

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

cod. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

Ing. VINCENZO MARZI
Ordine Ingegneri di Bari n. 3594

IL GEOLOGO

Geol. FRANCESCO MATALONI
Ordine Geologici del Lazio n. 725

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. GIOVANNI MAGARO'
Ordine Architetti di Roma n. 16183

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. ANTONIO SCALAMANDRÈ

PROTOCOLLO

DATA:

GEOTECNICA
Relazione Sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

LO702M **D** **1801**

NOME FILE

T00GE00GETRE02A

CODICE ELAB.

T00GE00GETRE02

REVISIONE

A

varie

D					
C					
B					
A	EMISSIONE	Giugno 2018			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. SISMICITA' STORICA DELL'AREA.....	4
3.1 ASPETTI SIMOGENETICI.....	4
3.2 SORGENTI SIMOGENETICHE	4
3.3 FAGLIE "CAPACI"	9
4. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	12
4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	13
4.2 EFFETTI DI SITO.....	16
4.3 DISAGGREGAZIONE SISMICA	21
5. INDAGINI GEOFISICHE	24
5.1 TIPO DI INDAGINI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	24
5.2 ELABORAZIONE.....	32
6. SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	37

1. PREMESSA

Il presente documento si propone di illustrare le analisi e le conclusioni dello studio sismico riguardante il progetto definitivo per l'adeguamento a due corsie del tratto della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3°) dell'itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto - Fano.

L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di Parnacciano (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

Nell'ambito del presente documento, in particolare finalizzato a caratterizzare ed inquadrare da un punto di vista generale gli aspetti ed i problemi sismici, vengono affrontati i seguenti temi:

- o caratterizzazione della pericolosità sismica del sito;
- o descrizione, analisi ed interpretazione delle indagini sismiche esperite;
- o liquefazione sismica dei terreni di progetto in condizioni di campo libero (assenza di manufatti).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”
- DM 14.01.2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- CIRCOLARE n.617 del 2.2.2009 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008.

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento alle seguenti norme:

- Eurocodici strutturali e geotecnici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali.

3. SISMICITA' STORICA DELL'AREA

3.1 ASPETTI SISMOGENETICI

Il territorio in esame si colloca tra la fascia appenninica ad alta sismicità e la fascia pede-appenninica adriatica a bassa o bassissima sismicità. La sismicità del centro Italia (P.F.G. - C.N.R.) è collegata a meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti della fascia pede-appenninica adriatica.

In particolare, sono state individuate diverse sorgenti sismogenetiche disposte lungo il margine estensionale occidentale dell'Appennino settentrionale. Gli studi di Neotettonica indicano per l'area di studio un sollevamento pressoché continuo nel Pliocene e nel Quaternario e un sollevamento tardivo, a partire dal Pliocene superiore. Tale differenziazione potrebbe aver provocato tensioni tettoniche nella zona di passaggio. Il campo macrosismico delineato dalle isoiste generalmente presenta andamento "appenninico".

Tra le strutture sismogenetiche più importanti, il "Sistema dell'Etruria" (noto in letteratura anche come "Faglia Altotiberina") è una faglia normale di estensione regionale, riconosciuta tramite evidenze di campo (Boncio et al., 1998) e dati di sottosuolo (Anelli et al., 1994; Barchi et al., 1998). Questo sistema raggiunge profondità di 12-14 km sotto la fascia a pieghe/sovrascorrimenti tra Umbria e Marche (Boncio et al., 1998 and 2000). I numerosi studi geologici e sismologici indicano l'attività della zona estensionale, suggerendone un ruolo nello scollamento basale delle faglie normali sismogenetiche immergenti ad Ovest.

3.2 SORGENTI SISMOGENETICHE

Entrando più nel dettaglio, per quanto riguarda le faglie attive in generale, cioè quelle strutture che possono generare eventi sismici di significativa entità, il riferimento ufficiale è il DISS (Database of Individual Seismogenetic Sources) che è una banca dati continuamente aggiornata, a cura dell'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia).

Il DISS, consultabile online, fornisce una rappresentazione cartografica della presenza di faglie considerate attive allo stato attuale nell'area di interesse; inoltre può essere interrogato per dare informazioni sulle varie sorgenti sismogenetiche.

Nella rappresentazione, le sorgenti sismogenetiche sono distinte in:

- IS (individual source): sorgente sismogenetica individuale; in pratica, una singola faglia con un set di parametri ben definiti (direzione, immersione, inclinazione, lunghezza, velocità di deformazione, deformazione attesa per singolo evento, magnitudo attesa
- CS (composite source): sorgente sismogenetica composita; struttura ipotizzata in base a dati geologici, costituita da diverse linee di faglia o comunque una fascia all'interno della quale possono generarsi sismi che, pur non essendo originati dalla medesima faglia, sono collegati ed interdipendenti; in genere, una CS include diverse IS catalogate.

- DS (debated source): sorgente sismogenetica dibattuta: faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziali sorgenti sismogenetiche, ma che non sono considerate ancora abbastanza “sicure” (ad esempio: faglie con scarsa evidenza in superficie documentata; faglie basate su evidenze geologiche ambigue; faglie su cui ci sono interpretazioni contrastanti; faglie presenti in aree scarsamente sismiche; faglie dai caratteri contrastanti con quelli delle faglie circostanti).

Nella rappresentazione cartografica, le strutture sismogenetiche sono delle campiture associate a dei rettangoli; si tratta, grosso modo, della rappresentazione planimetrica di piani di faglia, o gruppi di piani, la cui orientazione ed immersione sono simboleggiate dai rettangoli gialli.

La figura seguente e la successiva tabella, tratte dal DISS, rappresentano le strutture sismogenetiche interferenti con il progetto.

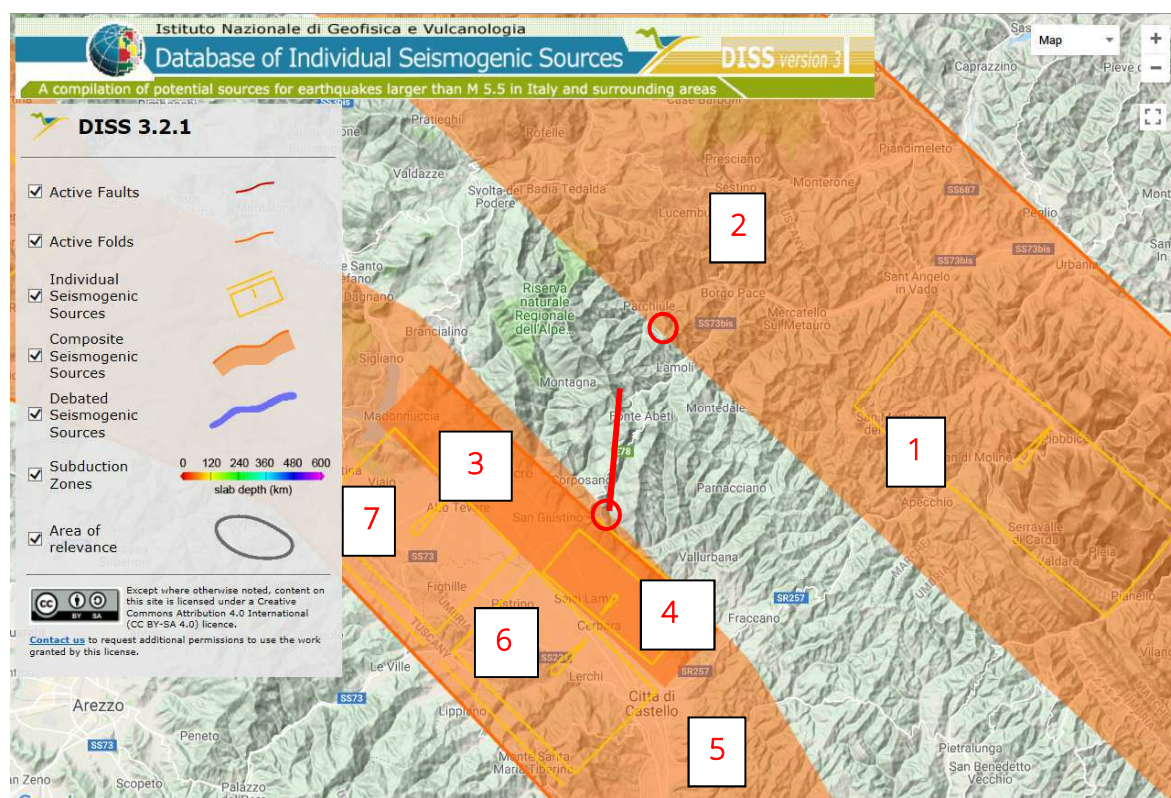


Figura 3.1 - Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse (da DISS version 3, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss/>). La linea rossa rappresenta il tracciato in galleria, i cerchi rossi le aree di collegamento alla viabilità esistente.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

1
ITIS047: Cagli (SS individuale)
<i>Profondità: 17 – 20,8 km</i> <i>Magnitudo max associata: 6.2</i>
2
ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (SS composita)
<i>Profondità: 12 – 22 km</i> <i>Magnitudo max associata: 6.2</i>
3
ITCS041: Sansepolcro (SS composita)
<i>Profondità: 1 – 5 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.5</i>
4
ITIS065: Selci Lama (SS individuale)
<i>Profondità: 1 – 4 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.5</i>
5
ITCS037 Mugello-Citta' di Castello-Leonessa (SS composita)
<i>Profondità: 0,5 – 8 km</i> <i>Magnitudo max associata: 6.2</i>
6
ITIS063 – Monterchi (SS individuale)
<i>Profondità: 0,5 – 4 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.8</i>
7
ITIS064 – Anghiari (SS individuale)
<i>Profondità: 0,5 – 4 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.8</i>

Tabella 3.1 - Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse (da DISS version 3, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

Si nota che l'area in esame è, in parte, direttamente interferente con sorgenti sismogenetiche, ed inoltre sotto il "tiro incrociato" di possibili sollecitazioni sismiche provenienti da diverse sorgenti poste nelle vicinanze, con magnitudo all'origine comprese tra 5.5 e 6.2.

Nel sito dell'INGV è possibile consultare anche il DBMI15 Database Macrosismico Italiano 2015, il quale fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

Di seguito è riportata la tabella di sintesi rappresentante l'elenco dei terremoti ricercato per la località San Giustino, in ordine decrescente di intensità macrosismica risentita nel sito di riferimento, preceduta dalla tabella di inquadramento; a partire dall'anno 1000 d.C., risulta un numero totale di eventi pari a 31.

San Giustino	
PlaceID	IT_49546
Coordinate (lat, lon)	43.549, 12.175
Comune (ISTAT 2015)	San Giustino
Provincia	Perugia
Regione	Umbria
Numero di eventi riportati	31

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
9	1789	09	30	10			Alta Valtiberina	73	9	5.89
8	1832	01	13	13			Valle Umbra	101	10	6.43
7	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
7	1948	06	13	06	33	3	Alta Valtiberina	142	7	5.04
6	1919	10	25	13	51		Alta Valtiberina	30	6	5.03
6	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
5	1987	07	03	10	21	5	Costa Marchigiana	359	7	5.06
5	1997	10	02	19	38	0	Alta Valtiberina	55		4.42
5	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
4-5	1990	05	08	22	33	1	Alta Valtiberina	64	5	3.77
4-5	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	1998	04	03	07	26	3	Appennino umbro-marchigiano	14		5.10
4	1892	11	21				Alta Valtiberina	22	5-6	4.25
4	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
4	1889	07	09	03	54	3	Montefeltro	48	5	4.09
4	1997	10	03	08	55	2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
4	1997	10	06	23	24	5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
4	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
4	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio	107	5	4.47
F	1731	03	29				Alta Valtiberina	9	6	4.76
F	1973	04	19	17	41	3	Pietralunga	22	7	4.61
3-4	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5	4.26
3-4	1993	01	17	10	51	2	Alta Valtiberina	76	5	4.26
3-4	1993	06	05	19	16	1	Valle del Topino	326	6	4.72
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3-4	2002	02	21	14	36		Casentino	43	5	4.09
2-3	2000	08	01	02	34	3	Montefeltro	84	5-6	4.27
2	1971	02	11	18	49	2	Valle del Chiascio	71	6	4.61
NF	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1986	10	13	05	10	0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

Tabella 3.2 - DBMI15, Database Macrosismico Italiano 2015, catalogo di sito.

Come risulta dalla precedente tabella il territorio di San Giustino è stato interessato direttamente nel periodo storico da n.9 terremoti di intensità di sito $I_s \geq 5$.

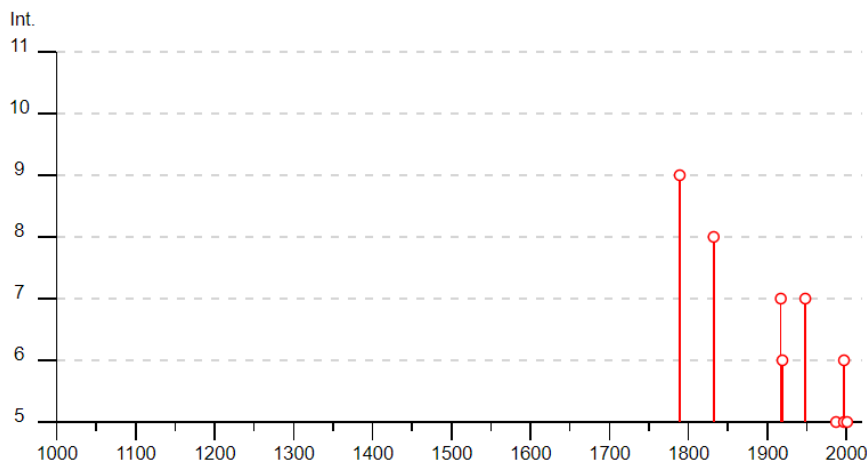


Figura 3.2 - DBMI15, Database Macrosismico Italiano 2015 per la località San Giustino: distribuzione temporale eventi con $I_s \geq 5$.

La mappa seguente localizza gli epicentri dei terremoti più vicini al sito di progetto, per lo più ricadenti in corrispondenza del sito stesso, o a breve distanza da esso.

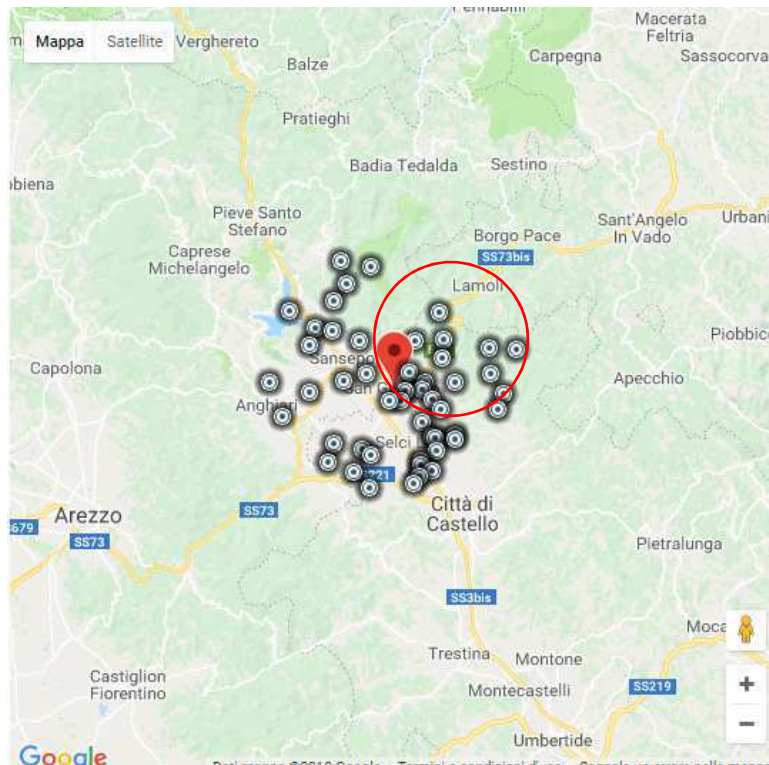


Figura 3.3 - DBMI15, Mappa degli epicentri.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio, facendo riferimento all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, e degli atti di recepimento delle Regioni, il Comune di San Giustino è classificato in Zona Sismica 2 (Figura 3.4).

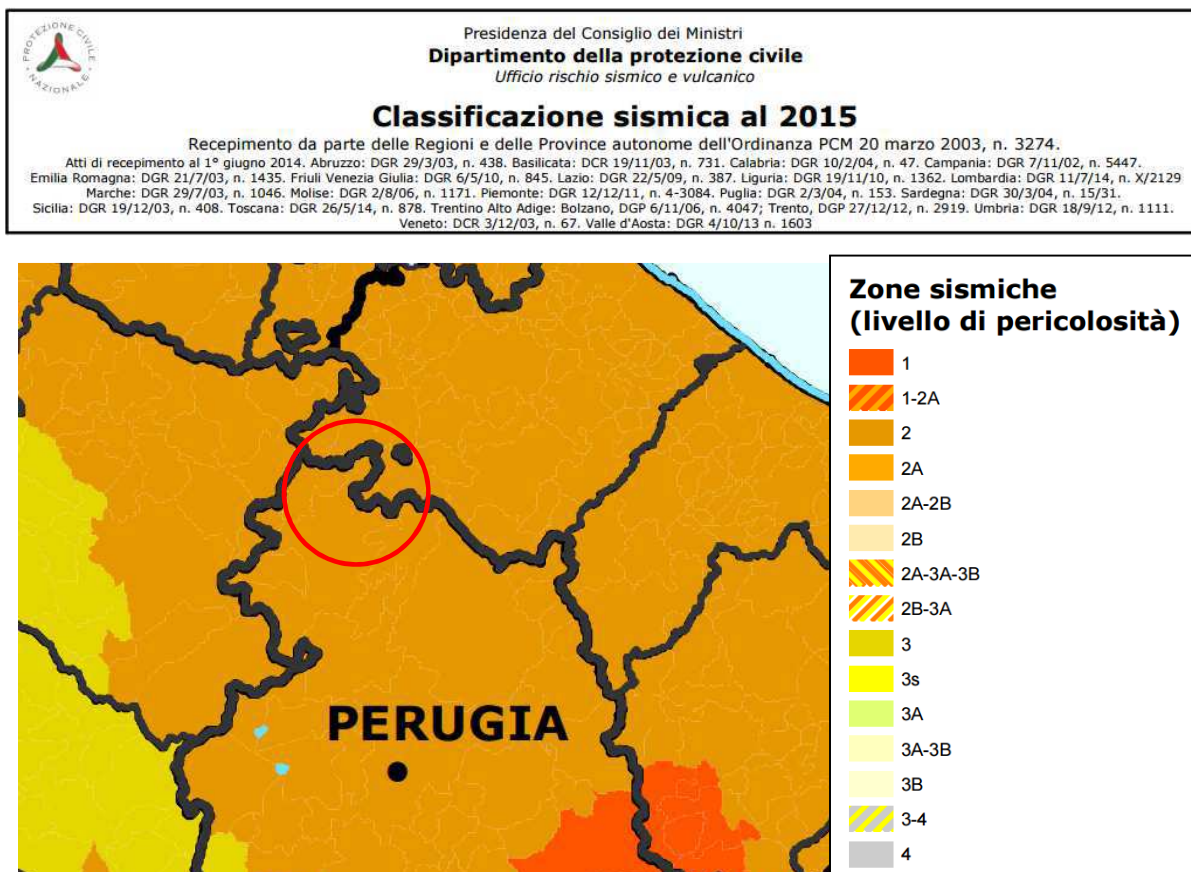


Figura 3.4 – Classificazione sismica al 2015 del Comune di San Giustino (PG) (Dipartimento della Protezione Civile).

3.3 FAGLIE "CAPACI"

L'IAEA (Agenzia internazionale per l'energia nucleare) ha, per prima, introdotto nel 1991 la definizione di "faglia capace" (*capable fault*) per indicare una faglia attiva che può generare spostamenti in superficie, rimobilizzando una superficie esistente o creando una nuova superficie di rottura. In realtà, la definizione viene estesa anche al caso in cui la deformazione avvenga in modo continuo e senza scosse avvertibili (scorrimento asismico).

A parere dello scrivente, sarebbe più aderente al reale stato delle conoscenze ed in particolare nel caso presente, parlare di "segmenti" capaci, in quanto si tratta di porzioni inserite nelle strutture sismogenetiche di cui al punto precedente (DISS).

Anche in questo caso, come per il DISS, esiste un database denominato ITHACA – (*ITaly HAZard from CAPable faults*), stavolta a cura dell'ISPRA. Esso fornisce lo stato delle conoscenze sulla distribuzione nel territorio nazionale della fagliazione attiva superficiale: informazioni relative a

queste faglie, tra cui giacitura, geometria, cinematica, terremoti associati e tasso di deformazione medio, e una cartografia di dettaglio gestita in ambiente GIS.

Le dislocazioni lungo le faglie capaci sono in grado di produrre danneggiamenti, anche rilevanti, alle strutture antropiche che le attraversano.

L'informazione sull'ubicazione e sulle caratteristiche delle faglie capaci è di grande importanza pratica per la pianificazione territoriale, che ne dovrebbe tenere adeguatamente conto; le strutture antropiche (infrastrutture, costruzioni) dovrebbero essere collocate possibilmente ad adeguata distanza da queste o essere progettate con opportuni accorgimenti tecnici.

Naturalmente, le informazioni fornite da ITHACA sono complementari a quelle fornite dal DISS trattate nel punto precedente; si tratta, in fondo, di un'articolazione del medesimo quadro sismotettonico, con un'informazione aggiuntiva, molto importante ai fini applicativi.

Rispetto alla cartografia DISS (che individua le strutture sismogenetiche), quella ITHACA ubica delle strutture lineari, che rappresentano l'andamento in superficie di segmenti di faglia; di conseguenza sono le linee di possibile rottura superficiale, e non corrispondono (se non in caso di faglie verticali) alla localizzazione dei relativi epicentri in caso di eventi sismici; si pensi, ad esempio, al massimo evento della recente sequenza sismica nel Centro-Italia, cioè la scossa di $M_w = 6.5$ del 30 ottobre 2016: l'epicentro è ubicato a circa 8 km ad ovest rispetto all'emersione in superficie della faglia, dove si sono avute le manifestazioni più notevoli degli spostamenti.

La figura seguente è tratta dalla cartografia di ITHACA ed inquadra l'area in cui si inserisce il progetto (individuato dalla linea gialla e dai cerchi gialli).

Si nota che il progetto, fortunatamente, non interferisce con alcuna delle faglie attive capaci ad oggi individuate, essendo la più vicina situata ad almeno 6 km più a sud-ovest.

Pertanto, la fattibilità non è a rischio, nel senso che non deve prevedere la possibilità di dover sopportare dislocazioni dovute a scorrimenti sismici, ma "solo" le sollecitazioni dovute alla propagazione delle onde sismiche generate altrove e in profondità.

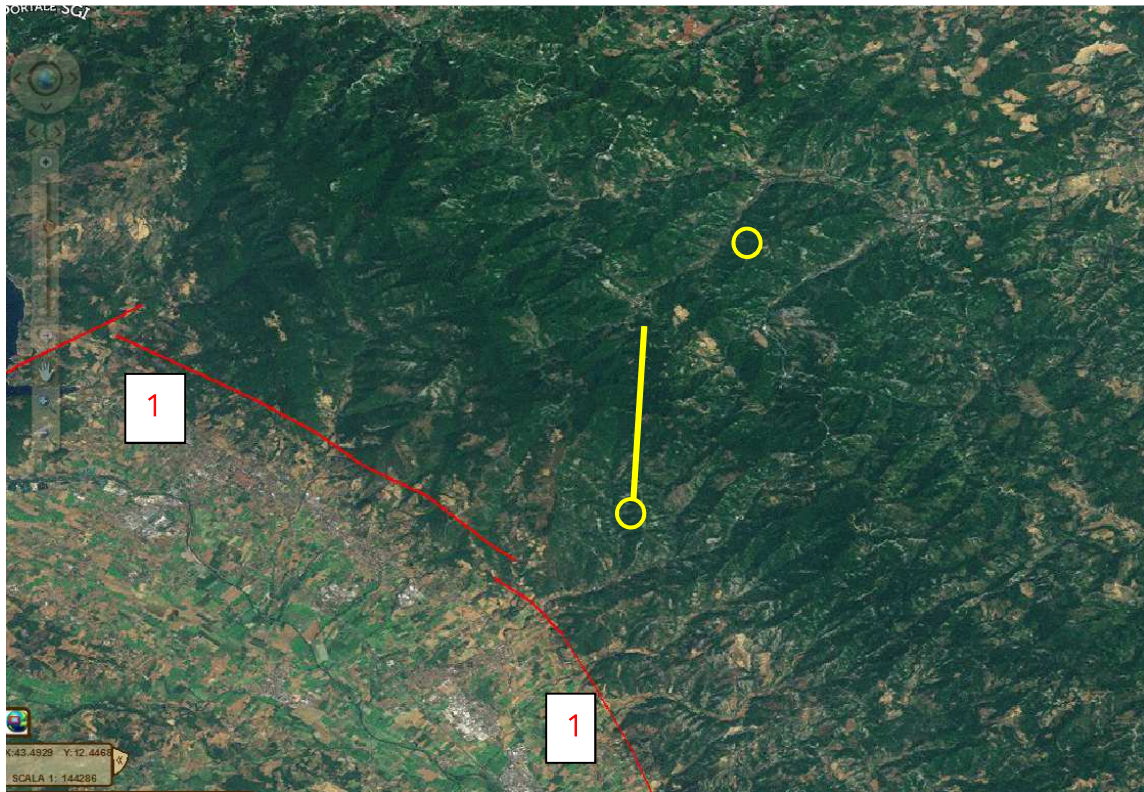


Figura 3.5 - Stralcio cartografico Progetto ITHACA con indicazione delle faglie capaci (fonte ISPRA-SGI). 1: Upper Tiber Valley (sistema di faglie dirette).

4. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC2018, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La “pericolosità sismica di base” è definita convenzionalmente su sito di riferimento rigido ed affiorante (sottosuolo tipo A), con superficie topografica orizzontale (categoria topografica T1) ed in condizioni *free field* di campo libero (cioè in assenza di manufatti).

Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” P_{V_R} nel “periodo di riferimento” V_R , si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima a_g (su sito di tipo A, categoria topografica T1, condizioni *free field*) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze “fondamentali”, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica P_{V_R} :

- a_g , accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 , 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 pericolosità di base viene successivamente modificata tramite la definizione della categoria di sottosuolo e categoria topografica, alle quali vengono associati dei parametri che modificano lo spettro di risposta in accelerazione del moto sismico su sito di riferimento rigido. In tal modo viene ottenuto lo spettro di risposta elastico $S_e(T)$ in funzione delle condizioni di sito.

Nella progettazione strutturale, poi, dagli spettri di risposta vengono ricavati gli spettri di progetto $S_d(T)$, che forniscono l'effettiva entità delle azioni sismiche di progetto agenti sulla struttura.

Ai fini della verifica delle strutture con analisi lineari (“dinamica” o “analisi modale”, “statica” o “metodo delle forze laterali”), lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico $S_e(T)$ con le ordinate ridotte dal fattore di struttura q .

Nell'ambito del presente elaborato vengono definiti gli spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazioni $S_e(T)$ relativi alla pericolosità sismica di base e quelli modificati in funzione delle condizioni di sito, rimandando alla consultazione delle relazioni di calcolo strutturali e

geotecnico allegato al progetto per la definizione degli spettri di progetto $S_d(T)$ e delle azioni sismiche di progetto direttamente agenti sulle opere.

4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La definizione della “pericolosità sismica di base” è avvenuta utilizzando il foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Di seguito si riportano i principali step che hanno portato alla definizione “pericolosità sismica di base”.

I parametri di ingresso utili alla determinazione delle azioni sismiche, oltre alle coordinate di riferimento del sito, sono:

- vita nominale V_N 50 anni
- classe d'uso IV C_U 1.5

1. Individuazione delle coordinate del sito in gradi sessadecimali e nel sistema di riferimento ED50.

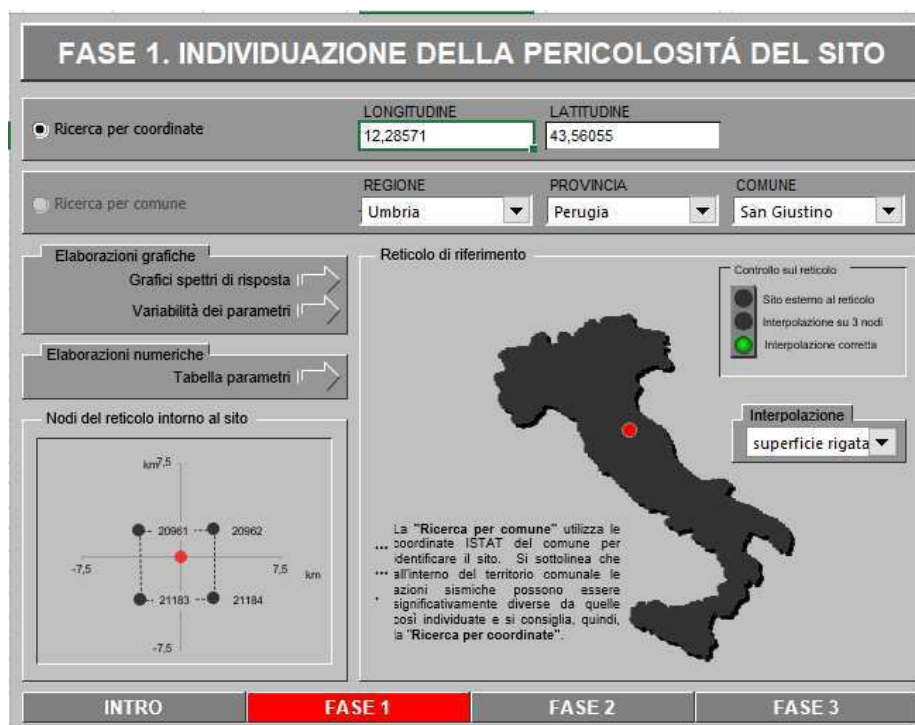


Figura 4.1 - Spettri-NTCver.1.0.3: individuazione della pericolosità del sito.

La scelta delle coordinate determina i parametri fondamentali a_g , F_0 , T_C^* , definiti convenzionalmente in corrispondenza di 9 valori del tempo di ritorno del sisma T_R , ed i relativi spettri di risposta elastici.

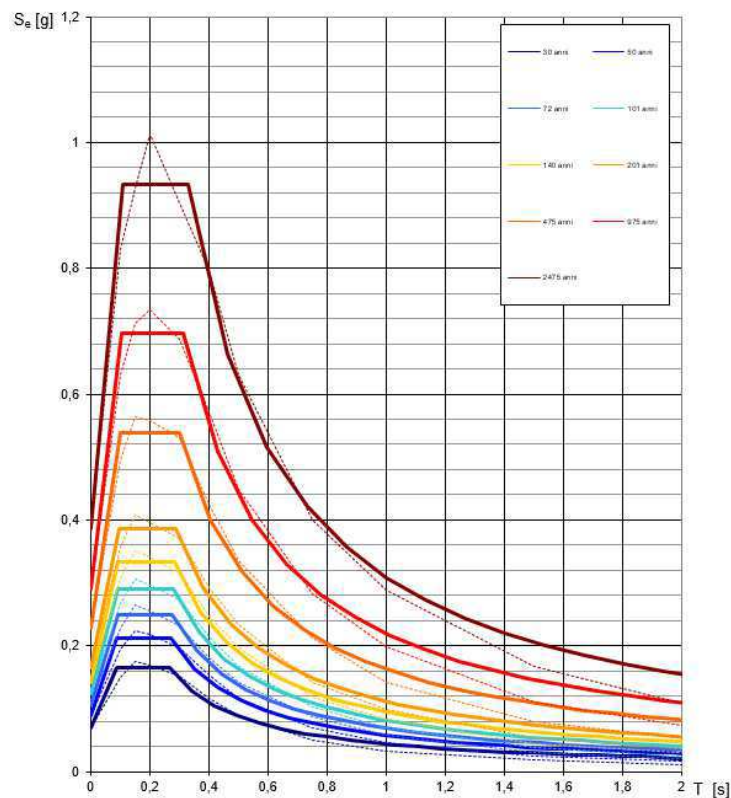
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,069	2,403	0,267
50	0,090	2,363	0,272
72	0,107	2,335	0,276
101	0,124	2,335	0,281
140	0,143	2,339	0,284
201	0,165	2,344	0,289
475	0,227	2,367	0,303
975	0,290	2,399	0,315
2475	0,387	2,412	0,331

Tabella 4.1 - Valori dei parametri fondamentali per i T_R di riferimento convenzionali.

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
 Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 4.2 – Spettri di risposta elastici per i T_R di riferimento convenzionali.

- Identificazione della Vita nominale (V_N), in funzione del tipo di costruzione, e del Coefficiente d'uso (C_U), stabilito in funzione della Classe d'uso, definita in relazione all'affollamento, alla funzione pubblica, alla pericolosità ambientale, ecc.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info
 Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Figura 4.3 – Vita nominale e coefficiente d'uso.

3. Identificazione della Vita di riferimento: $V_R = V_N \cdot C_U$. La strategia di progettazione $V_R = 75$ anni risulta in un set composto dai 4 stati limite sismici definiti dalla normativa, SLO, SLD, SLV, SLC, per ciascuno dei quali vengono forniti i parametri fondamentali a_g , F_0 , T_C^* .



Figura 4.4 – Tempi di ritorno.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,085	2,371	0,271
SLD	75	0,109	2,335	0,277
SLV	712	0,261	2,385	0,310
SLC	1462	0,329	2,405	0,322

Tabella 4.2 - Parametri sismici di riferimento.

Di seguito si riportano i relativi spettri di risposta elastici.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

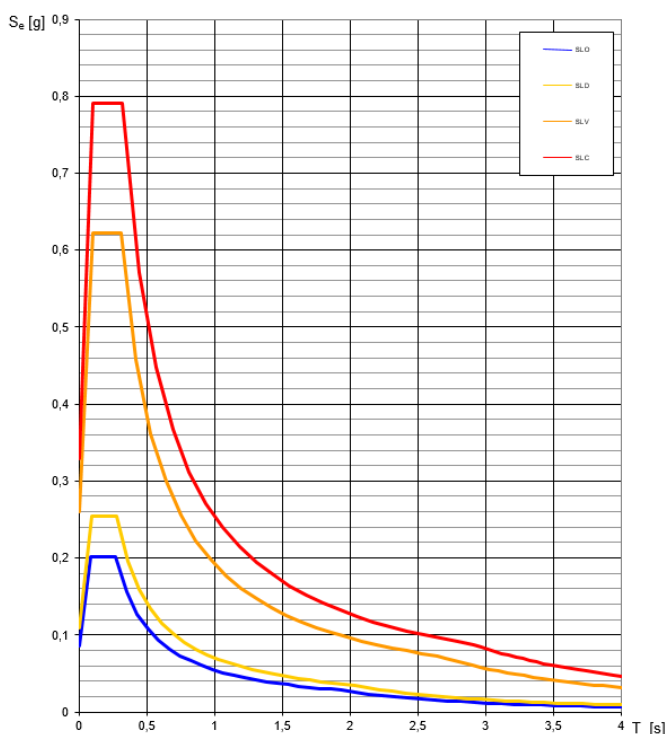


Figura 4.5 – Spettri di risposta elastici $V_N=50$ anni, $C_U=1.5$ (pericolosità sismica di base).

In particolare, il sisma relativo allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, con periodo di ritorno $T_R=712$ anni, risulta il più intenso terremoto di progetto per il sito di analisi.

Per esso risulta un'accelerazione al bedrock a_g pari a 0.261g.

4.2 EFFETTI DI SITO

Le NTC2018 prevedono che l'azione sismica di base, definita su suolo rigido e superficie topografica orizzontale, sia opportunamente modificata per tener conto delle caratteristiche lito-stratigrafiche e topografiche del sito in esame (**effetti di sito**).

Circa gli **effetti stratigrafici**, in assenza di analisi specifiche, la norma fa riferimento ad un approccio semplificato, basato su categorie di sottosuolo di riferimento.

È possibile utilizzare l'approccio semplificato qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 di NTC2018 (cfr. Tabella 4.3 di pag.17). La sussistenza delle condizioni di applicabilità dell'approccio semplificato verrà verificata a valle della presentazione delle indagini geofisiche (cfr. §5.2)

La classificazione si effettua in via preferenziale in base ai valori della velocità equivalente $V_{S,eq}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30.0 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è da riferirsi al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

La $V_{S,eq}$ è definita dalla seguente formula:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

in cui H è la profondità del bedrock sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido e caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s, h_i e $V_{S,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato i -esimo, ed N il numero di strati compresi entro la profondità H .

Le NTC2018 prevedono cinque categorie di sottosuolo aventi caratteristiche meccaniche progressivamente più scadenti passando dalla categoria A alla categoria E, come riportato in Tabella 4.3.

Per sottosuoli non riconducibili alle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica per la definizione dell'azione sismica.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Anmassi 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>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.</i>
D	<i>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.</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>

Tabella 4.3 – NTC 2018: categorie del sottosuolo (Tabella 3.2.II).

A ogni categoria di sottosuolo NTC2018 associa un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica. Viene inoltre definito un

coefficiente C_C , che serve per il calcolo del periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione.

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 4.4 - NTC 2018: espressioni di S_S e di C_C (Tabella 3.2.IV).

Nel presente progetto, potendo disporre di indagini sismiche, l'identificazione della categoria di sottosuolo viene effettuata sulla base dei valori della velocità equivalente $V_{eq,30}$.

Sulla base delle risultanze delle prospezioni sismiche (cfr. §5), in definitiva, **si è attribuita una categoria stratigrafica di tipo B.**

Per quanto concerne gli **effetti amplificativi di natura topografica**, per configurazioni superficiali semplici, le NTC 2018 permettono anche in tal caso di utilizzare un approccio semplificato.

Esso prevede l'esistenza di quattro categorie topografiche, a ciascuna delle quali viene associato un valore specifico del coefficiente di amplificazione topografica S_T che moltiplica l'azione sismica di riferimento. Per tener conto delle condizioni topografiche, in funzione delle categorie topografiche definite in Tabella 4.5, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in Tabella 4.6.

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 $i > 30^\circ$

Tabella 4.5 - NTC 2008: Categorie topografiche (Tabella 3.2.III).

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 4.6 – NTC 2008: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tabella 3.2.V).

Tenuto conto della morfologia del sito, l'area di progetto rientra nella categoria topografica "T2", cui compete il valore del coefficiente topografico " $S_T=1,2$ ".

La categoria di sottosuolo e la categoria topografica e relativi coefficienti, definiti come sopra, vengono utilizzate nei calcoli per la valutazione dell'azione sismica di progetto, secondo quanto previsto al §3.2.3 dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018).

Di seguito si riportano i relativi spettri di risposta elastici in pseudo-accelerazione.

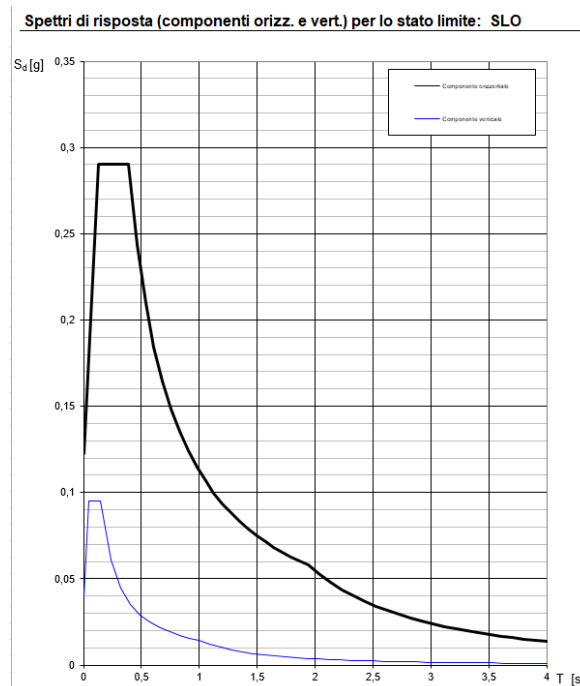


Figura 4.6 – Spettri di risposta elastici, SLO, nominale $V_N=50$ anni, $C_U=1.5$.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD

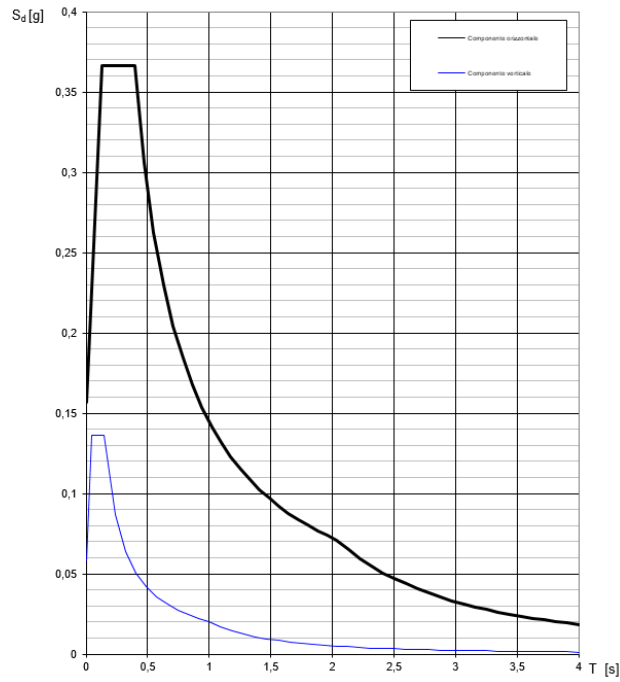


Figura 4.7 – Spettri di risposta elastici, SLD, nominale $V_N=50$ anni, $C_U=1.5$.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

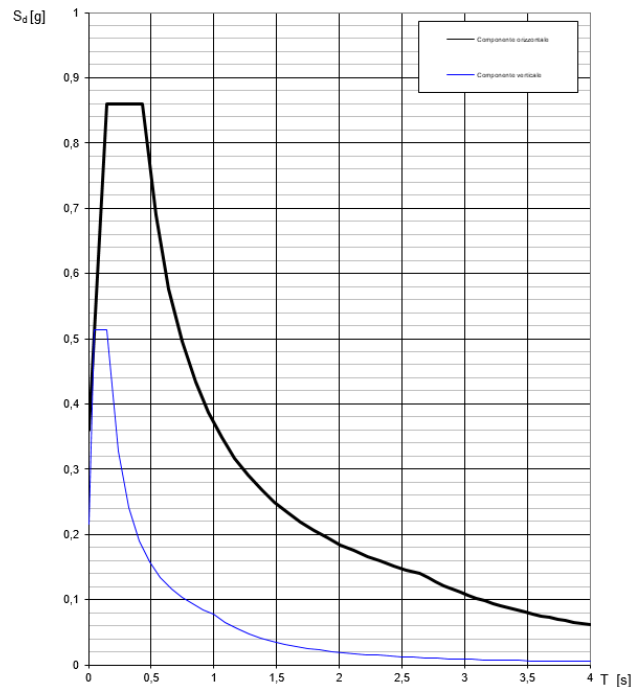


Figura 4.8 – Spettri di risposta elastici, SLV, nominale $V_N=50$ anni, $C_U=1.5$.

4.3 DISAGGREGAZIONE SISMICA

Al fine di individuare gli intervalli di magnitudo e distanza dominanti per la pericolosità sismica, è stata condotta un'analisi di disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999).

L'analisi di disaggregazione è stata effettuata in corrispondenza di un nodo, contiguo al sito di progetto, della griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV, 2004).

I dati di disaggregazione sono desumibili dalla pagina del sito dell'INGV di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, dedicata alla pericolosità sismica di base (al bedrock rigido e orizzontale) nazionale, nel quale sono stati disaggregati tutti i valori mediani di scuotimento, espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco a_g su suolo di riferimento rigido affiorante di categoria A, corrispondenti a 9 periodi di ritorno (T_R): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni, su griglia di calcolo con passo pari a 0.5° in latitudine e longitudine.

In relazione al sito di progetto, è stata selezionata una probabilità di accadimento in 50 anni del 5%, che costituisce il valore corrispondente al tempo di ritorno T_R più vicino a quello di progetto $T_R = 712$ anni per lo SLV.

Infatti, la probabilità di accadimento in 50 anni può essere stimata come:

$$P_{VR} = 1 - e^{-50/T_R} .$$

Dunque, la probabilità di eccedenza P_{VR} in 50 anni di un evento sismico con associato periodo di ritorno di $T_R = 712$ anni è pari a:

$$P_{VR} = 1 - e^{-50/712} = 0.068 .$$

Per le valutazioni in oggetto, quindi, dato che sono state elaborate mappe di pericolosità sismica con probabilità di superamento in 50 anni pari al 5% (corrispondente al periodo di ritorno 975 anni), cautelativamente si presentano i dati per un sisma con $T_R = 975$.

I risultati dell'analisi di disaggregazione in termini di magnitudo e distanza ($M - R$) sono riportati in Figura 4.9 e Tabella 4.7.

Essi esprimono, per il sito di progetto e per la prefissata probabilità di eccedenza, tutte le combinazioni tra 11 valori di magnitudo M e 20 valori di distanza R , e permettono di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M .

In fondo alla tabella vengono anche forniti i valori medi di magnitudo e distanza. In accordo con la mappa di deagggregazione sismica, per il sito di progetto sono attesi eventi sismici di magnitudo media $M = 5.3$ e distanza epicentrale media pari a $R = 5.7km$.

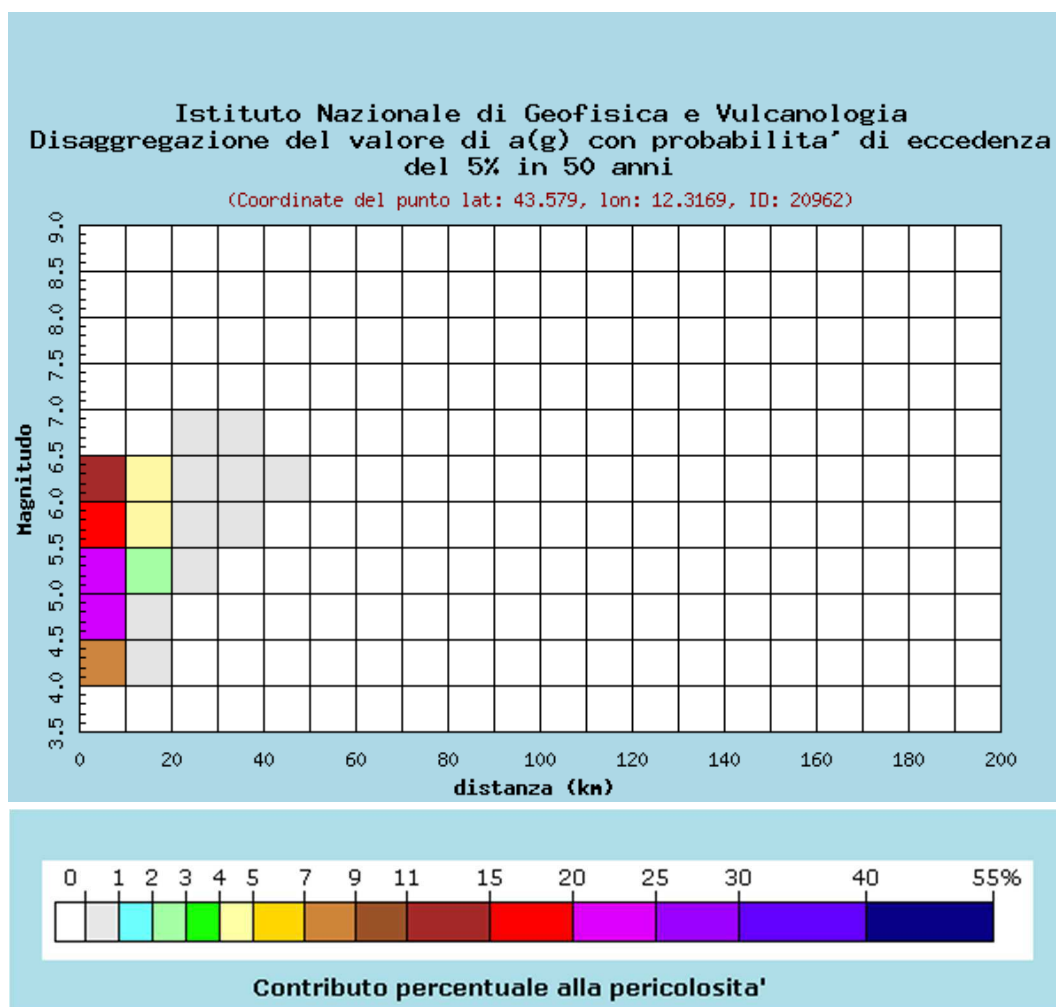


Figura 4.9 – Grafico di deagggregazione magnitudo–distanza.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.579, lon: 12.3169, ID: 20962)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	8.400	24.100	24.000	19.400	11.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.008	0.552	2.400	4.460	4.360	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.008	0.317	0.780	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.065	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.330	5.660	1.220

Tabella 4.7 - Distribuzioni M-R per periodo di ritorno $T_R=975$ anni
 (probabilità di eccedenza del 5% in 50anni).

In base ai dati di disaggregazione possono ritenersi rappresentativi della sismicità del sito i seguenti intervalli di magnitudo e distanza:

- $M = [4.0,6.5]$;
- $R = [0,20km]$.

5. INDAGINI GEOFISICHE

5.1 TIPO DI INDAGINI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prove sismiche sono state predisposte con i seguenti obiettivi:

1. come strumento diagnostico di ricostruzione stratigrafica delle geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) in un assegnato volume di controllo;
2. al fine di definire la classificazione sismica del sottosuolo per il calcolo dell'azione sismica di riferimento;
3. al fine di definire i parametri di rigidezza nel sottosuolo.

Nell'ambito del presente elaborato, si riferisce unicamente rispetto all'obiettivo di cui al punto 2.

Si dispone di n.1 indagine in foro di tipo Down Hole, di n.6 stendimenti geofisici con tecnica a rifrazione e di n.1 indagine MASW.

L'indagine **Down Hole**, eseguita nel marzo 2011, è stata realizzata condizionando il sondaggio S21, terebrato in prossimità del piazzale antistante l'imbocco lato Umbria della galleria Guinza.

Nelle seguenti immagini vengono riportate le informazioni salienti della prova S21_DH.

La Figura 5.3, in particolare, evidenzia una successione litologica integralmente costituita dalla formazione marnoso-arenacea.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

DESCRIZIONE : Chiusino In ferro su area privata

CAPOSALDO DI RIFERIMENTO : Vertice Inquadramento V06,1 presso vocabolo Galliano

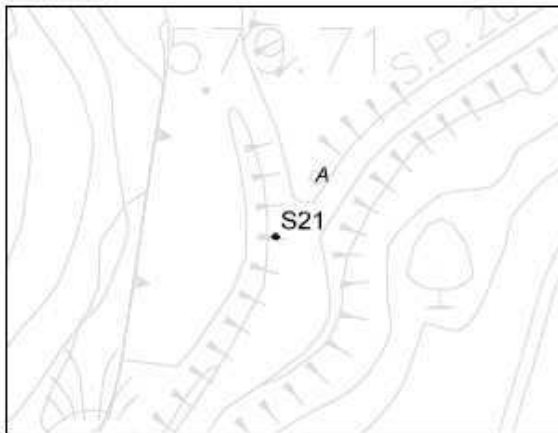
COORDINATE WGS84
 Lat. = 43°33'32.29726" - Long. = 12°17'05.27628" - Qell. = 620,72
 COORDINATE GAUSS - BOAGA
 N = 4826487,68 - E = 2300706,03 - Qort. = 575,80

RIFERIMENTI PLANIMETRICI

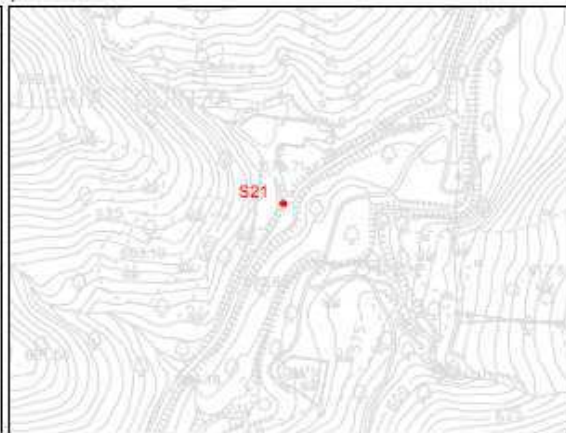
A = 11.30

B = -

ubicazione:



planimetria:



fotografia:



Figura 5.1 – Ubicazione indagine sismica S21DH.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica


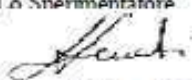

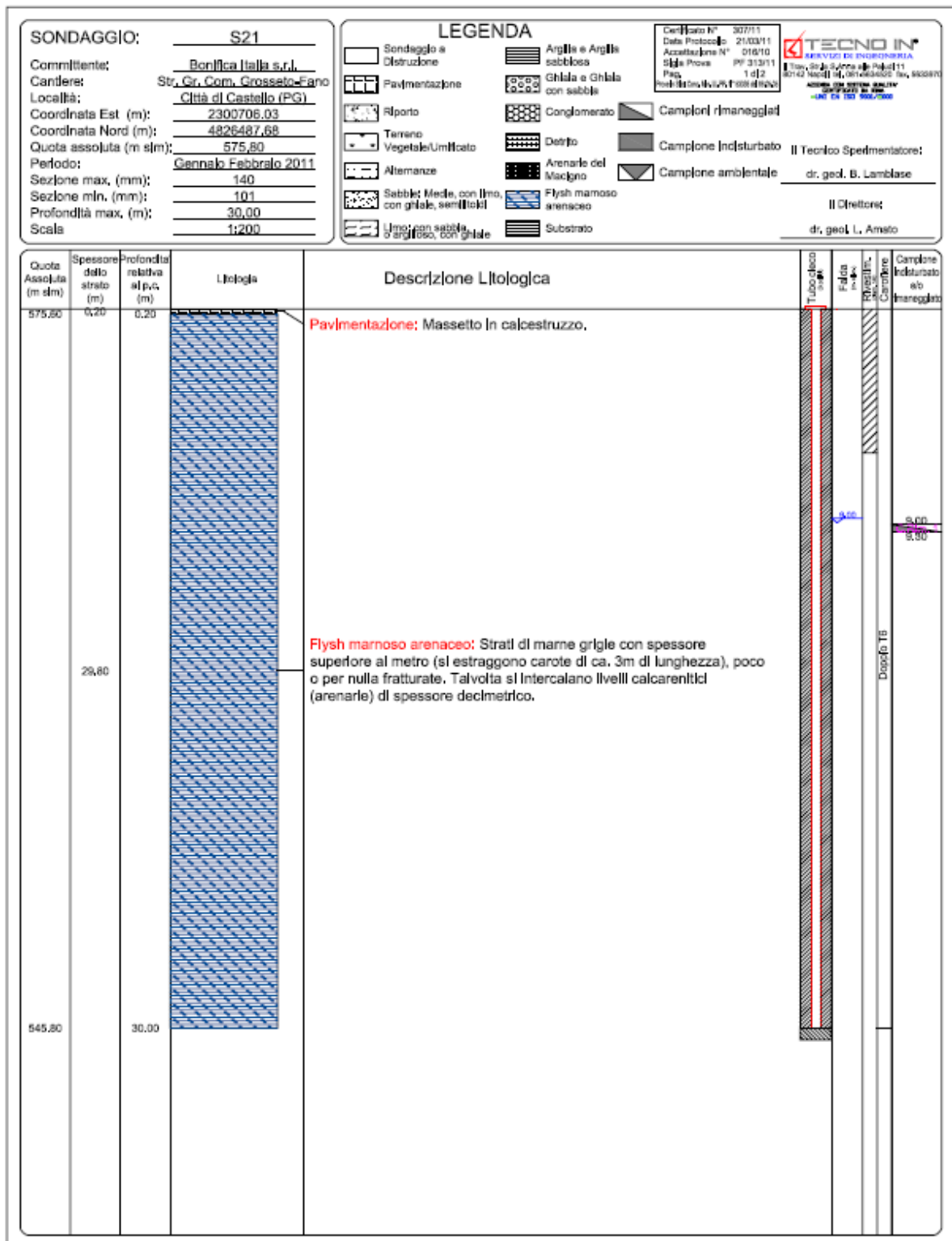
 PROVE IN SITO CONC. MIN. N°53363 DEL 06.05.05 CERTIFICATO STRATIGRAFICO				
N° certificato		307 /11	Pagina 2 di 2	
Data certificato		21/03/11	Reg. Com. 266/10	
N° accettazione		16 /11	Sigla PINS pf 313 /10	
Cantiere: S.G.C. Grosseto - Fano - tratto: Le Ville - Parnacciano				
Tipo di sonda:		Beretta T44	Sondatore: Biondi	
Sigla sondaggio:		S21	da m	a m
Tipo di perforazione:		carotaggio	0,00	30,00
		distruzione		
Rivestimento	tipo	diam. (mm)	da m	a m
		127	0,00	6,00
Carotiere	tipo	diam. (mm)	da m	a m
	semplice			
	T6	101	0,00	30,00
Campioni	tipo	numero	data	campionatore
	indisturbato			
	rimaneggiato	1	16/01/2011	
	rimaneggiato da SPT			
Tubo cieco per DH		diametro	T. cieco (m)	T. filtro (m)
		3"	30,00	
		Miscela cementizia (m)	Compactonite (m)	Dreno (m)
		30,00		
Piezometro	Casagrande	prof. cella 1	prof. cella 2	prof. cella 3
Il Sperimentatore		Il Direttore		
				
Il trav. str. la S. Anna alle Paludi 11, 80142 Napoli. Tel.: 081.5634520, fax: 081.5633970 003.PINS.RP.STRAT				
				Rev. 002

Figura 5.2 – Dati tecnici sondaggio S21.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica



SONDAGGIO: S21
 Committente: Bonifica Italia s.r.l.
 Cantiere: Str. Cir. Com. Grosseto-Fano
 Località: Città di Castello (PG)
 Coordinata Est (m): 2300706.03
 Coordinata Nord (m): 4826487.68
 Quota assoluta (m slm): 575.80
 Periodo: Gennaio-Febbraio 2011
 Sezione max. (mm): 140
 Sezione min. (mm): 101
 Profondità max. (m): 30.00
 Scala: 1:200

LEGENDA

	Sondaggio a distruzione		Argille e Argille sabbiose		Campione rimaneggiato
	Pavimentazione		Ghiale e Ghiale con sabbia		Campione Indisturbato
	Rilporto		Conglomerato		Campione ambientale
	Terreno Vegetale/Umicato		Detrito		
	Alternanze		Arenarie del Macigno		
	Sabbie: Medie, con limo, con ghiale, semititoli		Flysh marnoso arenaceo		
	Limo: con sabbia, o argilloso, con ghiale		Substrato		

Certificato N° 307711
 Data Protocollo 21/03/11
 Accettazione N° 016/10
 Sigla Prova PF 313/11
 Pag. 1 di 2
 Mod. 14 (Rev. 1/09) F. 008 (1/09)

TECNO IN
 SERVIZI DI INGENNERIA
 Via, Strada, Loc. S. Maria del Poggio 11
 00142 Roma, Italia - Tel. 06/4980555 - Fax 06/4980556
 e-mail: info@tecnoin.it - www.tecnoin.it

Il Tecnico Spedimentatore:
 dr. geol. B. Lambiase

Il Direttore:
 dr. geol. L. Amato

Note: Allegato 2

Reg. Comessa: 266/10

Figura 5.3 – Modulo stratigrafico sondaggio S21.

Gli stendimenti di **sismica a rifrazione** sono stati eseguiti con misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p) e di taglio polarizzate orizzontalmente (V_{SH}).

La Tabella 5.1 fornisce un quadro riassuntivo delle prospezioni a rifrazione.

ID	DESCRIZIONE	LUNGHEZZA TOT. STENDIMENTO
REF_R1_MONTE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R1_VALLE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R2_P	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 3,50 m	84 m
REF_R2_S	Prospezione sismica a rifrazione in onde S per distanza intergeofonica di 3,50 m	84 m
REF_R3_MONTE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R3_VALLE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m

Tabella 5.1 – Prospezioni sismiche a rifrazione.

Dal punto di vista geotecnico, le misure della velocità di propagazione delle onde longitudinali V_p hanno scarso contenuto informativo.

La velocità V_p delle onde compressionali, infatti, diversamente da quella delle onde trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Come noto, infatti, le onde P dipendono dalla rigidità volumetrica della fase liquida K_w . In presenza di terreni saturi, il termine K_w risulta di vari ordini di grandezza più grande delle proprietà elastiche dello scheletro solido, cosicché V_p risulta prevalentemente controllata dalla rigidità volumetrica del fluido interstiziale, che ne "falsa" i valori, omogenizzandoli, e non consentendo un accurato discernimento degli strati.

Ne consegue che in terreni coesivi parzialmente saturi come quelli di interesse (non è stata ricostruita la presenza di una superficie piezometrica lateralmente continua, ma non è da escludersi la presenza di zone di saturazione locale), i dati sismici in onde P sono scarsamente attendibili ai fini geotecnici, e se ne omette, dunque, l'analisi di dettaglio.

Inoltre, sempre per le stesse ragioni, un terreno saturo in condizioni non drenate non si deforma volumetricamente, mentre ammette deformazioni di tipo distorsionale. Si comprende,

quindi, che un evento sismico produce deformazioni volumetriche, associate alle onde P, irrilevanti rispetto a quelle di taglio distorsionali, indotte dalle onde S.

Per tale motivo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un evento sismico all'analisi degli effetti prodotti da onde S.

Adducendo le medesime argomentazioni, le onde S rappresentano per le NTC la componente di moto più significativa ai fini delle verifiche sismiche.

Per quanto sopra riportato, rispetto a tutte le basi a rifrazione eseguite, si prendono in considerazione i soli risultati della prospezione REF_R2_S, l'unica per cui è avvenuta l'acquisizione in onde S (cfr. rettangolo rosso in Tabella 5.1).

Lo stendimento in parola, eseguito nel maggio 2018, è anch'esso ubicato sul piazzale prospiciente l'imbocco lato Parnacciano della galleria Guinza.

Le seguenti immagini riportano i dettagli di acquisizione e di elaborazione geofisica della prova.

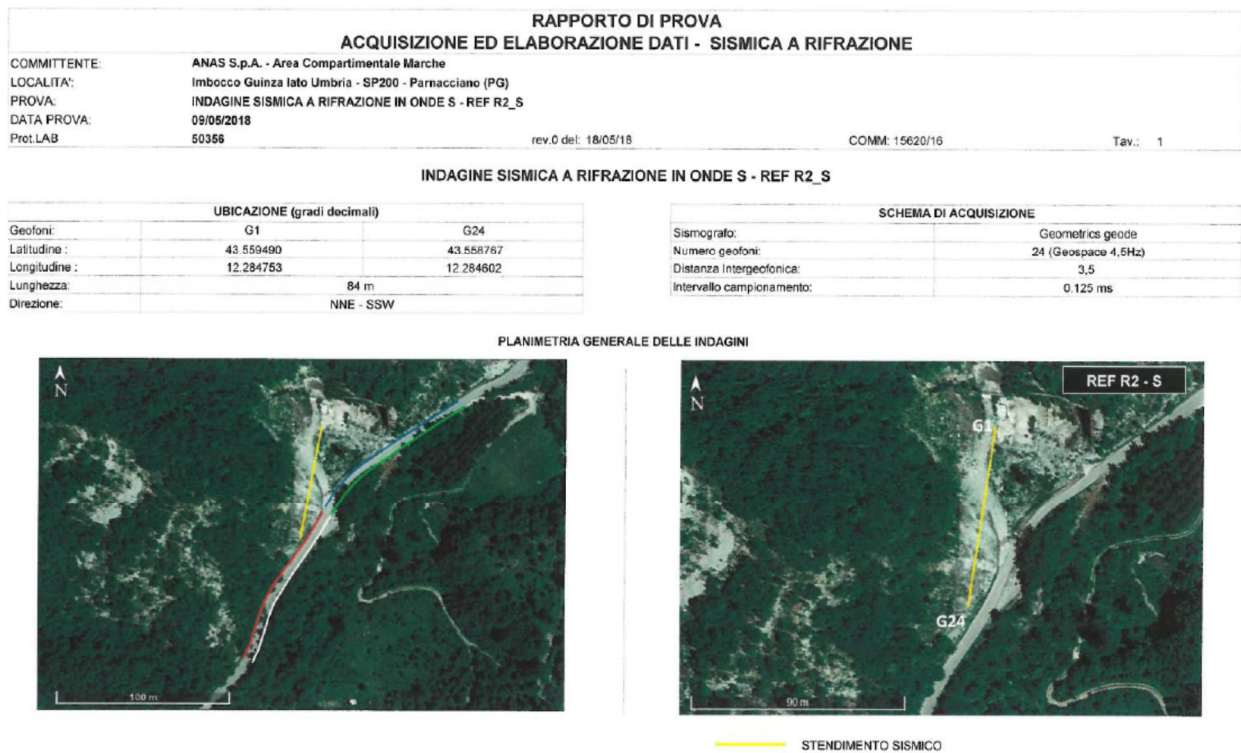


Figura 5.4 - Prospezione a rifrazione REF_R2_S: ubicazione e dettagli di acquisizione.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

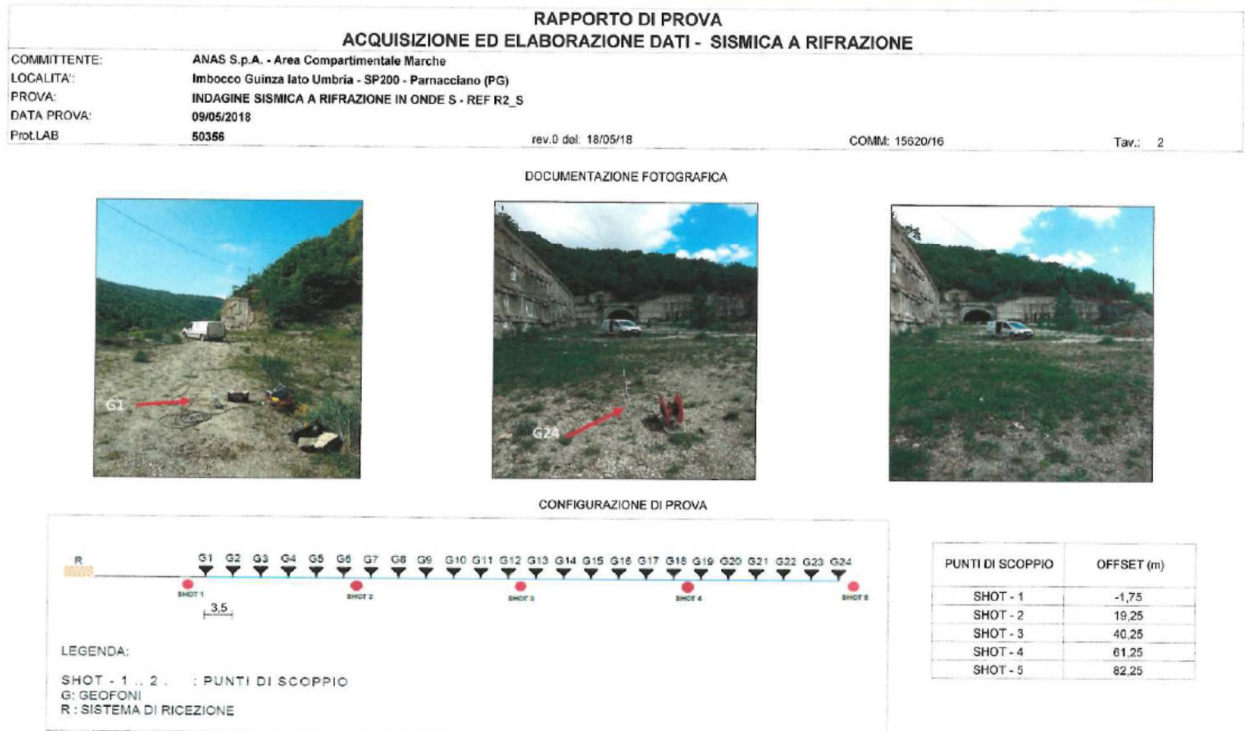


Figura 5.5 - Prospezione a rifrazione REF_R2_S: configurazione di prova.

L'indagine M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), sempre eseguita nel maggio 2018, è stata finalizzata alla ricostruzione del modello sismico monodimensionale del sottosuolo tramite la misura della velocità V_R delle onde superficiali di Rayleigh.

L'indagine M.A.S.W. è stata effettuata in prossimità del centro abitato di Mercatello sul Metauro, realizzando uno stendimento lineare di 72 m di lunghezza con 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 3 m.

Anche per la M.A.S.W. di seguito vengono illustrate ubicazione e configurazione di acquisizione.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

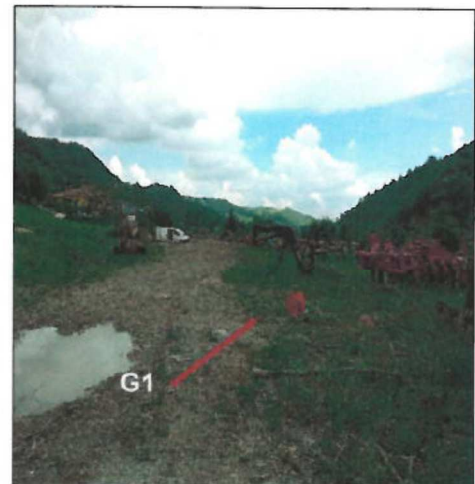
PROVA MASW - Mercatello sul Metauro - SP200

POSIZIONE PUNTO DI SCOPPIO (Gradi decimali)

	G1	G24
Latitudine :	43.636834	43.63637
Longitudine :	12.319613	12.319013
Lunghezza :	69 m	
Direzione :	NE - SW	

SCHEMA DI ACQUISIZIONE

Sismografo:	Geometrics geode
N° geofoni:	24(Geospace 4,5Hz)
Distanza Intergeofonica:	3 m
Offset:	10 m
Intervallo campionamento:	0.125 ms



— Stendimento Sismico Masw



Figura 5.6 - M.A.S.W. Mercatello: ubicazione e dettagli di acquisizione.

PROVA MASW T.TIEPIDO - SS12

SPECIFICHE DI ELABORAZIONE

Software Acquisizione:	Seismodule Controller
Software Elaborazione:	Easy MASW
Sismogrammi Acquisiti:	9

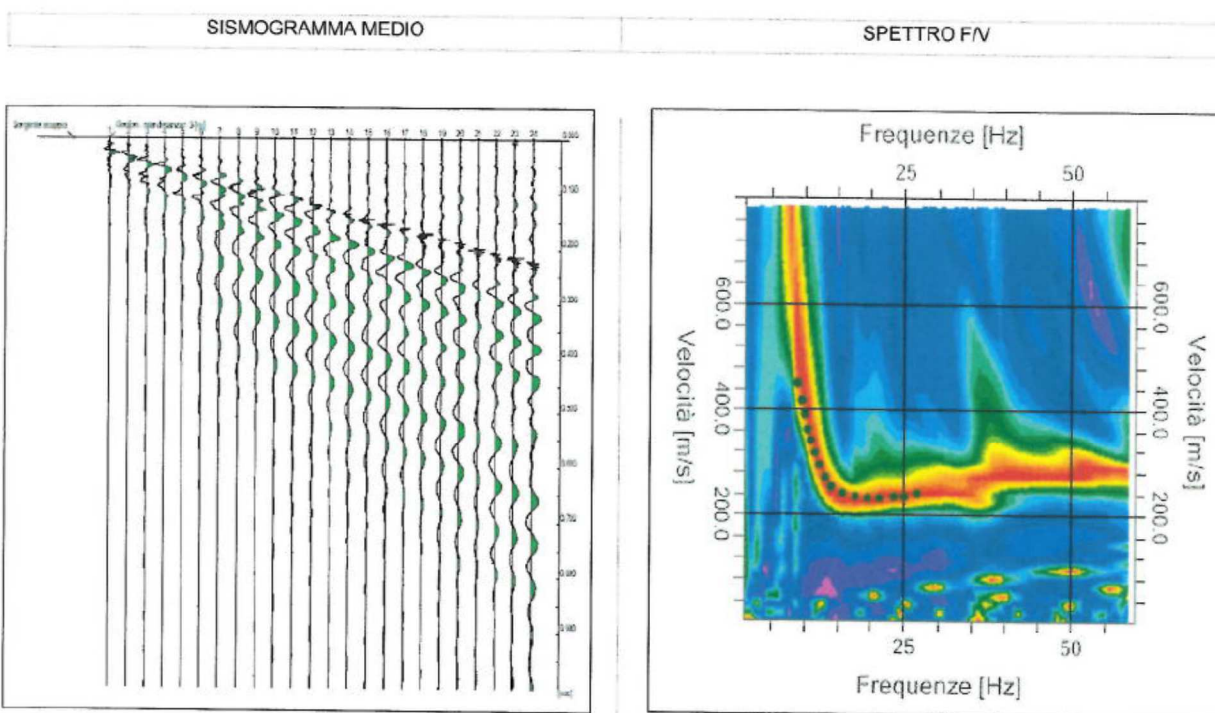


Figura 5.7 - M.A.S.W. Mercatello: configurazione di prova.

5.2 ELABORAZIONE

In Tabella 5.2 sono riportati i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente (V_{SH}). Nella seconda colonna viene fornita l'interpretazione stratigrafica, riferendosi alle unità geotecniche individuate nella Relazione Geotecnica:

- Substrato marnoso-arenaceo (TERRENO MA);
- Detrito di versante (TERRENO DT).

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Sismica

S21DH

Strato		prof.strato [m]			Vs [m/s]
		da [m]	a [m]	media [m]	
1	MA	0	1	0,5	97
2	MA	1	2	1,5	174
3	MA	2	3	2,5	229
4	MA	3	4	3,5	255
5	MA	4	5	4,5	307
6	MA	5	6	5,5	349
7	MA	6	7	6,5	365
8	MA	7	8	7,5	401
9	MA	8	9	8,5	436
10	MA	9	10	9,5	478
11	MA	10	11	10,5	524
12	MA	11	12	11,5	569
13	MA	12	13	12,5	599
14	MA	13	14	13,5	629
15	MA	14	15	14,5	649
16	MA	15	16	15,5	668
17	MA	16	17	16,5	702
18	MA	17	18	17,5	721
19	MA	18	19	18,5	758
20	MA	19	20	19,5	777
21	MA	20	21	20,5	809
22	MA	21	22	21,5	843
23	MA	22	23	22,5	870
24	MA	23	24	23,5	904
25	MA	24	25	24,5	935
26	MA	25	26	25,5	961
27	MA	26	27	26,5	994
28	MA	27	28	27,5	1024
29	MA	28	29	28,5	1066
30	MA	29	30	29,5	1109
$V_{s,eq}$					363

**MASW
MERCATELLO**

Strato		prof.strato [m]			Vs [m/s]
		da [m]	a [m]	media [m]	
1	DT	0,0	3,9	2,0	247
2	DT	3,9	8,5	6,2	247
3	MA	8,5	15,4	11,9	487
4	MA	15,4	23,2	19,3	550
5	MA	23,2	31,7	27,5	585
6	MA	31,7	35,0	33,4	781
$V_{s,eq}$					388

Tabella 5.2 – Prove sismiche: elaborazione dati.

In Figura 5.8 vengono graficati i profili di velocità in onde S restituiti dalla prova DH e dalla M.A.S.W..

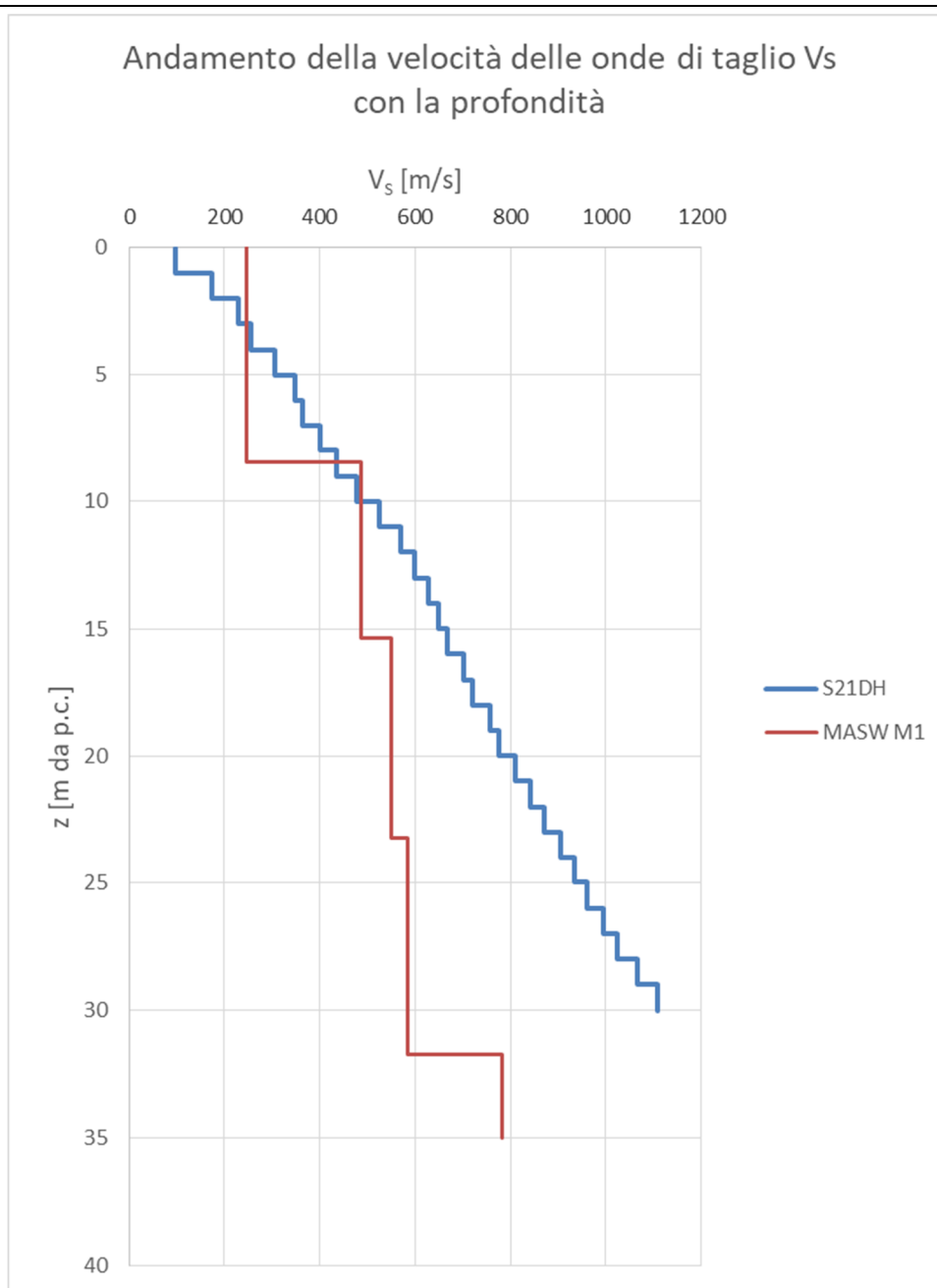


Figura 5.8 - Down Hole: andamento della velocità delle onde longitudinali V_p e delle onde di taglio V_s con la profondità.

L'analisi del profilo DH, in accordo con la colonna stratigrafica del sondaggio S21, mostra un unico sismostrato correlabile con la formazione marnoso-arenacea, caratterizzato da velocità gradualmente crescenti con la profondità.

Il bedrock sismico, inteso come strato caratterizzato da velocità $V_s \geq 800$ m/s, è collocabile ad una profondità di ca 20.0m.

Riguardo la M.A.S.W., sono stati riconosciuti n.3 orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

La prova evidenzia una copertura “lenta” ($V_s = 247$ m/sec, spessore 8,5m), attribuibile ai detriti di versante DT; in successione verticale, fino a 32m ca di profondità, è identificabile un orizzonte sismico caratterizzato da velocità $V_s = 500\div 600$ m/s, correlabile alla formazione marnoso-arenacea. A profondità superiori, si nota un cambiamento di velocità delle onde di taglio ($V_s = 780$ m/s), indice della presenza di un ammasso debolmente fessurato o caratterizzato dalla prevalenza della facies arenacea. Tale velocità viene pressoché mantenuta sino alle massime profondità indagate (35m da p.c.).

La tabella riporta anche i valori di $V_{s,eq}$, “velocità equivalente” di propagazione di profondità delle onde di taglio entro la profondità H (cfr. §4.2).

Dai profili di velocità delle onde di taglio, si ottengono per $V_{s,H}$ valori superiori a 360m/s.

Nel caso della M.A.S.W., la profondità H risulta superiore a 30m. Come indicato al §3.2.2 di NTC2018, in tal caso la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nell’espressione riportata al §4.2 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tenuto conto che oltre al requisito “valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s” risulta verificata anche la condizione stratigrafica “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”, risulta individuato in entrambi i casi un suolo di categoria stratigrafica B (cfr. Figura 5.9).

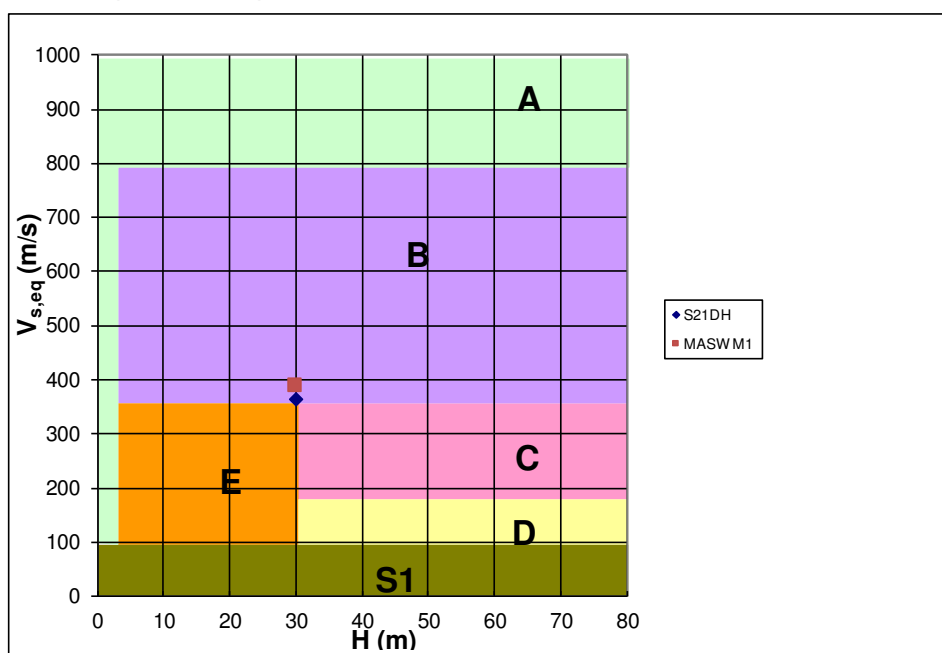


Figura 5.9 – Prove Down Hole: categorie stratigrafiche del sottosuolo.

La tomografia in onde S associata alla base sismica a rifrazione REF_R2_S evidenzia un andamento abbastanza regolare dei sismostrati e delle isotache, mostrando in media valori di V_s superiori rispetto a quelli delineati dalle indagini sismiche discusse in precedenza.

Benchè dalla sismica a rifrazione REF_R2_S non sia facilmente identificabile il valore di $V_{s,eq}$, l'analisi delle sismosezioni mostra valori di V_s ovunque superiori a 1000 m/s, indicando un sottosuolo riconducibile ad una categoria stratigrafica A.

Anche in tal caso, tuttavia, come categoria di riferimento per le valutazioni strutturali e geotecniche è da impiegarsi una categoria di sottosuolo di tipo B, visto in particolare che l'adozione della categoria A non costituirebbe un'assunzione progettuale nel senso della sicurezza.

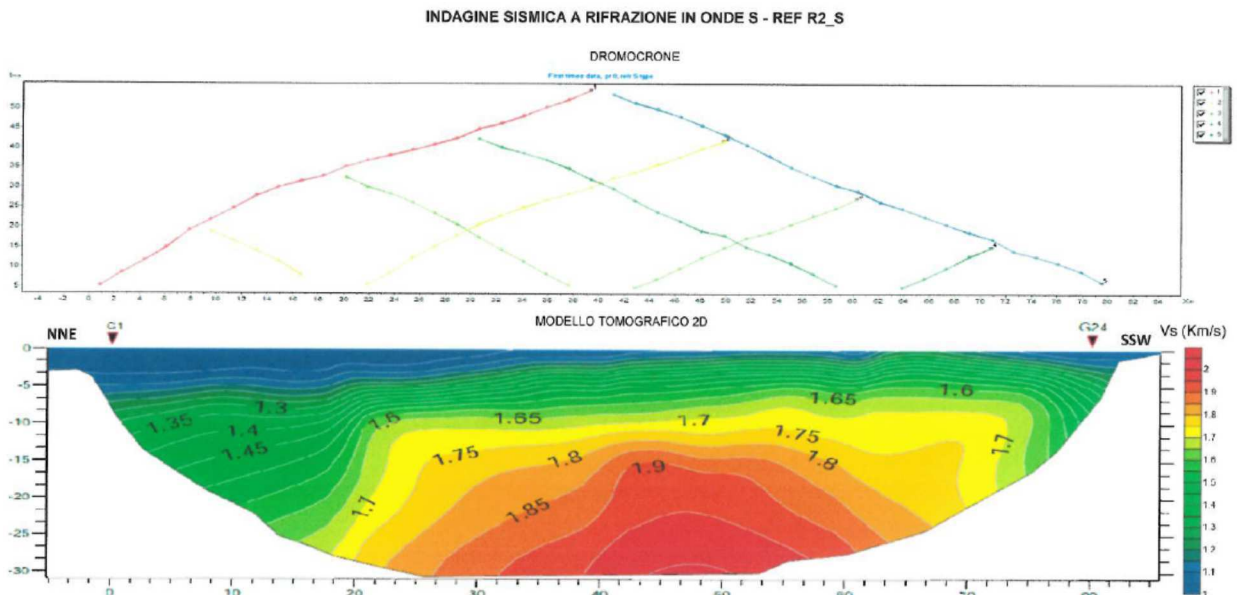


Figura 5.10 - Sismica a rifrazione SR01: dromocrone e tomografia in onde S.

6.SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale sono ubicati i manufatti deve essere stabile nei confronti della **liquefazione**, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Per liquefazione di un terreno s'intende una vera e propria transizione di fase, caratterizzata dal pressochè totale annullamento della sua resistenza al taglio e dalla perdita del mutuo contatto fra i granelli solidi (azzeramento dello stato tensionale efficace), con il terreno che si comporta come un fluido pesante.

Si noti che la normativa di riferimento NTC2018 prevede che la verifica a liquefazione possa essere omessa quando si manifesti almeno una delle condizioni elencate al § 7.11.3.4.2.

Nel caso in esame, può omettersi il controllo della stabilità dei terreni nei confronti della liquefazione, in quanto per il sito di progetto risulta verificata la condizione n.2 del § 7.11.3.4.2, per la quale la profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal p.c., per p.c. sub-orizzontale e strutture fondate superficialmente.

Nel caso di fondazioni profonde, la suscettibilità alla liquefazione dei terreni in oggetto è da escludersi inoltre per l'elevato stato di confinamento iniziale efficace dovuto al peso dei sedimenti sovrastanti, perché in possesso di un elevato tenore di frazione fine che garantisce una coesione efficace di entità tale da non consentire l'annullamento dello stato tensionale efficace anche in seguito ad eventi sismici in grado di destare forti pressioni neutre in eccesso, per la presenza di formazioni lapidee, ecc..

In base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.