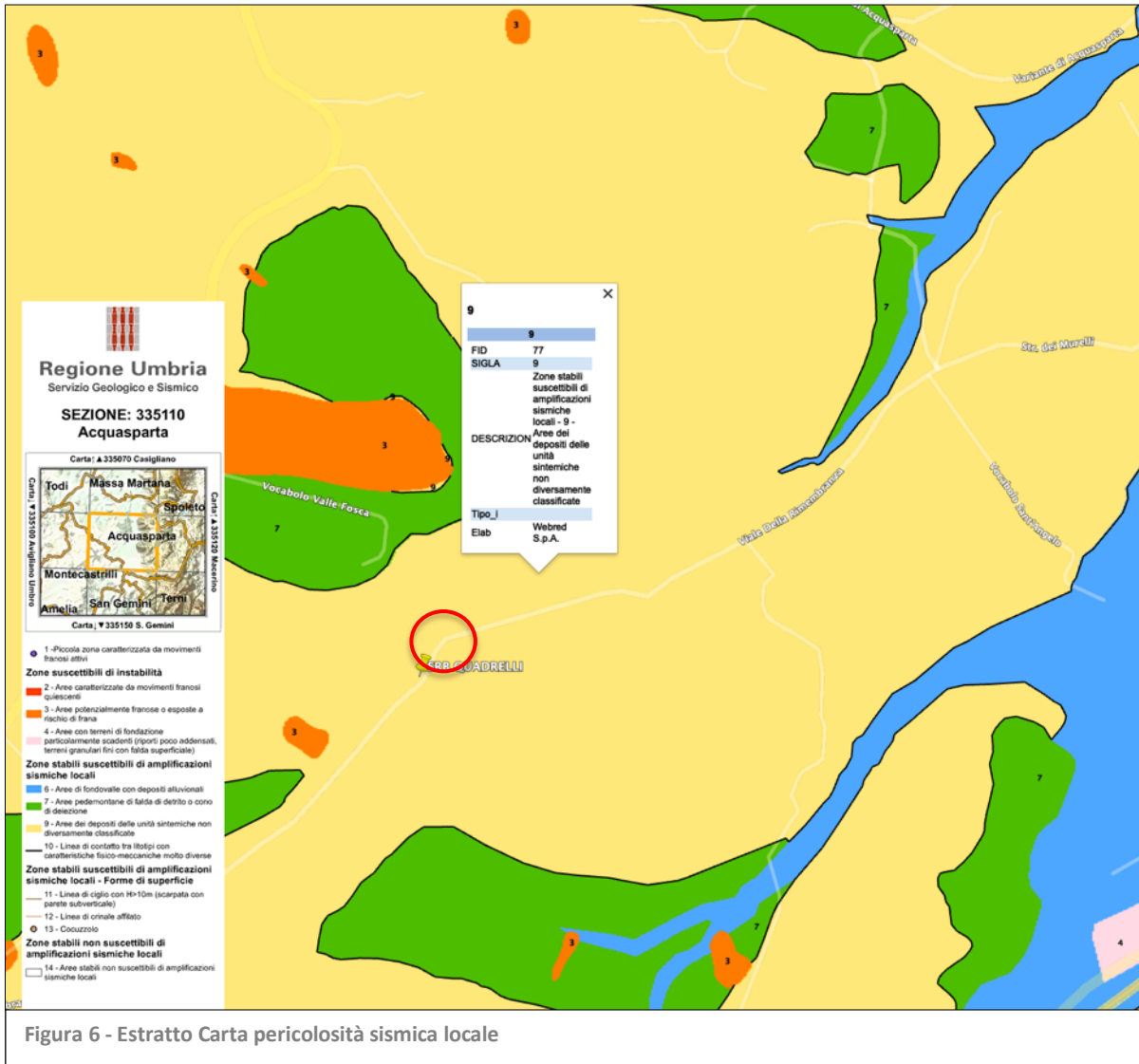


Figura 6 - Estratto Carta pericolosità sismica locale



### 3. MODELLAZIONE GEOLOGICA

#### 3.1 Analisi geologica, geomorfologica e idrogeologica

Dal punto di vista geologico regionale l'area di studio ricade all'interno del settore orientale di un vasto graben sedimentario denominato Bacino Tiberino. Si tratta di un bacino intermontano posto nel settore orientale della catena appenninica; nella zona di Acquasparta il bacino in parola è delimitato dai Monti Martani ad E, e dai Monti di Amelia a W mentre a N e a S, il territorio comunale si protrae verso la pianura di Todi e la Conca Ternana.

La fossa tettonica è stata colmata in una prima fase (tardo Pliocene) da una coltre di depositi terrigeni di facies lacustre (Bacino Tiberino) e successivamente (Olocene) dalla messa in posto di alluvioni terrazzate.

L'ambiente di sedimentazione del Bacino Tiberino non è omogeneo per la presenza di frequenti passaggi laterali e verticali tra depositi lacustri, palustri, deltizi e di piana alluvionale.

La più antica unità è quella nota nella letteratura geologica con il nome di Unità di Fosso Bianco, indicante un ambiente di sedimentazione lacustre profondo databile al Pliocene inf., è costituita da materiali argillosi associati a corpi deltizi ghiaioso - sabbiosi sedimentatisi in corrispondenza del bordo del bacino. Segue, verso l'alto, l'Unità di Ponte Naia, riconducibile ad un corpo di conoide alluvionale. In discordanza angolare su entrambe le formazioni precedenti si è deposta l'Unità di S. Maria di Ciciliano, attribuibile al Pleistocene inf., i cui depositi si sono formati in un ambiente di piana alluvionale. In continuità stratigrafica con l'Unità di S. Maria di Ciciliano è stata osservata l'Unità di Acquasparta, costituita da depositi definibili come travertini s.s., formati in ambiente lacustre e palustre e indicanti, in alcuni casi, condizioni di emersione. L'Unità in parola è possibile suddividerla in due facies: depositi calcarei non cementati (sabbie e limi calcarei, sabbie travertinose s.l.), e depositi calcarei cementati (travertino s.l.) l'età di tali depositi è presumibilmente ricollegabile al Pleistocene inf.. Lo spessore della Formazione è di varie decine di metri.

Nel dettaglio, in corrispondenza dell'area di intervento, la prova penetrometrica dinamica eseguita ha evidenziato la presenza in affioramento dei travertini litoidi che hanno fatto registrare il rifiuto all'infissione dell'utensile già a partire a quota 60 cm dal p.c.. Lo spessore dello strato litoide, sulla scorta dell'indagine MASW, è stimabile in circa 4 m; sotto questo livello, la debole diminuzione della velocità delle onde S indica molto probabilmente l'inizio della facies non cementata.

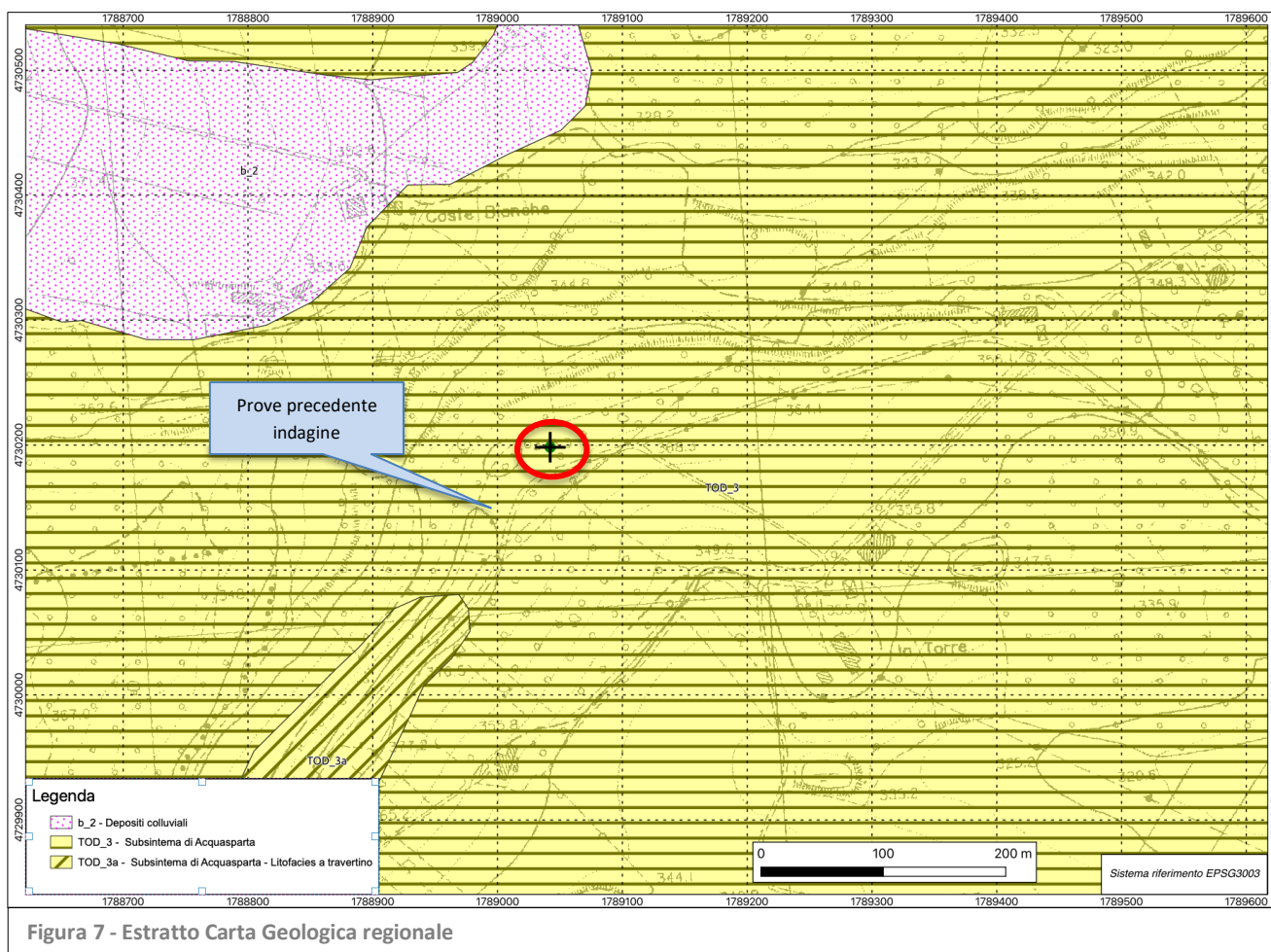


Figura 7 - Estratto Carta Geologica regionale

Dal punto di vista geomorfologico il sito di progetto è situato a quota 375 m circa s.l.m. nella zona di cresta di una dorsale collinare che si allunga in direzione SSO – NNE, interposta tra la Zona dei depositi Villafranchiani affioranti ad occidente ed i depositi alluvionali della piana alluvionale di Acquasparta a E. In corrispondenza del sito di intervento il terreno presenta andamento subpianeggiante, mentre immediatamente a O ha inizio un versante che con pendenze che oscillano tra il 35% ed il 40%, scende verso il fondovalle inciso da un fosso secondario tributario del Torrente Nara.

Il sito di progetto risulta connotato da una sostanziale stabilità legata alle condizioni di bassa pendenza e alle buone caratteristiche geotecniche dei terreni che formano il sottosuolo (travertini). L'assenza di problematiche legate a movimenti gravitativi è testimoniata anche dalla cartografia tematica allegata al PRG (Carta geomorfologica – vedi estratto di fig. 5) e da quella contenuta nel PAI Tevere (vedi fig. 3). Anche il database nazionale IFFI non segnala presenza di frane in corrispondenza della zona di intervento.

Nel contesto descritto l'installazione della nuova struttura, che non produrrà significativi incrementi di carico sul terreno ne apporterà variazioni di carattere morfologico al versante, non appare in grado di produrre turbative all'assetto statico descritto.

Le modeste pendenze e il contesto di alto morfologico del sito inibiscono l'azione erosiva prodotta dalle acque superficiali.

In merito alla problematica relativa al rischio idraulico, l'area di intervento risulta collocata in posizione di sicurezza rispetto alle zone di fondovalle, in quanto appunto collocata in contesto di alto morfologico (vedi fig. 2).

Per quanto riguarda il drenaggio profondo i travertini, che presentano notevole estensione areale nella zona in studio, si intercalano a facies sabbiose e/o limose eteropiche al travertino stesso, che, grazie alla loro elevata permeabilità, sono sede di un importante acquifero, il cui immagazzinamento è garantito dalle Argille Grigie di base che costituiscono il letto delle formazioni sopra citate. La soggiacenza della falda in corrispondenza dell'area di progetto, in base ai dati di pozzi vicini contenuti nel database ISPRA, è senz'altro superiore ai 15 m dal p.c..

#### 4. INDAGINE GEOGNOSTICA E CONSIDERAZIONI DI CARATTERE GEOTECNICO

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di una nuova stazione radio composta da un palo porta antenne e gli apparati elettrici e meccanici necessari al funzionamento della struttura.

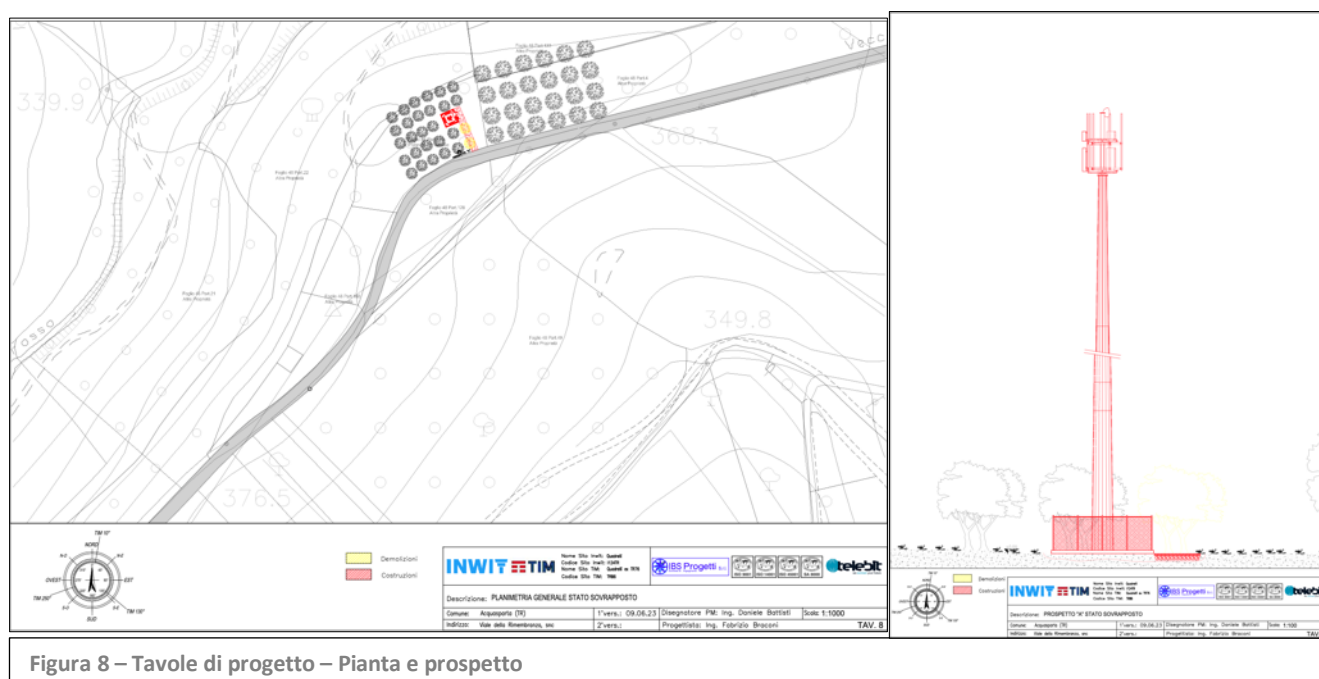


Figura 8 – Tavole di progetto – Pianta e prospettiva



Per caratterizzare il volume di sottosuolo che interagisce con l'opera e verificare la profondità del tetto del banco litoide subaffiorante (travertino) si fa riferimento, come già detto in premessa, a una prova penetrometrica dinamica DPSH effettuata a breve distanza dall'area di progetto, nello stesso contesto geologico, a corredo di una precedente relazione geologica redatta dallo scrivente nel dicembre 2022 per la realizzazione di una stazione radio. La prova aveva fatto registrare il rifiuto all'infissione alla profondità di 60 cm dal p.c.: era stata ripetuta, per conferma del risultato, su 3 diversi punti tutti circostanti il sito di intervento, con esito analogo al tentativo andato a rifiuto a 60 cm dal p.c..

La correlazione della prova DPSH con i risultati di una indagine geofisica MASW (sempre effettuata nel contesto della relazione geologica del 2022) aveva inoltre permesso inoltre di estendere il modello stratigrafico e sismico del sottosuolo oltre la quota indagata. In particolare i dati a disposizione lasciano ipotizzare una potenza del banco carbonatico (travertino) superiore ai 10 m, con i primi 5 m di consistenza litoide e i successivi intervallati da sabbie calcaree e sabbie travertinose.

Per fornire i parametri geotecnici del livello travertino, tenendo conto cautelativamente della facies non cementata (presenza di sabbie e limi calcareie e sabbie travertinose) ci si avvale del metodo di Beniaowski - Romana utilizzando i dati emersi dalle osservazioni condotte sugli affioramenti dislocati nelle vicinanze del sito di intervento.

Parametri geotecnici da metodo di Beniaowski e Romana

### Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

Standard ISRM = La roccia si frattura con un colpo di martello

Numero medio di giunti per metro (n) =3

Spaziatura delle discontinuità (s)=0.3 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1-3 m

Apertura del giunto < 1 mm

Giunto molto rugoso

Pareti leggermente alterate

Riempimento assente

Roccia asciutta

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento mediocre

### Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
25-50	96.3064

V1	V2	V3	V4	V5
4	5	6	5	6

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
4	19.21128391	9	26	15	-7

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

### Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
73.21	66.21	Seconda	Buono

### Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)	Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )
46.42	68.21	366.05	41.61	292.84	34.28	23

Data la consistenza del banco di travertino è molto probabile che oltre il metro circa di profondità dal p.c. sia necessario l'utilizzo del martello demolitore per avanzare con gli scavi.

### Considerazioni sul piano di appoggio delle fondazioni

In considerazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni che formano il sottosuolo e della modestia in termini sia di dimensioni che di carichi del manufatto in progetto, si ritiene possibile il ricorso a fondazioni di tipo diretto (travi, plinti o platea) da appoggiare sul banco di travertino, collocato a non più di 1 metro dal p.c.. Il travertino è comunque tipicamente caratterizzato da presenza di irregolarità sia al suo interno che nell'andamento del piano sommitale e basale. Non si esclude quindi che in fase di scavo possano presentarsi, all'interno dell'area di appoggio delle fondazioni, eventuali spessori anomali della coltre terrigena: in questo caso, al fine di evitare esposizione a problematiche afferenti eventuali fenomeni di cedimento totale e/o differenziale, si raccomanda la rimozione del terreno sciolto e la successiva bonifica dall'irregolarità con riporto di materiale inerte debitamente costipato e legato da malta cementizia.

### Interazione terreno - struttura

Il **coefficiente** o **modulo di reazione del terreno** o **costante di sottofondo** è definito come quel legame che vi è tra la pressione esercitata su un terreno ed il suo cedimento. Tale strumento è largamente usato nelle analisi strutturali sia per la buona approssimazione dei risultati ottenuti sia per la semplicità d'uso.

Si indica come:

$$(1) \quad k = q/d \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

dove **q** è la pressione esercitata e **d** è il cedimento.

Ciò che da sempre si è cercato di fare è l'associare un certo valore del modulo ad uno specifico terreno, motivo per il quale si sente spesso parlare di **costante di Winkler** (dalla teoria di Winkler). L'uso del termine "*costante*" è concettualmente sbagliato. Il modulo di reazione del terreno, se guardiamo la sua definizione, **non è infatti una proprietà caratteristica del terreno** ma dipende dalla pressione esercitata sul terreno, a sua volta funzione di altre grandezze. Quindi il modulo di reazione del terreno non è costante e non dipende solo dal tipo di terreno.

Si può però cercare di associare questa grandezza a dei valori fissati, potendo quindi comparare i risultati tra terreni diversi facendo delle prove standard. Ecco allora il ricorso al **coefficiente k1**, determinato su **piastre quadrate di lato 30 cm** (o circolari di diametro 30 cm). Questo modo di procedere non rappresenta comunque la perfezione, anzi vi sono problemi dati dal fatto che l'abbassamento **d** non è uniforme; esso dipende infatti anche dalla rigidità della piastra, la quale è più flessibile lungo i bordi. Per tale motivo si parla allora di abbassamento medio.

Successivamente, avendo a disposizione i valori del *generico* coefficiente **k1** determinato con prove standard, è necessario ottenere uno *specifico* valore del coefficiente **k** per il complesso terreno-struttura in esame.

Nel 1955 Terzaghi propose, in questo senso, le seguenti relazioni:

$$(2) \quad k = k1 B1 / B$$

per fondazioni che interessano terreni argillosi. **B1** è la dimensione caratteristica della piastra di prova (es: 30 cm) mentre **B** è la dimensione minore della fondazione.

Per fondazioni che interessano terreni sabbiosi la relazione è:

$$(3) \quad k = k1 [(B + B1) / 2B]^2$$

Per la valutazione del **k1** si può tenere conto dei valori medi proposti da Terzaghi per alcuni terreni, come riportato nella sottostante tabella:

TERRENO	k1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Sabbia sciolta	Sabbia media	Sabbia densa
Sabbie asciutte o umide	1.3	4.1	16
Sabbie immerse in acqua	0.8	2.5	9.6
	Resistenza alla compressione semplice in kg/cm <sup>2</sup>		
Argilla compatta	Q <sub>u</sub> = 1-2 kg/cm <sup>2</sup>	Q <sub>u</sub> = 2-4 kg/cm <sup>2</sup>	Q <sub>u</sub> > 4 Kg/cm <sup>2</sup>
	2.4	4.8	>9.6

Nel nostro caso, visto che il terreno interessato dai nuovi carichi è rappresentato da travertino, la relazione di calcolo più appropriata risulta la (3) adottando un valore di **k1 = 10**

Dal momento che queste relazioni, ancora oggi largamente impiegate, sono sconsigliate da alcuni studiosi, come Joseph Bowles, in particolare per **B > 3 B1** (quindi casi diffusi) si riporta anche la formula prevista dallo stesso Bowles:

$$(5) \quad k = 40 (SF) q_a$$

dove **SF** è il Safety Factor, ovvero il coefficiente di sicurezza adottato, e **q<sub>a</sub>** è la pressione ammissibile (di esercizio) sul terreno. La pressione ammissibile vale ovviamente:



$$(6) \quad q_a = q_{ult} / SF$$

dove  $q_{ult}$  è la pressione ultima sul terreno, corrispondente ad un cedimento  $DH$  di 1 pollice, ovvero 25.4 mm. Riferendoci dunque alla relazione del modulo di reazione del terreno, uno dei modi di procedere è il seguente (Bowles ne propone anche di più dettagliati):

$$(7) \quad k = q_{ult} / DH$$

Lo stesso Bowles afferma che per valori di  $DH$  pari a 6, 12, 20 mm, ecc. il fattore 40 può essere portato a 160, 83, 50, ecc. Il valore del fattore assunto pari a 40 è dunque conservativo, ma si possono comunque assumere cedimenti minori (e quindi valori del fattore minori).

Il resto è molto semplice, perché si tratta di calcolare il  $q_{ult}$  per il complesso fondazione-terreno, da cui poi si ricava il valore del modulo di reazione del terreno.

Dopo aver calcolato  $k$  si potrà verificare se tale valore sia verosimile basandosi sul seguente *range* di validità in funzione del terreno (si consiglia l'operazione inversa ovvero: in funzione del tipo di terreno assumere direttamente un valore di  $k$ ).

I *range* caratteristici in funzione del tipo di terreno sono i seguenti:

Tipo terreno	Valori $k$ (kg/cm <sup>3</sup> )
sabbia sciolta	0.48 – 1.60
sabbia grossa mediamente densa	0.96 – 8.00
sabbia densa:	6.40 – 12.80
sabbia argillosa:	3.20 – 8.00
sabbia limosa:	2.40 – 4.80
argilla con $q_a \leq 200$ kPa:	1.20 – 2.40
argilla con $200 < q_a \leq 800$ kPa:	2.40 – 4.80
argilla con $q_a > 800$ kPa:	> 4.80

Il calcolo con il metodo di Bowles, stando alla soprastante tabella ed al tipo di terreno presente, dovrà quindi fornire **valori di  $k$  superiori a 12**.

Una precisazione importante che preme ribadire: è **sbagliato usare la tabella fornita per ricavare un “valore medio”** del modulo di reazione in funzione del tipo di terreno. La tabella deve essere impiegata per **verificare** quanto è verosimile il valore calcolato. Se si è fuori dal *range* fornito è opportuno controllare i calcoli svolti. Ovviamente la tabella vale per cedimenti massimi fissati a 25.4 mm nei calcoli. Qualora si fossero adottati valori diversi è possibile ritrovarsi al di fuori dai *range* forniti.

## 5. LIQUEFAZIONE

Per quanto riguarda la **suscettibilità a liquefazione** le NTC al paragrafo 7.11.3.4.2 prevedono i seguenti casi di esclusione dalla verifica:

*“7.11.3.4.2 - Esclusione della verifica a liquefazione La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:*

1. *eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;*
2. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
3. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
4. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
5. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .*

*Quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.”*

Nel nostro caso, in base ai dati disponibili, la condizione che consente di escludere la verifica a liquefazione è la profondità della falda superiore ai 15 m dal p.c.. Inoltre il banco di travertino, continuo ed esteso, anche in caso di un eventuale addensamento localizzato dei depositi sottostanti, rappresenterebbe comunque un orizzonte rigido in grado di sostenere le strutture soprastanti.

## 6. TERRENO PROVENIENTE DALLO SCAVO

Secondo la normativa vigente le terre e rocce da scavo, a seconda della gestione prevista, possono essere considerate rifiuti speciali o un sottoprodotto.

In merito alla gestione del terreno di sterro, ai sensi del DPR 120/2017 e del DLGS 152/2006 e in considerazione del fatto che nel nostro caso si tratta di cantiere di piccole dimensioni, i materiali potranno essere gestiti alternativamente con le seguenti modalità:

1) **come rifiuto** da conferirsi ad impianti autorizzati ai sensi del d.lgs. 152/06 mediante formulario di identificazione del rifiuto ex art. 195 d.lgs. 152/06, previa eventuale caratterizzazione analitica richiesta dall'impianto.

In questo caso sarà necessario:

- individuare un centro autorizzato al recupero o smaltimento terre e rocce da scavo (codice CER 170504)
- individuare l'eventuale deposito temporaneo presso cantiere di produzione (non deve superare i 3 mesi o i 20 mc).

Il trasporto dovrà essere effettuato da ditte iscritte all'Albo Gestori Ambientali o dell'impresa previa richiesta all'Albo per il trasporto in conto proprio

2) **come sottoprodotto** ai sensi dell'articolo 184-bis del d.lgs. 152/06:

- se riutilizzato in sito non dovrà essere resa alcuna dichiarazione. Il DPR 120/2017 all'art. 24 prescrive la necessità di attuare la caratterizzazione chimico-fisica dei terreni mediante analisi, al fine di accertarne la qualità ambientale. In attesa di chiarimenti da parte del legislatore nazionale o di contributi tecnici di ARPAT è dunque preferibile effettuare detti "rapporti analitici" che dovranno semplicemente essere acquisiti alla contabilità di cantiere e resi disponibili alle Autorità in caso di eventuale controllo.
- se riutilizzato su sito esterno il produttore dovrà sottoscrivere una "Dichiarazione di utilizzo" ai sensi dell'art. 21 del DPR 120/2017 da inviare, almeno 15 gg prima dell'attività di scavo, al Comune del luogo di produzione e all'ARPAT (nel sito dell'ente è disponibile la modulistica)

## 7. MODELLAZIONE SISMICA

### Sismicità storica

La sismicità storica del Comune di Acquasparta è ricostruibile grazie alle notizie contenute nel database macrosismico dei terremoti italiani (DBMI15) utilizzato per la compilazione del "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). La sismicità storica è osservabile nella sottostante tabella, nella quale sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate, oltre alla stessa intensità al sito (I MCS), la data in cui si è verificato l'evento, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMOP	Io	Mw
6	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85
6	1960	04	23	11	44		Monti Martani	21	6	4.66
5-6	1960	07	12	14	08		Monti Martani	35	7-8	4.93
5-6	1997	05	12	13	50	1	Monti Martani	57	6	4.72
5-6	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
5	1898	06	27	23	38		Reatino	186	8	5.50
5	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
5	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
5	1989	12	22	06	48	1	Valle Umbra	114	5	4.44
5	2016	08	24	01	36	3	Monti della Laga	221	10	6.18
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
4-5	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
4	1951	08	08	19	56		Gran Sasso	94	7	5.25
4	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
4	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
4	2005	12	15	13	28	3	Val Nerina	350	5	4.14
F	1874	02	24	06	52		Aquilano	26	6-7	5.12
F	1878	02	13	19	30		Cascia	8	4-5	4.22
F	1960	07	20	23	09		Ternano	22	7	4.67
3-4	1971	04	02	01	43	5	Valnerina	68	6	4.50
3-4	1990	09	12	02	59	4	Valle Umbra	62	5-6	4.12
3-4	1997	11	09	19	07	3	Valnerina	180		4.87
3-4	1998	03	21	16	45	0	Appennino umbro-marchigiano	141		5.00
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3-4	2000	12	16	07	31	0	Ternano	129	5-6	4.29
3	1971	02	06	18	09		Tuscania	89	7-8	4.83
2-3	1891	07	14	05	58		Trevi	9	5	4.16
2	1957	07	19	09	04	0	Valle Umbra	58	6-7	4.58
2	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
2	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
NF	1954	03	23	17	55		Collestatte	20	5	4.16
NF	1964	08	02	10	40		Valnerina	25	6	4.53
NF	1967	12	03	21	29	5	Aquilano	32	5	4.37
NF	1968	01	04	10	23		Sabina	28	6	4.53
NF	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1989	11	19	03	40	2	Valnerina	38	5	4.13
NF	1998	08	15	05	18	0	Reatino	233	5-6	4.42



### Zonizzazione sismica nazionale e regionale

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000). In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici".

Tale modello riprende sostanzialmente il retroterra informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola, anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti (es. Bormio 2000, Monferrato 2001, ecc...).

La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

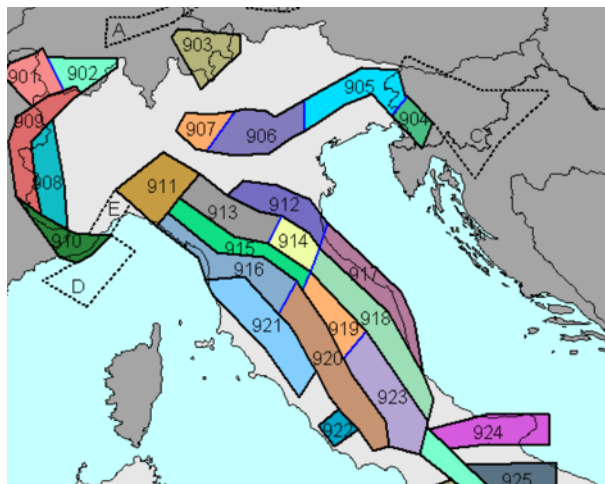
Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

La zona sismogenetica che interessa l'area in esame è la ZS9 920 (Val di Chiana - Ciociaria), che fa parte del complesso "Appennino settentrionale e centrale" (zone che vanno dalla 911 alla 923). E' caratterizzata da una sismicità di bassa energia legata ad eventi connessi ad un meccanismo di fagliazione di tipo distensivo.

Nella successiva tabella una sintesi delle caratteristiche della zona 920.

ZONA SISMOGENETICA	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima osservata (Md)	Magnitudo cautelativa (Mwmax1)	Magnitudo cautelativa (Mwmax2)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km9)
920 Val di Chiana - Ciociaria	296	201	39	4.6	5.68	6.14	5-8	6

### ESTRATTO MAPPA ZONAZIONE SISMOGENETICA INGV



Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Sulla base di tali zone, per tutto il territorio italiano, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica.

Il risultato, per ogni comune, è rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90 % di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.

ZONA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI ( $a_g/g$ )	ACCELERAZIONE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ( $a_g/g$ )
1	>0.25	0.35
2	0.15-0.25	0.25
3	0.05-0.15	0.15
4	<0.05	0.05

A seguito dell'O.P.C.M. n. 3519 del 28.4.2006 con la quale sono emanati i "criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" la regione Toscana ha aggiornato, con la Del. GRT n° 878 del 8/10/2012, la classificazione sismica del suo territorio.

La Regione Umbria con la delibera della Giunta Regionale 18 settembre 2012, n. 1111 ("Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale dell'Umbria"), ha attuato i criteri generali dell'OPCM 3519/2006 ai fini dell'aggiornamento delle zone sismiche del suo territorio, inserendo il territorio del Comune di Acquasparta in **Zona 2**.

### **Azione sismica di progetto**

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, **la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto**, valutata a sua volta nel rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione nei calcoli geotecnici e strutturali, viene effettuata a partire dalla "**pericolosità sismica di base**", definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  in condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008). Tale **griglia** è costituita da **10.751 nodi** (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008); tale considerazione riguarda anche le isole dell'arcipelago toscano. La Toscana è interessata da **936** nodi.

La "**pericolosità di base**" del sito di costruzione è data da:

- *accelerazione massima orizzontale  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s categoria di sottosuolo A), con superficie topografica orizzontale;*
- *ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se (T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento **PVR** a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:*
  - *$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito*
  - *Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale*
  - *T\*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.*

La determinazione dei parametri sopra citati avviene tramite la:

- *Definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica.*
- *Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento della zona di progetto.*
- *Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.*
- *Calcolo del periodo  $T_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro*

In tal caso, su indicazione del Progettista, la ricerca è stata svolta in funzione dei seguenti parametri:

$V_n = 100$  anni (vita nominale dell'opera)

CU= IV (Classe d'uso)

VR = 200 anni (vita di riferimento)

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, in relazione alle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo presente nel sito di costruzione ed alla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la **risposta sismica locale**.

In tal senso, sotto l'azione di un sisma, i sistemi geotecnici (vedi paragrafo 7.11.3. delle NTC: "Risposta sismica e stabilità del sito") devono quantomeno rispettare gli stati limite ultimi con i requisiti di sicurezza indicati al paragrafo 7.1. NTC.

In relazione alle specifiche tipologie di verifica geotecnica e di stato limite di riferimento potranno essere applicati eventuali coefficienti riduttivi dell'acc. max specificamente prescritti dalla normativa in oggetto.

### 7.1. **Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche**

#### **Definizione categoria di suolo**

In assenza di un'analisi di risposta sismica locale si può far riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla definizione delle categorie di suolo di riferimento al paragrafo 3.2.2. nelle NTC come di seguito illustrato:

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria - Descrizione
<p><b>A:</b> <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</p> <p><b>B:</b> <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>NSPT_{,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</p> <p><b>C:</b> <i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; NSPT_{,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</p> <p><b>D:</b> <i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i>, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>NSPT_{,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</p> <p><b>E:</b> <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i>, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s)..</p>

#### **Individuazione della categoria di suolo**

In questo lavoro per la definizione dell'azione sismica è stato utilizzato l'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento distinte a seconda della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per la determinazione di tale parametro si fa riferimento all'indagine MASW citata in premessa che permette di attribuire al sottosuolo una **categoria simica B** (vedi allegato report Relazione Tecnica Masw).

#### **Individuazione dell'amplificazione stratigrafica, della condizione topografica e della accelerazione massima attesa al sito**

Nella definizione della pericolosità sismica di sito si devono verificare, quindi, i possibili fenomeni di amplificazione sismica locale dovuti alla situazione stratigrafica, con particolare riferimento alla tipologia di suolo definita in seguito alla valutazione delle  $V_{s30}$  (vedi paragrafo precedente) ed all'assetto morfologico locale.

Pertanto il coefficiente S da inserire nelle formulazioni per la definizione dell'accelerazione sismica max ( $A_{gmax}$ ) e per i relativi spettri elastici di riferimento risulta:

$$S = S_s * S_t$$

Lo schema per la definizione del  $S_s$  che si riferisce alle categorie di suolo in tabella 3.2.II riportata nel paragrafo precedente, con il D.M.14/01/2008, risulta:

Classe	$S_s$
<b>A</b>	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g / g \leq 1,20$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g / g \leq 1,50$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g / g \leq 1,80$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g / g \leq 1,60$

dove  $F_0$  è l'amplificazione spettrale massima, su bedrock orizzontale; si ricava, come  $a_g$ , dalla tabella allegata al D.M.14 gennaio 2008.

Infine, le NTC prevedono la scelta della situazione topografica di sito. Per configurazioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione che vale per condizioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, che devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_t$  riportati nella successiva tabella:

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica St**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4

La situazione topografica consente di attribuire una **categoria T1**, con fattore di amplificazione uguale a 1.0.

Da quanto sopra i **PARAMETRI SISMICI DI SITO** risultano:

Parametri sismici		Tc*:	0,333	[s]
Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii		Prevenzione dal collasso (SLC):		
Muro rigido: 0		Probabilità di superamento:	5	%
		Tr:	2475	
		[anni]		
Sito in esame.		ag:	0,259 g	
latitudine: 42,670822		Fo:	2,511	
longitudine: 12,52766		Tc*:	0,336	[s]
Classe: 4				
Vita nominale: 100				
		Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii		
Siti di riferimento		SLO:		
Sito 1 ID: 24960 Lat: 42,6804 Lon: 12,4699		Ss:	1,200	
Distanza: 4840,059		Cc:	1,400	
Sito 2 ID: 24961 Lat: 42,6810 Lon: 12,5379		St:	1,000	
Distanza: 1405,590		Kh:	0,023	
Sito 3 ID: 25183 Lat: 42,6310 Lon: 12,5387		Kv:	0,012	
Distanza: 4523,477		Amax:	1,139	
Sito 4 ID: 25182 Lat: 42,6304 Lon: 12,4707		Beta:	0,200	
Distanza: 6473,235		SLD:		
		Ss:	1,200	
Parametri sismici		Cc:	1,400	
Categoria sottosuolo: B		St:	1,000	
Categoria topografica: T1		Kh:	0,034	
Periodo di riferimento: 200anni		Kv:	0,017	
Coefficiente cu: 2		Amax:	1,409	
		Beta:	0,240	
Operatività (SLO):		SLV:		
Probabilità di superamento: 81	%	Ss:	1,160	
Tr:	120	Cc:	1,370	
[anni]		St:	1,000	
ag:	0,097 g	Kh:	0,078	
Fo:	2,475	Kv:	0,039	
Tc*:	0,294 [s]	Amax:	2,736	
		Beta:	0,280	
Danno (SLD):		SLC:		
Probabilità di superamento: 63	%	Ss:	1,140	
Tr:	201	Cc:	1,370	
[anni]		St:	1,000	
ag:	0,120 g	Kh:	0,083	
Fo:	2,428	Kv:	0,041	
Tc*:	0,302 [s]	Amax:	2,892	
		Beta:	0,280	
Salvaguardia della vita (SLV):		Le coordinate espresse in questo file sono in ED50		
Probabilità di superamento: 10	%	Geostru		
Tr:	1898	Coordinate WGS84		
[anni]		latitudine: 42.669849		
ag:	0,241 g	longitudine: 12.526723		
Fo:	2,501			

Serre di Rapolano, Agosto 2023

Il Tecnico  
Geologo Alessandro Lorenzini  
Iscritto Ordine Geologi Toscana n. 764



INDAGINI GEOGNOSTICHE DI ARCHIVIO  
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA E MASW

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCHEMA PENETROMETRO

# DIN

Committente: **IBS Progetti Srl**  
 Cantiere: **Impianto per comunicazioni elettroniche - Sito INWIT QUADRELLI Cod. I124TR**  
 Località: **Viale della Rimembranza snc - Comune di Acquasparta (TR)**

Data esecuzione: 20/12/2022

Data emissione: 21/12/2022

**TG63-200DIN**

**Pagani Geotechnical Equipment**

Rif. Norme	DIN 4094		
Peso Massa battente	M = 63.5	Kg	
Altezza di caduta libera	H = 75	cm	
Peso sistema di battuta	M' = 0.63	Kg	
Diametro punta conica	D = 51.00	mm	
Area di base punta	A = 20.00	cm <sup>2</sup>	
Lunghezza delle aste	La = 100	cm	
Peso aste a metro	Pa = 6.31	Kg/m	
Profondità giunzione prima asta	P1 = 40	cm	
Avanzamento punta	δ = 20	cm	
Numero colpi per punta	N(20) relativo a 20 cm di avanzamento		
Rivestimento/fanghi	No		
Angolo di apertura punta	α = 90	°	
Coefficiente di correlazione N20/Nspt	β = 1.51		



ATTREZZATURA UTILIZZATA: ENERGIA SPECIFICA x avanzamento 20 cm  
 $Q_d = (MH)/(A \delta) = 11.90605 \text{ kg/cmq}$

PROVA SPT in foro ENERGIA SPECIFICA x avanzamento 30 cm  
 $Q_{spt} = 7.87 \text{ kg/cmq}$

COEFF. TEORICO DI ENERGIA  $\beta_t = Q/Q_{spt} = 1.51$  (teoricamente:  $N_{spt} = \beta_t N$ )

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd (funzione del numero di colpi N)  
 FORMULA OLANDESE:

$$R_{pd} \text{ (kg/cmq)} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

con  $P = M' + Pa$



**STUDIO GEOLAND** DEL  
 DOTT. GEOL. GIORGIO PIAGNANI

Sede Legale: Piazza I° Maggio n. 5 - 06081, Assisi (PG)

Sede Operativa: Via V. Veneto n. 14 - 06083, Bastia Umbra (PG)

Codice Fiscale: PGNGRG72H16G478M Partita IVA: 02540680549

telefono: +39 0753723177

mobile: +39 3382940003

PEO: geolandpg@tiscali.it

PEC: geolandpg@pec.epap.it



# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE

**DIN** **1**

<b>Committente:</b> IBS Progetti Srl	<b>U.M.:</b> MPa	<b>Data esec.:</b> 20/12/2022
<b>Cantiere:</b> Impianto per comunicazioni elettroniche - Sito INWIT QUADRELLI Cod. I124TR	<b>Pagina:</b> 1	
<b>Località:</b> Viale della Rimembranza snc - Comune di Acquasparta (TR)	<b>Elaborato:</b>	<b>Falda:</b>

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m <sup>2</sup>	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m <sup>2</sup>
0.20	1	2		2.1					
0.40	1	2		2.1					
0.60	1	50		48.3					

H = profondità  
L1 = prima lettura (colpi punta)  
L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)  
qcd = resistenza dinamica punta  
Asta = numero di asta impiegata

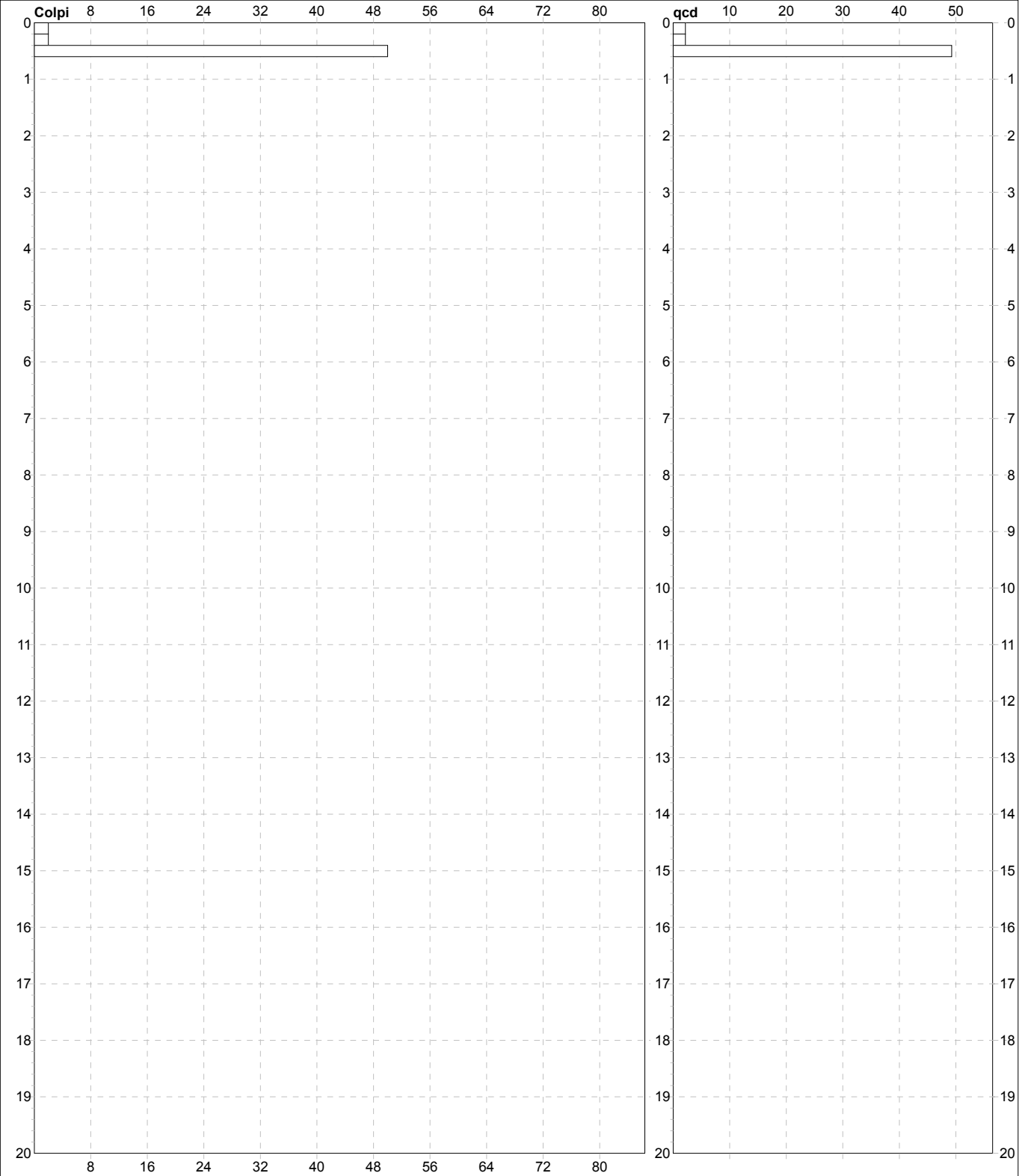


# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

**DIN 1**

Committente: **IBS Progetti Srl**  
Cantiere: **Impianto per comunicazioni elettroniche - Sito INWIT QUADRELLI Cod. I124TR**  
Località: **Viale della Rimembranza snc - Comune di Acquasparta (TR)**

U.M.: **MPa**  
scala: **1:100**  
Pagina: **1**  
Elaborato:  
Data eseg.: **20/12/2022**  
Quota inizio:  
Falda:

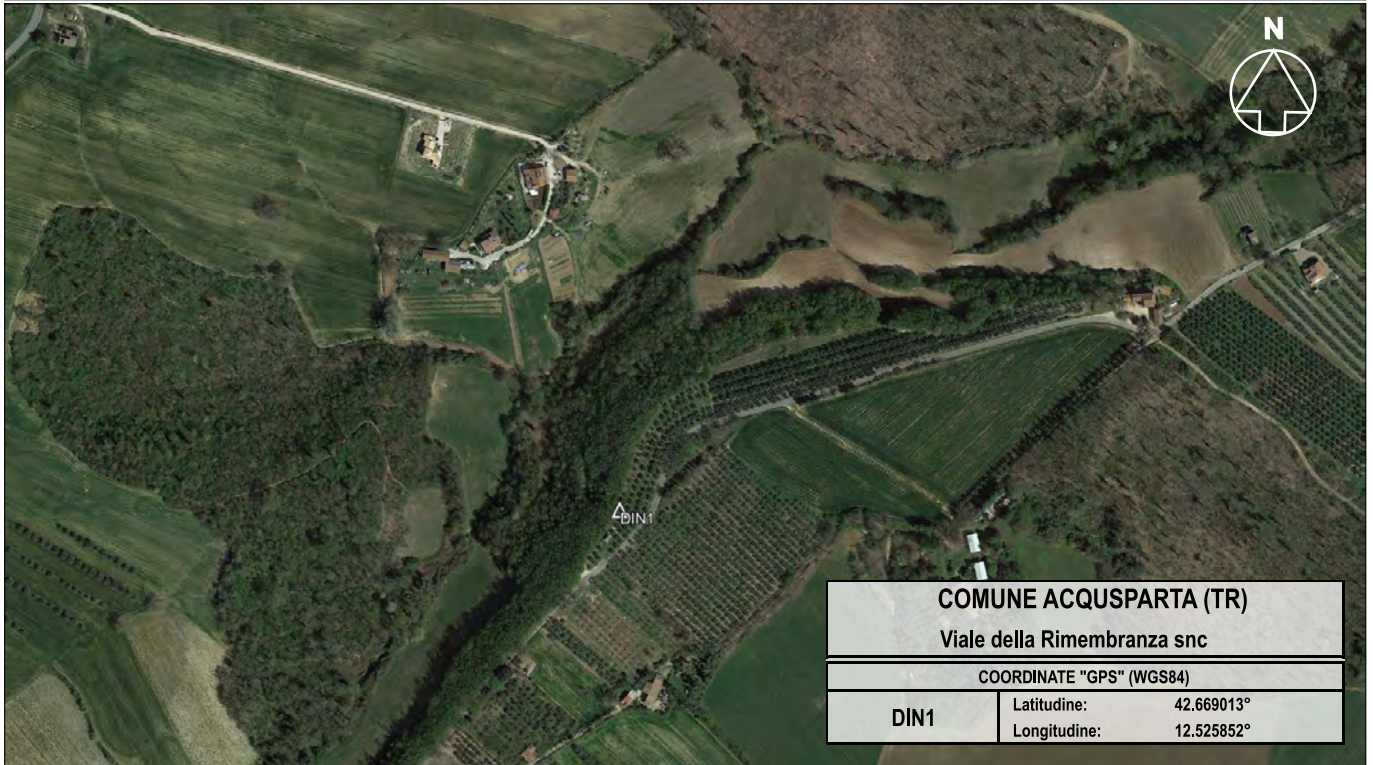


<b>Penetrometro:</b> TG63-200D	<b>Responsabile:</b> Dott. Geol. G. Piagnani	<b>Preforo:</b> m
<b>Massa battente:</b> 63.50 kg	<b>Assistente:</b>	<b>Corr.astine:</b> kN/ml
<b>Altezza caduta:</b> 0.75 m		<b>Cod.ISTAT:</b> 0
<b>Avanzamento:</b> 0.20 m		





# UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE



# DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVE PENETROMETRICHE





# Regione Umbria

PROVINCIA DI TERNI

## COMUNE DI ACQUASPARTA

Rapporto Tecnico:

### INDAGINI GEOFISICHE

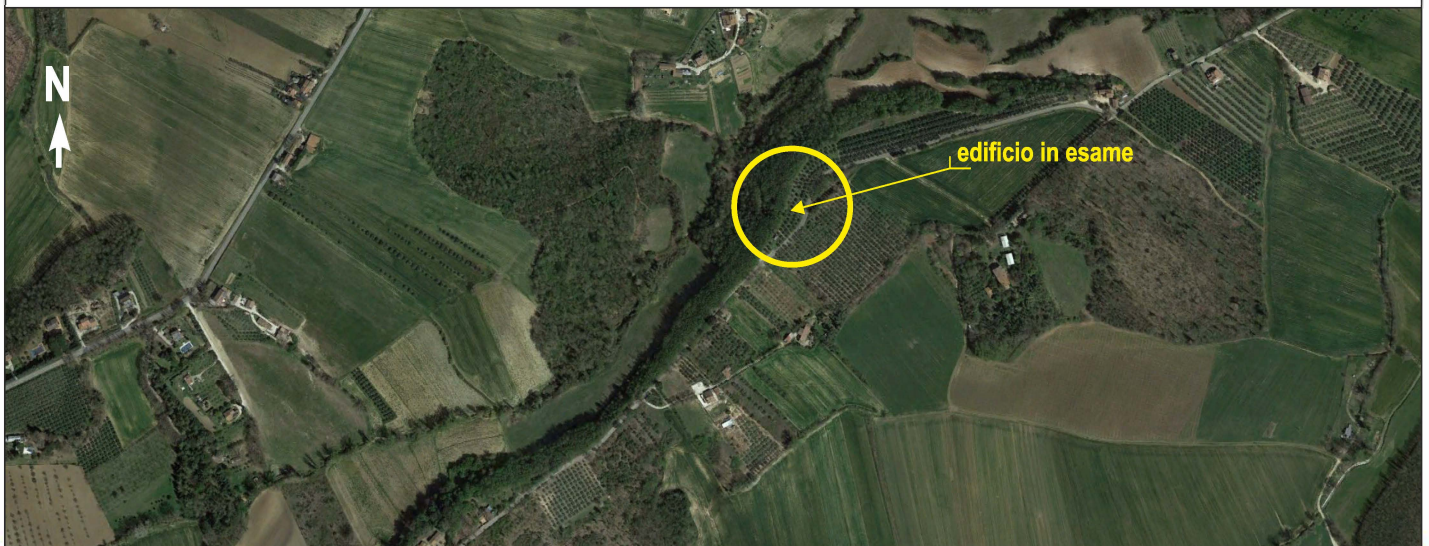
INDAGINE GEOFISICA ATTIVA MULTICANALE DI SUPERFICIE  
MEDIANTE ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE  
DELLE ONDE DI RAYLEIGH

(MASW - ZVF)

Ubicazione Cantiere:

### VIALE DELLA RIMEMBRANZA SNC

Sito INWIT QUADRELLI Cod. I124TR



Richiedente: IBS Progetti Srl

Data esecuzione: 20 Dicembre 2022



Dott. Geol.  
**Giorgio Piagnani**

Sede Operativa:  
Via V. Veneto, n. 14  
06083 Bastia U. (PG)



IL RESPONSABILE



**DOTT. GEOL. GIORGIO PIAGNANI**

<b>1.0 PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.0 UBICAZIONE SITO INDAGATO.....</b>	<b>2</b>
<b>3.0 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....</b>	<b>2</b>
3.1 SISTEMA DI ENERGIZZAZIONE .....	2
3.2 SISTEMA DI RICEZIONE DEI SEGNALI.....	2
3.3 SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI SEGNALI.....	3
3.4 SISTEMA DI TRIGGER (START) .....	3
<b>4.0 CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO SISMICO .....</b>	<b>4</b>
<b>5.0 CENNI TEORICI TECNICA “MASW” .....</b>	<b>4</b>
<b>6.0 RISULTATI.....</b>	<b>5</b>
6.1 IPOTESI DI CALCOLO DELLA $V_{S, EQ}$ .....	6
<b>7.0 CONSIDERAZIONE FINALI.....</b>	<b>6</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>7</b>

Si allegano a fine relazione:

- **TAVOLA 1:** Report ed Ubicazione indagine geofisica attiva multicanale MASW in onde Rayleigh (comp. verticale) - “MW1”
- **Allegato 1:** winMASW Report (da software utilizzato)
- **Allegato 2:** foglio campagna acquisizione MASW - “MW1”

## 1.0 PREMESSA

In data 20 Dicembre 2022 è stata seguita un'indagine sismica attiva multicanale MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) denominata **MW1**, mediante analisi della dispersione della componente verticale delle onde Rayleigh (ZVF).

L'indagine è stata finalizzata a ricostruire il profilo  $V_S$  di sito, dato utile per fornire il parametro  $V_{S,eq}$  (velocità equivalente delle onde S entro i 30 m dal piano fondale esistente e/o di progetto), così come indicato dalle Nuove NTC 2018.

L'indagine è stata svolta nel Comune di Acquasparta (TR), lungo Viale della Rimembranza, per il progetto di realizzazione impianto per comunicazioni elettroniche - Sito INWIT QUADRELLI Cod. I124TR.

## 2.0 UBICAZIONE SITO INDAGATO

Per l'inquadramento planimetrico generale si veda l'aerofotogrammetria di cui alla testata della presente relazione; per i dettagli, l'immagine satellitare e la documentazione fotografica riportata in **TAVOLA 1**.

La documentazione fotografica dello stendimento "MW1" è invece consultabile in **Allegato 2**.

## 3.0 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

### 3.1 SISTEMA DI ENERGIZZAZIONE

La sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare in PE rigido del diametro di 30 cm posta direttamente sul p.c.; in tale modo è possibile generare prevalentemente onde P e onde Rayleigh.

### 3.2 SISTEMA DI RICEZIONE DEI SEGNALI

Il sistema di ricezione dei segnali generati con le energizzazioni è costituito da n. 12 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz ad alta sensibilità, cioè dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una specifica sorgente.

- Geofoni verticali utilizzati per indagini MASW "Sunfull":
  - Tipo: SS-4.5N
  - Frequenza naturale (Hz):  $4,5 \pm 10\%$
  - Coil resistance ( $\Omega$ ):  $375 \pm 5\%$
  - Damping:  $0.6 \pm 5\%$
  - Intrinsic voltage sensitivity (v/m/s):  $80 \pm 5\%$
  - Harmonic distortion (%):  $\leq 0.2\%$
  - Mass Moving (g): 11.3
  - Typical case to coil motion p-p: 4 (mm)
  - Operating temperature range ( $^{\circ}\text{C}$ ): -40 to +100
  - Height (mm): 36
  - Diameter (mm): 25.4
  - Weight (g): 86



### 3.3 SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEI SEGNALI

Per l'acquisizione dei segnali generati è stato utilizzato il sismografo GEA24 della ditta PASI S.r.l..

GEA24 è un compatto sismografo 24 canali (serializzabile fino a 48 can.) con scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno. Adatto per tutte le applicazioni di sismica attiva multicanale (MASW, RIFRAZIONE, HVSR, DOWNHOLE e CROSSHOLE) e passiva multicanale (HVSR, ESAC, MAAM, SPAC etc.) una volta collegato al PC, tablet o notebook, GEA24 si trasforma in uno strumento per indagine geofisiche semplice da utilizzare, ma dalle performance ai massimi livelli. Non c'è bisogno della batteria 12V esterna (pesante ed ingombrante): GEA24 consuma pochissimo e viene alimentata direttamente da PC. GEA24 può acquisire utilizzando geofoni con qualsiasi frequenza di risonanza (anche 1Hz).



Figura 1. Configurazione strumentazione per acquisizione con sismografo GEA24.

#### Caratteristiche tecniche generali del Sismografo multicanale GEA24 della PASI srl:

- **Numero di canali:** 24 canali + trigger (can. AUX)
- **Conversione dati:** Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
- **Stacking:** Numero di stacking illimitato
- **Impedenza di ingresso:** 2M $\Omega$  // 22nF
- **Range Dinamico:** 144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
- **Distorsione:** 0.007% @16kHz
- **Trigger:** Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software

### 3.4 SISTEMA DI TRIGGER (START)

Il sistema che avvia la ricezione dei segnali (collocato al di sopra del peso della mazza utilizzata per energizzare) è costituito da un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra in PE rigido), consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione (starter piezoelettrico).

#### 4.0 CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO SISMICO

Il sito per caratteristiche ambientali e di estensione ha reso possibile l'esecuzione di n. 1 **STENDIMENTO SISMICO** denominato "MW1" con utilizzo di sismografo GEA24 a 12 canali attivi; ad ogni canale è stato collegati n. 1 ricevitore ossia un geofono verticale in modo da poter acquisire la componente verticale delle onde di superficie Rayleigh (Z); l'energizzazione è avvenuta percuotendo verticalmente la piastra metallica ben ammorsata al terreno (VF, vertical force).

Le condizioni ambientali locali hanno permesso la realizzazione di uno stendimento di lunghezza di m 44.0 m:

- offset minimo a 4.0 m dal geofono G1 (shot 01),
- distanza inter-geofonica pari a 5.0 m.

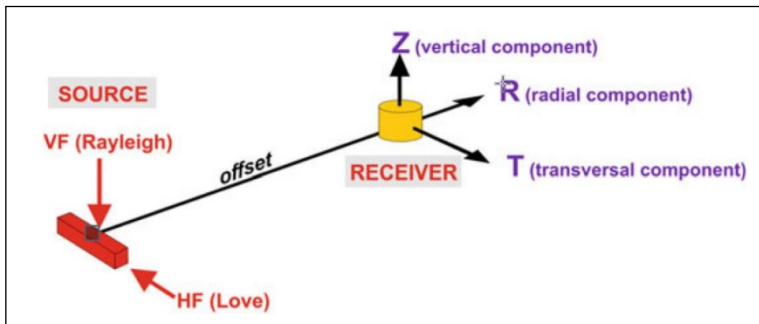


Figura 2. Tipi di energizzazione e componenti delle onde di superficie generate.

Il tutto come sopra individuato a livello schematico, e consultabile nel dettaglio nella scheda di campagna allegata (**Allegato 2**). Sono state effettuate diverse registrazioni successivamente sottoposte ad operazione di stacking in modo da minimizzare il rumore ambientale comunque abbastanza basso; il file ottenuto è stato salvato in formato ".seg2".

#### 5.0 CENNI TEORICI TECNICA "MASW"

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo. In un mezzo stratificato le onde di superficie sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) delle onde di Rayleigh e di Love dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile in generale al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano con elevate lunghezze d'onda interessando gli strati più profondi del suolo. Il metodo di indagine M.A.S.W. qui utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo tramite energizzazione (massa battente) e misurate da uno stendimento lineare di sensori (geofoni). L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh e/o di Love rispetto ad altri tipi di segnali. Pertanto, attraverso tale trattazione, è possibile passare dalle tracce registrate (nel dominio tempo-spazio) allo spettro di velocità di fase delle onde di

superficie (Rayleigh o Love) nel dominio frequenza – velocità (di fase), determinato via “*phase shift*”<sup>1</sup>; le curve che uniscono i massimi in ampiezza dei valori f-v sono dette curve di dispersione modali. La tecnica permette di analizzare frequenze in genere comprese tra i 2-60 Hz e quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 10m ed i 50m (in funzione della rigidità del suolo, delle caratteristiche della sorgente, ma soprattutto della lunghezza dello stendimento sismico). Per l’elaborazione dei dati di campo è stato utilizzato il software **WINMASW Academy 2018 release version** che consente di gestire il sismogramma digitale, selezionare le tracce utili, eseguire l’analisi spettrale f-v, ed effettuare le procedure di inversione per il riconoscimento del profilo  $V_s$  (attraverso il metodo FVS – Full Velocity Spectrum). Lo scopo dell’intera procedura di inversione è identificare il modello geotecnico (profilo  $V_s$  del terreno) che meglio riproduce lo spettro sperimentale registrato (ovvero le curve modali); tale modello sarà evidentemente caratterizzato dal minor errore di adattamento (misfit o funzione obiettivo), che in questo caso è rappresentato dalla deviazione standard tra le velocità di fase osservate e quelle calcolate. I limiti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali ed omogenei, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata anche dalla presenza di pendenze significative. Si ricorda comunque che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira generalmente attorno al 10-20 %.

## 6.0 RISULTATI

In **TAVOLA 1** è riportato in sintesi il profilo  $V_s$  di sito ottenuto partendo dall’analisi della dispersione delle onde di Rayleigh (componente verticale – ZVF), mediante l’indagine geofisica di superficie multicanale e multi-offset “**MW1**”. I segnali acquisiti nel dominio spazio-tempo (step 1) sono stati elaborati con analisi spettrale 2D al fine di identificare lo spettro di velocità (di fase) delle onde di Rayleigh via “*phase shift*” (spettro ZVF, step 2). Successivamente, partendo da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson e velocità delle onde S attraverso un processo di INVERSIONE TOTALE DELLO SPETTRO (metodo FVS) si è cercato il profilo  $V_s$  di sito che meglio sovrappone (confronta) lo spettro di velocità registrato allo spettro sintetico, ovvero i massimi f-v dello spettro registrato (curve modali) alle curve modali sintetiche (da inversione).

**TABELLA SISMOSTRATIGRAFICA DI SINTESI - indagine MW1 (Mean Model)**

SISMOSTRATO	Profondità [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/sec]
1	0.50	0.50	54.00
2	1.00	0.50	570.00
3	3.60	2.60	565.00
4	23.60	20.00	465.00
5	40.60	17.00	460.00
6	45.50	4.90	625.00
7	SOTTO 45.50 m		835.00

<sup>1</sup> Park et al. (1998)

### 6.1 IPOTESI DI CALCOLO DELLA $V_{s,eq}$

In funzione del profilo  $V_s$  individuato ed in base al §3.2.2 delle NTC 2018, è stato eseguito il calcolo della  $V_{s,eq}$  (per PRESENZA di bedrock sismico entro 30.00 m dal p.c.), nell'area di esecuzione dell'indagine "MW1". Il calcolo è stato effettuato al p.c. attuale.

NTC 2018		Calcolo $V_{s,eq} - V_{s,30}$		
$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$		$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$		
con:		Bedrock sismico NON PRESENTE entro m 30 dal p.c.		
hi - spessore iesimo strato	N - numero di strati	profondità piano fondale da p.c. (m)	$V_{s,30}$ (m/s)	$V_{s,eq}$ (m/s)
$V_{s,i}$ - velocità delle onde di taglio dell' i-esimo strato		0.00	417	-
H - profondità del substrato, definito come quella formazione di roccia, caratterizzata da $V_s$ non inferiore di 800 m/s				

### 7.0 CONSIDERAZIONE FINALI

L'eventuale scelta di procedere al calcolo dell'azione sismica di progetto tramite utilizzo delle categorie di sottosuolo (approccio semplificato di cui alle NTC 2018) o analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), spetta al progettista e relatore della relazione sismica a corredo del progetto in base:

- alle considerazioni e studi precedentemente riportati,
- alle effettive condizioni geologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni presenti sotto ai previsti piani fondali.

L'eventuale scelta dovrà tenere conto delle eventuali differenze topografiche e di spessore dei sismostrati individuati tra il punto effettivo di esecuzione dell'indagine MASW in oggetto e lo specifico sedime progettuale.

Si ricorda che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira generalmente attorno al 10-20 %.

### II RESPONSABILE

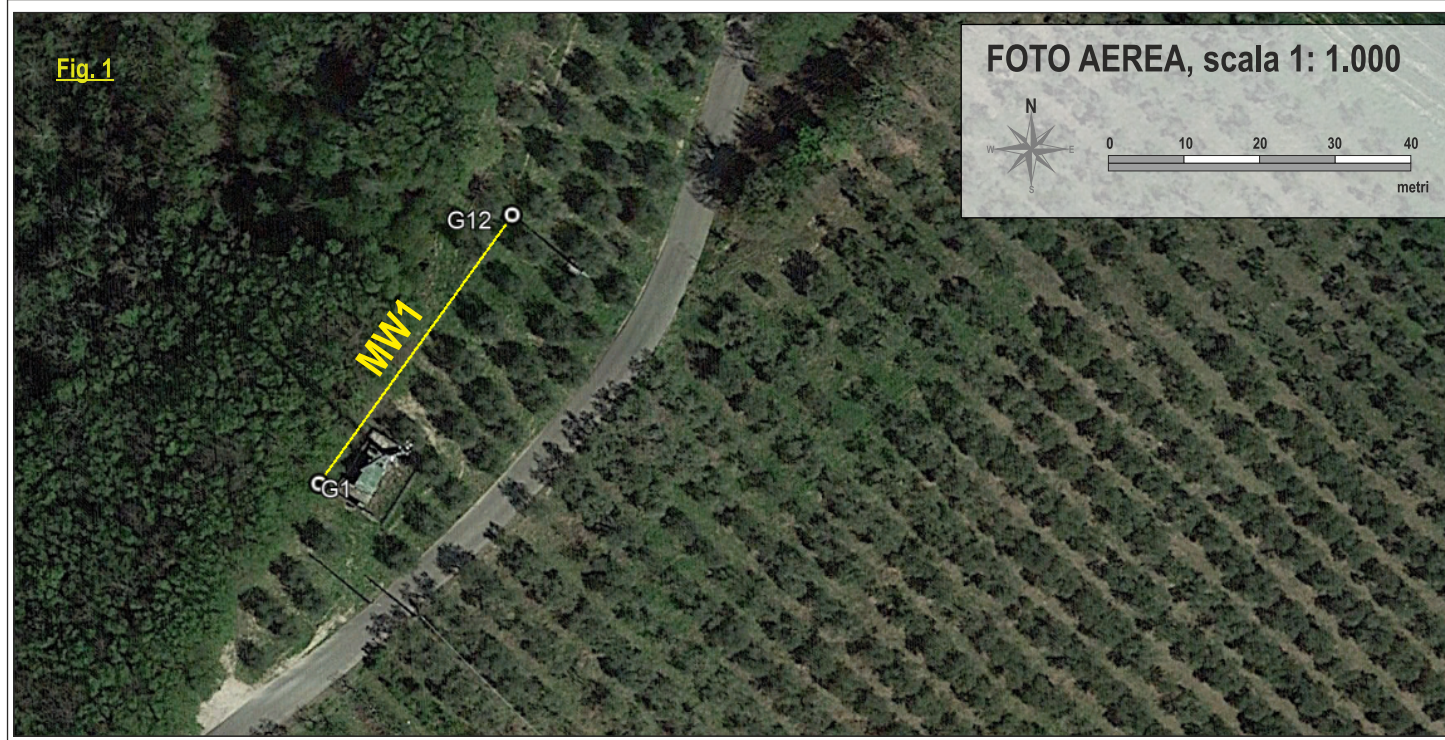




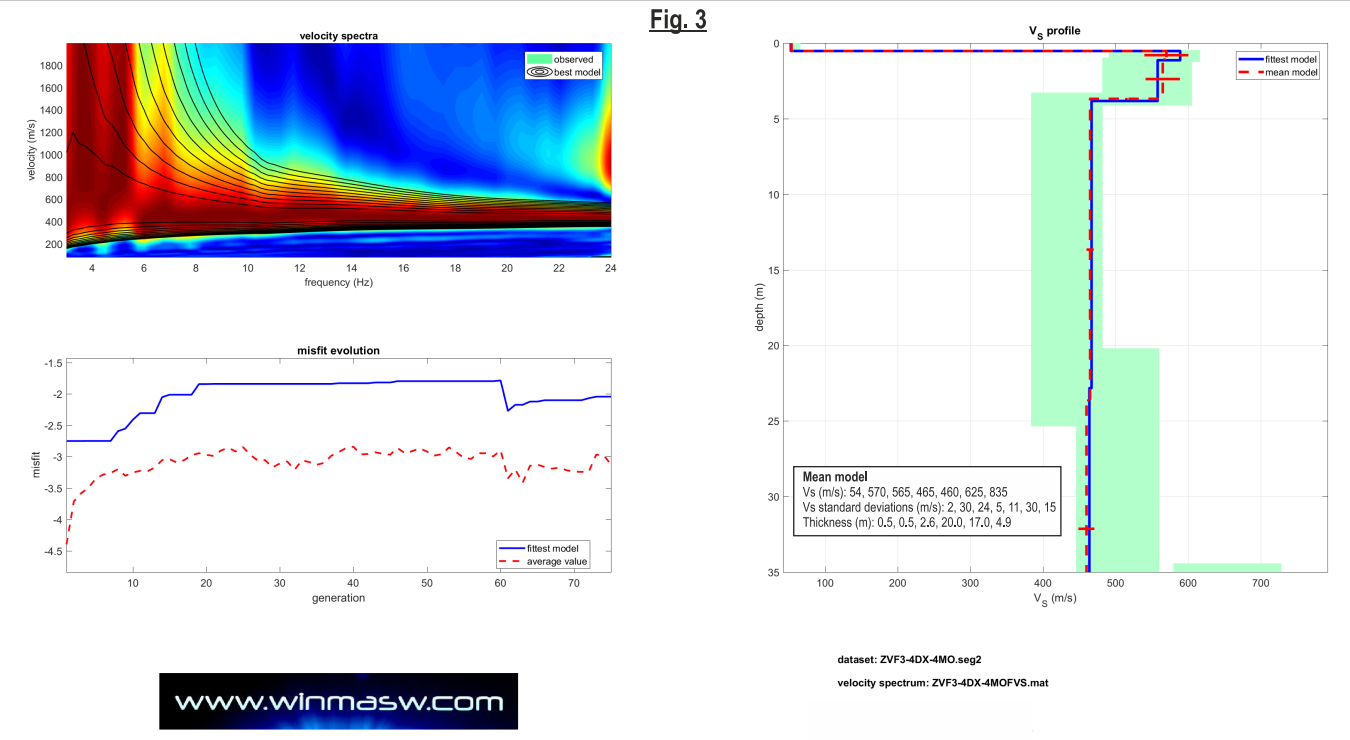
**BIBLIOGRAFIA**

- Arai, H., Tokimatsu, K., 2004. S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum. Bull. Seism. Soc. Am 94, 53–63.
- Albarello D. e Lunedei E., 2010. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modeling. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.
- Dal Moro G., 2012, Onde di superficie in Geofisica applicata - Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR, Dario Flaccovio Editore, 192 pagine
- Dal Moro G., 2019, Surface wave analysis: improving the accuracy of the shear-wave velocity profile through the efficient joint acquisition and Full Velocity Spectrum (FVS) analysis of Rayleigh and Love waves, Exploration Geophysics, DOI: 10.1080/08123985.2019.1606202
- Dal Moro G. 2018, Problemi e soluzioni per la corretta definizione del profilo VS (velocità delle onde di taglio) in studi di geotecnica e microzonazione sismica Geologia Tecnica & Ambientale, Rivista dell'Ordine Nazionale dei Geologi, ISSN 1722 - 0025, numero 1/2018, 43-60
- Dal Moro G., 2014, *Surface Wave Analysis for Near Surface Applications Elsevier*, ISBN 978-0-12-800770-9, 252pp (theory, field practice and advanced joint analysis)
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800–808
- Park C.B., 2002, Multichannel analysis of surface waves (MASW). MASW Workshop Notes, open file ([http://www.terrajp.co.jp/MASW\\_Workshop\\_Tokyo.pdf](http://www.terrajp.co.jp/MASW_Workshop_Tokyo.pdf))
- Park D. & Hashash Y.M.A., 2004, Soil Damping Formulation in non-linear Time Domain Site Response Analysis. Journal of Earthquake Engineering, 8, 249-274
- Tokimatsu, K., Tamura, S., Kojima, H., 1992. Effects of Multiple Modes on Rayleigh Wave Dispersion Characteristics. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 118, 10, 1529-1543
- Tokimatsu K., 1995, Geotechnical Site Characterization Using Surface Waves, Proc., First Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Eng., pp. 1333-1368
- Zhang S.X. & Chan L.S., 2003, *Possible Effects of Misidentified Mode Number on Rayleigh Wave Inversion*, J. Appl. Geophysics, 53, 17-29

UBICAZIONE STENDIMENTO "MASW"

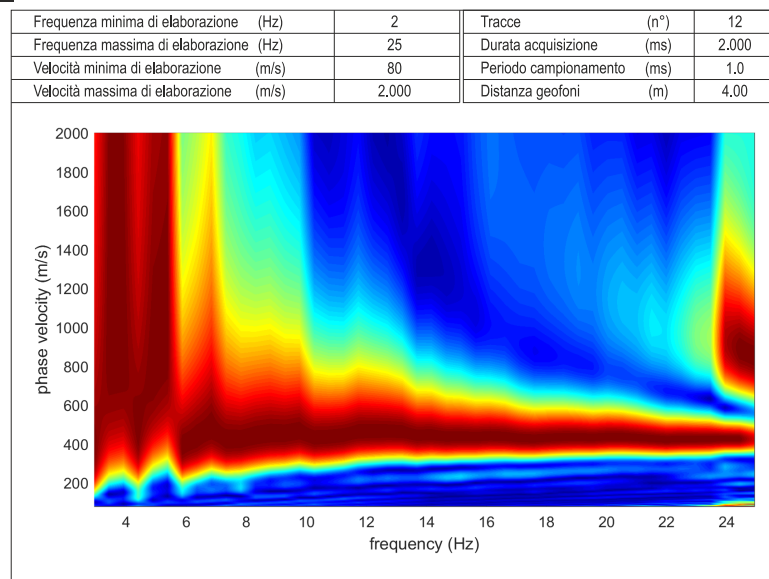
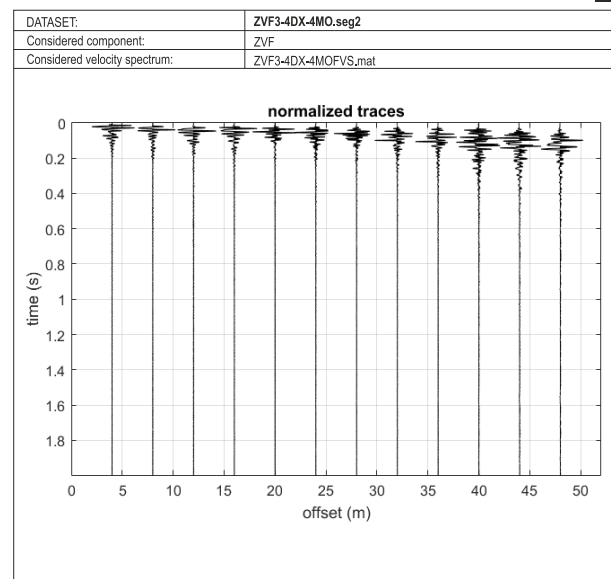


INVERSIONE - [step 3] (metodo FVS - Full Velocity Spectrum)

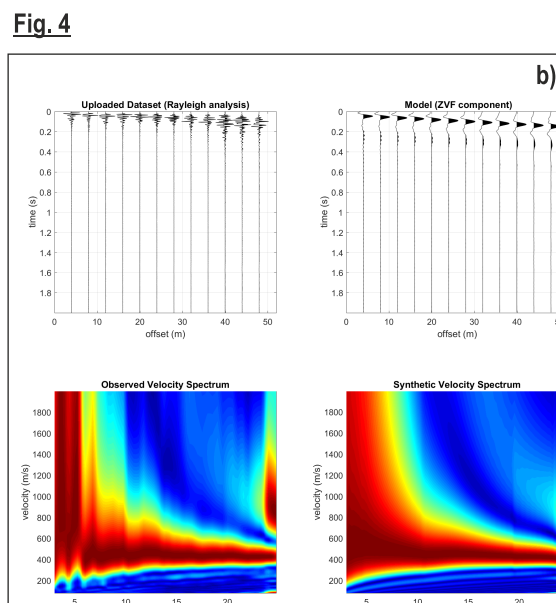


TRACCE REGISTRATE - [step 1]

SPETTRO Frequenza - Velocità di fase (ZVF) - [step 2]



RISULTATI



**TABELLA SISMOSTRATIGRAFICA DI SINTESI - indagine MW1 (Mean Model)**

SISMOSTRATO	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	0.50	0.50	54.00
2	1.00	0.50	570.00
3	3.60	2.60	565.00
4	23.60	20.00	465.00
5	40.60	17.00	460.00
6	45.50	4.90	625.00
7	SOTTO 45.50 m		835.00

**NTC 2018**

$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$	$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$	Calcolo $V_{s,eq} - V_{s,30}$	
		Bedrock sismico NON PRESENTE entro m 30 dal p.c.	
profondità piano fondale da p.c. (m)		$V_{s,30}$ (m/s)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0.00		417	-

con:  
 hi - spessore lesimo strato  
 N - numero di strati  
 $V_{s,i}$  - velocità delle onde di taglio dell' i-esimo strato  
 H - profondità del substrato, definito come quella formazione di roccia, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore di 800 m/s

FIG. 1: UBICAZIONE STENDIMENTO

FIG. 2: TRACCE REGISTRATE (step 1) SPETTRO DI VELOCITA' DI FASE onde Rayleigh componente verticale (ZVF - step 2)

FIG. 3: INVERSIONE SPETTRO con metodo FVS (Full Velocity Spectrum - step 3) - sovrapposizione spettro sintetico (contour line) ed «osservato» - profilo Vs di sito, - andamento misfit

FIG. 4: RISULTATI - a) tabella sismostratigrafica di sintesi (Mean Model), - b) confronto dataset e spettri «osservati» (registrati) e sintetici (Mean Model), - c) confronto massimi f-v spettro di velocità di fase (curve modali «osservate») e curve modali sintetiche (Mean Model) - d) calcolo  $V_{s,eq}$

LEGENDA

**STUDIO GEOLAND**

**Dott. Geol. Giorgio Piagnani**

Sede Operativa:  
Via V. Veneto, n. 14  
06083 - Bastia U. (PG)

Sede Legale:  
Piazza Primo Maggio n. 5  
06081 - Assisi (PG)

Responsabile

**Indagine geofisica MW1**

ORDINE DEI GEOLOGI  
PIAGNANI GIORGIO  
ALBO  
351  
Dott. Geol. Giorgio Piagnani

===== SECTION#1

dataset: ZVF3-4DX-4MO.seg2  
 sampling (ms): 1  
 minimum offset (m): 4  
 geophone spacing (m): 4  
 offsets (m): 4 8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48  
 Velocity spectrum: ZVF3-4DX-4MOFVS.mat  
 Number of individuals: 48  
 Number of generations: 61

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 53 491 482 384 446 580 670  
 Adopted search space (maximum Vs): 66 616 605 482 560 728 840

Adopted search space (minimum Poisson): 0.23538 0.13367 0.19264 0.14625 0.16079 0.17584 0.16955  
 Adopted search space (maximum Poisson): 0.499 0.401 0.499 0.43875 0.48238 0.499 0.499

Adopted search space (minimum Qs): 7.5 15 14.25 19.5 26.25 24.75 31.5  
 Adopted search space (maximum Qs): 15 30 28.5 39 52.5 49.5 63

Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
 Adopted search space (maximum reference frequency): 24.9267

Adopted search space (minimum thickness): 0.464286 0.508929 2.3125 16.9196 14.2321 4.46429  
 Adopted search space (maximum thickness): 0.5824 0.6384 2.9008 21.224 17.8528 5.6

===== SECTION#2

component: ZVF  
 number of considered modes: 8  
 starting Qs values: 10 20 19 26 35 33 42  
 allowed variability for Poisson and Q values (%): 5

Rayleigh-wave analysis

Optimizing subsurface model - generation: 1; average & best misfits: -4.4007 -2.7514  
 Optimizing subsurface model - generation: 2; average & best misfits: -3.7149 -2.7514  
 Optimizing subsurface model - generation: 3; average & best misfits: -3.583 -2.7514  
 Optimizing subsurface model - generation: 4; average & best misfits: -3.4944 -2.7505  
 Optimizing subsurface model - generation: 5; average & best misfits: -3.3491 -2.7505  
 Optimizing subsurface model - generation: 6; average & best misfits: -3.286 -2.7505  
 Optimizing subsurface model - generation: 7; average & best misfits: -3.262 -2.7505  
 Optimizing subsurface model - generation: 8; average & best misfits: -3.2001 -2.5952  
 Optimizing subsurface model - generation: 9; average & best misfits: -3.3058 -2.5538  
 Optimizing subsurface model - generation: 10; average & best misfits: -3.2544 -2.4152  
 Optimizing subsurface model - generation: 11; average & best misfits: -3.2273 -2.3075  
 Optimizing subsurface model - generation: 12; average & best misfits: -3.2344 -2.3075  
 Optimizing subsurface model - generation: 13; average & best misfits: -3.1743 -2.3075  
 Optimizing subsurface model - generation: 14; average & best misfits: -3.0559 -2.053  
 Optimizing subsurface model - generation: 15; average & best misfits: -3.0416 -2.014  
 Optimizing subsurface model - generation: 16; average & best misfits: -3.0947 -2.014  
 Optimizing subsurface model - generation: 17; average & best misfits: -3.056 -2.014  
 Optimizing subsurface model - generation: 18; average & best misfits: -2.9784 -2.014  
 Optimizing subsurface model - generation: 19; average & best misfits: -2.9462 -1.8446  
 Optimizing subsurface model - generation: 20; average & best misfits: -2.9714 -1.8446  
 Optimizing subsurface model - generation: 21; average & best misfits: -2.9903 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 22; average & best misfits: -2.9029 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 23; average & best misfits: -2.8604 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 24; average & best misfits: -2.9183 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 25; average & best misfits: -2.849 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 26; average & best misfits: -2.9747 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 27; average & best misfits: -3.0617 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 28; average & best misfits: -3.0562 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 29; average & best misfits: -3.1712 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 30; average & best misfits: -3.1103 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 31; average & best misfits: -3.0783 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 32; average & best misfits: -3.2103 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 33; average & best misfits: -3.0603 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 34; average & best misfits: -3.0866 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 35; average & best misfits: -3.1306 -1.8412

Novembre 2022

Optimizing subsurface model - generation: 36; average & best misfits: -3.1008 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 37; average & best misfits: -2.9856 -1.8412  
 Optimizing subsurface model - generation: 38; average & best misfits: -2.9291 -1.8303  
 Optimizing subsurface model - generation: 39; average & best misfits: -2.8635 -1.8303  
 Optimizing subsurface model - generation: 40; average & best misfits: -2.8421 -1.8303  
 Optimizing subsurface model - generation: 41; average & best misfits: -2.9645 -1.8303  
 Optimizing subsurface model - generation: 42; average & best misfits: -2.9581 -1.8303  
 Optimizing subsurface model - generation: 43; average & best misfits: -2.9321 -1.8184  
 Optimizing subsurface model - generation: 44; average & best misfits: -2.9571 -1.8184  
 Optimizing subsurface model - generation: 45; average & best misfits: -2.9696 -1.8184  
 Optimizing subsurface model - generation: 46; average & best misfits: -2.864 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 47; average & best misfits: -2.9468 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 48; average & best misfits: -2.9129 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 49; average & best misfits: -2.8671 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 50; average & best misfits: -2.9203 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 51; average & best misfits: -2.9838 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 52; average & best misfits: -2.9612 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 53; average & best misfits: -2.8533 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 54; average & best misfits: -2.9322 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 55; average & best misfits: -3.017 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 56; average & best misfits: -3.0365 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 57; average & best misfits: -2.9462 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 58; average & best misfits: -2.9472 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 59; average & best misfits: -2.9977 -1.7978  
 Optimizing subsurface model - generation: 60; average & best misfits: -2.8979 -1.7871

Checking the new search space (for the finer search)

Adopted search space (minimum Vs): 53 491 482 384 446 580 670  
 Adopted search space (maximum Vs): 66 616 605 482 560 728 840

Adopted search space (minimum Qs): 7.5 15 14.25 19.5 26.25 24.75 31.5  
 Adopted search space (maximum Qs): 15 30 28.5 39 52.5 49.5 63

Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
 Adopted search space (maximum reference frequency): 24.9267

Adopted search space (minimum Poisson): 0.23538 0.15 0.19264 0.15 0.16079 0.17584 0.16955  
 Adopted search space (maximum Poisson): 0.497 0.401 0.497 0.43875 0.48238 0.497 0.497

Adopted search space (minimum thickness): 0.464286 0.508929 2.3125 16.9196 14.2321 4.46429  
 Adopted search space (maximum thickness): 0.5824 0.6384 2.9008 21.224 17.8528 5.6

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh-wave analysis

Optimizing subsurface model - generation: 1; average & best misfits: -3.3444 -2.27  
 Optimizing subsurface model - generation: 2; average & best misfits: -3.207 -2.1743  
 Optimizing subsurface model - generation: 3; average & best misfits: -3.4163 -2.1743  
 Optimizing subsurface model - generation: 4; average & best misfits: -3.1457 -2.1232  
 Optimizing subsurface model - generation: 5; average & best misfits: -3.1277 -2.1232  
 Optimizing subsurface model - generation: 6; average & best misfits: -3.1659 -2.1013  
 Optimizing subsurface model - generation: 7; average & best misfits: -3.1921 -2.1013  
 Optimizing subsurface model - generation: 8; average & best misfits: -3.1755 -2.1013  
 Optimizing subsurface model - generation: 9; average & best misfits: -3.2186 -2.1013  
 Optimizing subsurface model - generation: 10; average & best misfits: -3.2396 -2.1013  
 Optimizing subsurface model - generation: 11; average & best misfits: -3.2436 -2.1013  
 Optimizing subsurface model - generation: 12; average & best misfits: -3.2366 -2.0689  
 Optimizing subsurface model - generation: 13; average & best misfits: -2.9691 -2.0446  
 Optimizing subsurface model - generation: 14; average & best misfits: -2.978 -2.0446  
 Optimizing subsurface model - generation: 15; average & best misfits: -3.1245 -2.0446

Subsurface model after Vs, Qs, Vp & thickness optimization:

Vs (m/s): 53 589 558 467 464 631 840

Thickness (m): 0.52 0.61 2.7 19 18 4.8

Qs (estimated): 8 30 18 29 33 44 43

Vp (m/s) (estimated): 180 1448 1011 1012 834 1222 2920

Poisson (estimated): 0.45 0.4 0.28 0.36 0.28 0.32 0.45

Reference frequency (Hz): 12

Number of models considered to calculate the average model: 247



Novembre 2022

##### RESULTS  
#####

Dataset: ZVF3-4DX-4MO.seg2  
Analyzed data: ZVF3-4DX-4MOFVS.mat

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 54 570 565 465 460 625 835  
Standard deviations (m/s): 2 30 24 5 11 30 15

Thickness (m): 0.5 0.5 2.6 20.0 17.0 4.9  
Standard deviations (m): 0.0 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus  
Vp (m/s): 273 1168 1182 889 857 1303 1763  
Density (gr/cm3): 1.74 2.09 2.09 2.03 2.02 2.12 2.19  
Vp/Vs ratio: 5.06 2.05 2.09 1.91 1.86 2.08 2.11  
Poisson: 0.48 0.34 0.35 0.31 0.30 0.35 0.36  
Shear modulus (MPa): 5 680 669 438 427 827 1528

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 53 589 558 467 464 631 840  
thickness (m): 0.52168 0.612846 2.69338 19.0034 17.8528 4.76712

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus  
Vp (m/s): 179 1449 1010 1011 833 1222 2920  
Density (gr/cm3): 1.64 2.14 2.06 2.06 2.01 2.10 2.31  
Vp/Vs ratio: 3.38 2.46 1.81 2.16 1.80 1.94 3.48  
Poisson: 0.45 0.40 0.28 0.36 0.28 0.32 0.45  
Shear modulus (MPa): 5 744 640 449 433 837 1633

===== SECTION#5

Vs30 & VsE (mean model): 417 417 m/s  
Vs30 & VsE (best model): 418 418 m/s

===== SECTION#6

For Italian Users:

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

- A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B - 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.
- C - Depositi 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.
- 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.
- E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

=====

winMASW - Surface Waves & Beyond  
www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 247  
Vs30 for the best model: 418 418  
Analyzing Phase velocities





### Foglio Campagna acquisizione MASW

Campagna:	Comune di Acquasparta (PG) Viale della Rimembranza snc Sito INWIT QUADRELLI Cod. I124TR	Data:	20/12/2022
Profilo:	<b>MW3</b>	Operatore:	Dr. Geol. G. PIAGNANI
Strumento:	PASI GEA24 (24 bit 12 canali)	Condizioni Meteo:	Sereni
Sorgente:	Mazza 8 kg		
Energizzazione:	Colpo verticale su piastra in PE rigido con mazza da 8 Kg dotata di switch piezoelettrico		
Geofoni:	Verticali	Frequenza Geofoni:	4.5 Hz
Spaziatura Geofoni:	4.00 m	Offset minimo (01-G1):	4.00 m
Freq. Campionamento:	1000 Hz	Formato Dati	.seg2
Lungh. Registrazione:	2.0 sec		
<b>Coordinate GPS</b>			
<b>Inizio Profilo (G1)</b>		<b>Fine Profilo (G12)</b>	
Latitudine: 42.668783°		Latitudine: 42.669105°	
Longitudine: 12.525639°		Longitudine: 12.525953°	
Quota (m slm): 377		Quota (m slm): 377	

#### Schema geometria

Energizzazioni: **01**

Ricevitori:



Foto: posizione G1 → G12



Foto: posizione G12 → G1



Misura N°	Posizione Energiz.	Nome file	Posizioni Ricevitori	Tracce inattive	Note (Rumore, Energ. singola, stack Energ.)
01	01	ZVF3-4DX-4MO_shot1.seg2	-----	-----	Energ. singola
02	01	ZVF3-4DX-4MO_shot2.seg2	-----	-----	Energ. singola
03	01	ZVF3-4DX-4MO_shot3.seg2	-----	-----	Energ. singola
04	01	ZVF3-4DX-4MO_shot4.seg2	-----	-----	Energ. singola
05	01	ZVF3-4DX-4MO_shot5.seg2	-----	-----	Energ. singola
	01	<b>ZVF3-4DX-4MO.seg2*</b>	-----	-----	<b>Stack Energ. Misure n° 01-05</b>

\* file tracce utilizzato per elaborazione MASW "MW1" (TAVOLA 1)

Il responsabile dell'indagine  
  
**Dott. Geol. Giorgio PIAGNANI**