



REGIONE
MARCHE



**PROGETTAZIONE DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
DELL'INTERVENTO DI "REALIZZAZIONE DELLA NUOVA
STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITÀ E
OSPEDALE DI COMUNITÀ DI CAGLI (PU)"**
CIG: 93927262B3 - CUP: B65F22000410006, B65F22000420006



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

Raggruppamento Temporaneo Professionisti

Arch. ELIO FLORIO

Ing. Arch. FABIO FLORIO

Arch. MARIKA BUONO



Via Francesco Petrarca, 119 - 80122 Napoli (NA)
tel/fax: 0815519295 - e-mail: info@studiofloriosrl.com

MANDATARIA

Ing. GIUSEPPE PERILLO

Ing. GIAMPIETRO MASSARELLI



Via Cavour, 4 - 70027 Palo del Colle (BA)
tel/fax: 0808594347 - e-mail: info@studioperillo.eu

MANDANTE

Regione Marche

II RUP
Ing. LUCA GUSELLA

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Scala:	Data di emissione:	Tav:
-	31/05/2023	DOC_014
Revisione n°:	Data:	Descrizione revisione:
-	-	-
-	-	-



Dott. Geol. **Maurizio Mainiero**
Geologia ambientale
Geologia tecnica
Idrogeologia

COMUNE DI CAGLI PU



Lavoro:

REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITÀ E OSPEDALE DI COMUNITÀ DI CAGLI

Redazione: M. Mainiero		Collaboratori:	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
Commessa: 05-23	Rev: 0	Ns. Riferimento: P2\E:\2023\05	Committente: REGIONE MARCHE
Data: MAGGIO 2023			Timbro e firma: 

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina:
INDICE				
1 – PREMESSA.....2				
2 – CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI.....4				
2.1 – PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) 6				
2.2 – DIRETTIVA ALLUVIONI..... 7				
3 – IDROLOGIA E CARATTERI IDROGEOLOGICI8				
4 – INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE.....9				
4.1 – SONDAGGIO MECCANICO A CAROTAGGIO CONTINUO..... 9				
4.2 – PROVE SPT..... 10				
4.3 – PROVE DI LABORATORIO..... 11				
4.4 – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH 12				
4.5 – INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE 14				
5 – MODELLO GEOTECNICO.....16				
5.1 – STRATIGRAFIA 16				
5.2 – CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI 17				
6 – MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE18				
6.1 – CATEGORIA DI SOTTOSUOLO 19				
6.2 – CONDIZIONI TOPOGRAFICHE..... 19				
7 – ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE DEL SITO20				
7.1 – PROCEDURE DI CALCOLO 21				
7.2 – DEFINIZIONE DI INPUT SISMICO E DEI PARAMETRI SISMICI 22				
7.3 – DEFINIZIONE DI INPUT SISMICO E DEI DATI DI DISAGGREGAZIONE 28				
7.4 - DETERMINAZIONE ACCELEROGRAMMI DI INPUT..... 31				
7.5 - ANALISI RISPOSTA SISMICA PARAMETRI GENERALI DI INPUT 33				
8 – VERIFICHE DI STABILITÀ39				
9 – STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE43				
10 – CONCLUSIONI.....44				
APPENDICE				
Bibliografia				
Tav. 1	Corografia			
Tav. 2	Carta geologica e geomorfologica			
Tav. 3	Carta del rischio idrogeologico			
Tav. 4	Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale - P.G.R.A.A.C.			
Tav. 5	Planimetria stato attuale			
Tav. 6	Planimetria stata futuro			
Tav. 7	Sezione geologica A - A'			
Tav. 8	Sezione geologica B - B'			
Rapporto indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche – <i>GE.CO. s.r.l.</i>				
Parametri sismici e spettri di risposta				
Verifiche di stabilità del versante				

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 2 di 44

1 – PREMESSA

La Regione Marche in *Attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) - Missione M6C1: Reti di prossimità, strutture e telemedicina per l'assistenza sanitaria territoriale – Definizione del quadro programmatico dei sub-interventi 1.1 “Case della Comunità e presa in carico della persona”, 1.2.2 “COT, interconnessione aziendale, device” e 1.3 “Rafforzamento dell’assistenza sanitaria intermedia e delle sue strutture (Ospedali di Comunità)”*, ha individuato, nell’ambito delle proprie competenze, i siti idonei all’attivazione delle Case della Comunità, degli Ospedali di Comunità e delle Centrali Operative Territoriali previsti quali target regionali del Piano nazionale di Ripresa e Resilienza. Il Comune di Cagli (PU) è ivi indicato come sede di una Casa della Comunità (Hub) e di un Ospedale di Comunità.

Con decreto del dirigente *Settore Edilizia Sanitaria Ospedaliera e Scolastica* della Regione Marche nr. 30 del 08/03/2023 il sottoscritto professionista veniva incaricato di redigere uno studio geologico, sismico e geotecnico finalizzato alla *“Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità”*, ubicata in Via A. Meucci nel comune di Cagli PU (Tav. 1). La struttura, consistente in 1 piano interrato e 2 piani fuori terra, coprirà una superficie di ca. 1.300 m² per un’altezza massima (esclusi vani tecnici e torrini coperture) di 8,50 m (cfr. Tavv. 6÷8).

Il presente studio è stato redatto in conformità alla vigente normativa per le costruzioni in zone sismiche (D.M. 17.01.2018, D.M. 11 marzo 1988), e così articolato:

- Esecuzione di nr. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- Esecuzione di nr. 1 prova SPT in foro di sondaggio;
- Prelievo di nr. 2 campioni rimaneggiati di terreno;
- Esecuzione di prove di laboratorio su campioni rimaneggiati di terreno;
- Esecuzione di nr. 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- Esecuzione di nr. 1 indagine sismica a rifrazione in onde P ed SH;
- Rilevamento geologico-geomorfologico dell’area in esame;
- Redazione della relazione di sintesi dei risultati acquisiti.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 3 di 44

E' stata inoltre utilizzata come base di consultazione la seguente cartografia:

- Carta Topografica Regionale delle Marche scala 1: 25000 – Quad. 116 IV;
- Carta Tecnica Regionale delle Marche scala 1: 10000 - Sezz. 290040 - 291010;
- Carta Geologica Regione Marche scala 1: 10000 – Sezz. 290040 - 291010;
- Carta Geomorfologica Regione Marche scala 1: 10000 – Sez. 290040;
- Carta P.A.I. Regione Marche scala 1: 10000 – Tav. RI 26a;
- Carta Geologica d'Italia scala 1: 50000 - Fgg. 290 Cagli - 291 Pergola;
- Cartografia Progetto IFFI;
- Mappe PGRAAC (Dir. Alluvioni) scala 1: 10000 Tavv. ITI028 9P - 9R;
- Cartografia studio MZS 1° livello Comune di Cagli scala 1: 10000;
- Cartografia studio MZS 2° livello Comune di Cagli scala 1: 10000.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 4 di 44

2 – CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

L'area in esame si colloca nel contesto geologico dell'Appennino umbro-marchigiano, che rappresenta il settore più meridionale ed esterno dell'arco a convessità orientale dell'Appennino settentrionale. Esso è il risultato di una storia deformativa complessa che ha interessato l'intera successione stratigrafica depostasi sul margine continentale africano a partire dall'ingressione continua dal Trias superiore al Neogene, poggiando su un basamento cristallino ercinico in continua evoluzione fino al Pleistocene (Centamore & Micarelli, 1991).

Il sito è ubicato in località *Ponte Rosso*, a NE dell'abitato di Cagli e dell'*anticlinale M.te Catria - M.te Nerone*, subito dopo la confluenza del Fiume Bosso con il Fiume Burano, su un terrazzo alluvionale posto in sinistra idrografica dello stesso Burano. Nell'area d'indagine affiorano i termini marnoso-calcarei delle formazioni della Scaglia Cinerea, del Bisciaro (Eocene superiore – Miocene inferiore) e dello Schlier interessati da una serie di strette strutture plicative allineate in senso appenninico.

Le coperture sono costituite da depositi alluvionali e subordinatamente da depositi eluvio-colluviali e detritici e da riporti antropici. I depositi alluvionali sono riferibili ai sistemi del Musone (Olocene) e di Matelica (Pleistocene superiore) e sono costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose con intercalati subordinati livelli o lenti a granulometria fine. I depositi detritici presentano una caratterizzazione prevalentemente fine ad eccezione delle falde detritiche originate dall'erosione dei termini più calcarei, che interessano in maniera assai marginale l'area di studio.

Il substrato dell'area di sedime del nuovo complesso sanitario è rappresentato dalla formazione miocenica del Bisciaro (Aquitaniense p.p. - Burdigaliano p.p.), costituita da calcari, calcari marnosi e marne calcaree grigio-biancastri in strati principalmente medi e subordinatamente spessi, a cui si intercalano marne calcaree e marne argillose grigie, con frequenti livelli vulcanoclastici e noduli di selce nerastra (cfr. Tav. 2).

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 5 di 44

Come accennato, il sito è ubicato su quello che resta di un terrazzo alluvionale afferente al sistema di Matelica (MTbn), il cui spessore è ormai ridotto a pochi metri a seguito dell'attività estrattiva.

Le Figg. 1 e 2 mostrano l'evoluzione dell'area dal 1978 ad oggi: l'attuale presenza di una scarpata di ca. 10 m di altezza sul margine S, di evidente natura antropica, testimonia lo sfruttamento dei depositi ghiaiosi di natura alluvionale avvenuto a partire dalla fine degli anni '70 del secolo scorso.



Fig. 1 – Ripresa aerea Google Earth del 1978

Il confine N-NE del sito è invece delimitato da una scarpata fluviale di altezza compresa tra 10 e 15 m, modellata a seguito dell'azione del Fiume Burano nell'ambito dei cicli continentali erosivo-deposizionali tardo-quadernari che caratterizzano i fiumi marchigiani (Bisci & Dramis, 1991).

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 6 di 44

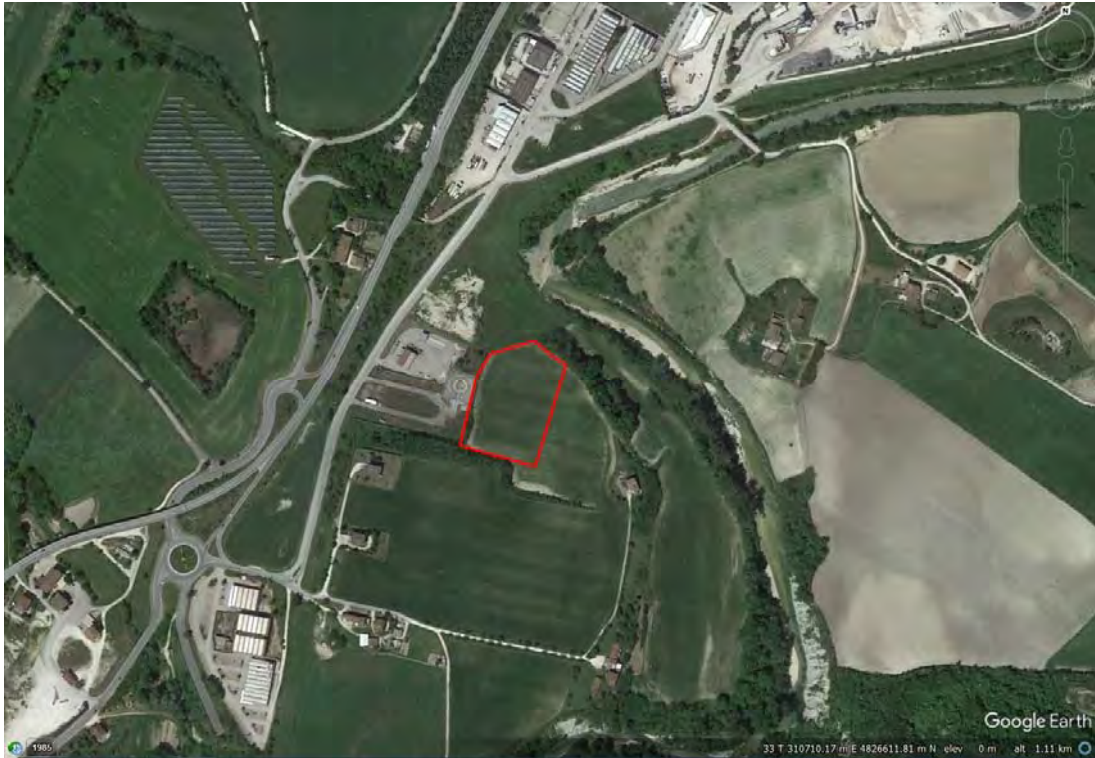


Fig. 2 – Ripresa aerea Google Earth del 2022

2.1 – Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

La zona oggetto dell'intervento è ubicata tra le quote 243 e 238 m sul Imm e non rientra in alcuna area a rischio idrogeologico per frana o inondazione, così come individuate dal Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Marche (DCR n° 116 del 21.01.2004, aggiornato con DPCM 14 marzo 2022), o censite nell'inventario dei fenomeni franosi in Italia (Progetto IFFI - <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>).

Come si può evincere dalla Tav. 3, sul margine N-NE del sedime della futura struttura sanitaria è presente un'area inondabile a rischio moderato (R1), censita dal P.A.I. con il codice E-05-0021. In accordo con gli attuali strumenti di previsione urbanistica, si ritiene che il dislivello di ca. 15 m presente tra l'area di progetto ed il letto di magra del Fiume Burano sia sufficiente a garantire la sicurezza della futura struttura sanitaria in relazione a fenomeni esondativi dello stesso Burano.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 7 di 44

2.2 – Direttiva Alluvioni

L'art. 7 della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE stabilisce che, sulla base delle mappe redatte ai sensi dell'art. 6, gli Stati Membri predispongano Piani di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA) coordinati a livello di distretto idrografico o unità di gestione, per le zone individuate come aree a rischio potenziale significativo di alluvione. Gli esiti della Valutazione Preliminare e della redazione delle mappe, redatte a cura dell'*Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale*, consentono di disporre di un quadro conoscitivo aggiornato delle caratteristiche di pericolosità e di rischio del territorio. Con Delibera C.I.P. nr. 27 del 20/12/2021 è stato adottato il primo aggiornamento del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto dell'Appennino Centrale (PGRAAC)*.

Come per le aree P.A.I., la zona oggetto di intervento, pur non ricadendo in alcuna perimetrazione, è prossima ad un'area a rischio moderato/medio e pericolosità media per eventi alluvionali del Fiume Burano (Cfr. Tav. 4).

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 8 di 44

3 – IDROLOGIA E CARATTERI IDROGEOLOGICI

L'area è ubicata su di un terrazzo alluvionale in sinistra idrografica del Fiume Burano, tra le quote 243 e 238 m sul Imm, a ridosso di un'ansa fluviale che la circonda da SW a N-NE. In accordo con gli attuali strumenti di previsione urbanistica, si ritiene che il dislivello di ca. 15 m presente tra l'area di progetto ed il letto di magra del Fiume Burano sia sufficiente a garantire la sicurezza della futura struttura sanitaria in relazione a fenomeni esondativi dello stesso Burano.

Anche se durante le indagini in situ non è stata rilevata la presenza di acqua, si ritiene che esista una discreta circolazione idrica all'interno dei depositi di copertura superficiali e della parte più alterata del substrato miocenico, la cui superficie piezometrica si attesta all'interfaccia coperture-substrato e può localmente arrivare in prossimità del piano campagna.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)				
Elaborato: Relazione geologica e sismica		Committente: Regione Marche		Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 9 di 44

4 – INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE

Per verificare la stratigrafia dell'area di studio ed acquisire dati sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, è stata condotta una campagna di indagine così strutturata (cfr. Tav. 5):

- Esecuzione di nr. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- Esecuzione di nr. 1 prova SPT in foro di sondaggio;
- Prelievo di nr. 2 campioni rimaneggiati di terreno;
- Esecuzione di prove di laboratorio su campioni rimaneggiati di terreno;
- Esecuzione di nr. 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- Esecuzione di nr. 1 indagine sismica a rifrazione in onde P ed SH.

4.1 – Sondaggio meccanico a carotaggio continuo

Il sondaggio meccanico è consistito in una perforazione ad andamento verticale eseguita con sonda perforatrice COMACCHIO GEO 305, mediante rotazione a carotaggio continuo, che ha consentito il prelievo di carote del diametro $\phi = 101$ mm. Le operazioni sono state condotte seguendo le prescrizioni e gli oneri di cui alle *“Modalità tecnologiche e norme di misurazione ANISIG”*.

Le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state riposte in appositi contenitori (cassette in plastica) per essere esaminate. Dall'esame delle “carote” si sono ricavate le allegate stratigrafie dei sondaggi nelle quali, oltre alla successione dei terreni nel sottosuolo (a partire dall'attuale piano di campagna), sono riportate la tipologia e profondità dei campioni di terreno prelevati ed i risultati delle prove SPT, come riepilogato nelle seguenti tabelle.

Sond.	Carotaggio Continuo semplice		Carotaggio con carotiere doppio T6		Rivestimento ϕ 127 mm (m)	Data
	da	a	da	a		
S1	0,00	6,50	6,50	10,00	6,00	29/03/2023

Tab. 1 - Sondaggi geognostici

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 10 di 44

Sond.	Campione rimaneggiato in sacchetto	Profondità (m)	
		da	a
S1	CRS1	7,45	7,60
S1	CRS2	9,70	9,80

Tab. 2 - Campioni prelevati

Sond	SPT	Profondità (m)		Valore
		da	a	
S1	SPT1	1,30	1,75	5-5-5

Tab. 3 - Prove SPT eseguite

4.2 – Prove SPT

La prova SPT (Standard Penetration Test) viene eseguita in foro, durante la perforazione; essa consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade da un'altezza di 0.76 m.

Durante la prova si misurano:

- N1 = numero di colpi necessari a provocare un avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione nei successivi 15 cm;
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore: $N_{SPT} = N2 + N3$.

Durante le perforazioni è stata eseguita n° 1 prova in foro SPT, i cui risultati sono riepilogati nella seguente tabella:

SONDAGGIO	SPT	PROFONDITÀ		VALORI	N _{SPT}
		da	a		
S1	SPT1	1,30	1,75	5-5-5	10

Tab. 4 - Risultati prove SPT

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 11 di 44

4.3 – Prove di laboratorio

I campioni prelevati durante la perforazione sono stati consegnati al laboratorio *Geosveva* di Lucera (FG), ove sono stati sottoposti alle seguenti analisi fisiche e meccaniche:

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITÀ		PROVE
		da	a	
S1	Ccrs1	7,45	7,60	Peso volume naturale
				Point Load Test
S1	Ccrs2	9,70	9,80	Peso volume naturale
				Point Load Test

Tab. 5 - Prove di laboratorio eseguite

I parametri ricavati dai tests di laboratorio vengono riassunti nella seguente tabella:

SONDAGGIO		S1	S1
Campione		Ccrs1	Ccrs2
Profondità	metri	7,45÷7,6	9,7÷9,8
CARATTERISTICHE FISICHE			
Peso di volume γ	KN/m ³	19,45	19,45
POINT LOAD TEST			
Point Load Strenght Index $I_{s(50)}$	Mpa	5,01	3,81

Tab. 6 - Risultati prove di laboratorio

Il valore della resistenza al punzonamento *Point Load Strenght Index* $I_{s(50)}$ è correlato alla resistenza a compressione uniassiale della roccia *UCS* attraverso la formula:

$$UCS = C * I_{s(50)}$$

Dove C rappresenta un fattore di correzione che - secondo le raccomandazioni ISMR - dovrebbe corrispondere ad un valore unico $C = 24$. Secondo altri autori C può variare in funzione del litotipo e dello stato di integrità/alterazione della roccia. Nel nostro caso, considerando le variazioni litologiche della formazione di base ed il suo stato di alterazione, si è adottato un cautelativo $C = 1$.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 12 di 44

4.4 – Prove penetrometriche dinamiche DPSH

Per l'esecuzione delle prove DPSH (*Dynamic Probing Super Heavy*) è stato utilizzato un penetrometro Pagani TG 63. Basandosi sui risultati di tali indagini è possibile stimare i principali parametri di resistenza al taglio dei terreni attraversati, assimilando il numero di colpi della prova DPSH al numero di colpi di una prova SPT (*Standard Penetration Test*), attraverso il fattore di conversione: $NSPT = NDPSH * 1,489$.

Ricordando che i parametri geotecnici ricavabili dalle prove SPT sono calcolati sulla base di correlazioni empiriche, nel caso di terreni a prevalente comportamento coesivo possiamo stimare la coesione non drenata c_u attraverso i metodi di Terzaghi & Peck (1948) e quelli proposti nel DM-7 (*Design Manual for Soil Mechanics*) – Fig. 3.

Nel caso di terreni a prevalente comportamento non coesivo possiamo stimare l'Angolo di attrito efficace ϕ' , utilizzando il metodo di Schmertmann (1977, Fig. 4), valutando prima la Densità relativa D_r attraverso la relazione di Gibbs e Holtz (1957, Fig. 5).

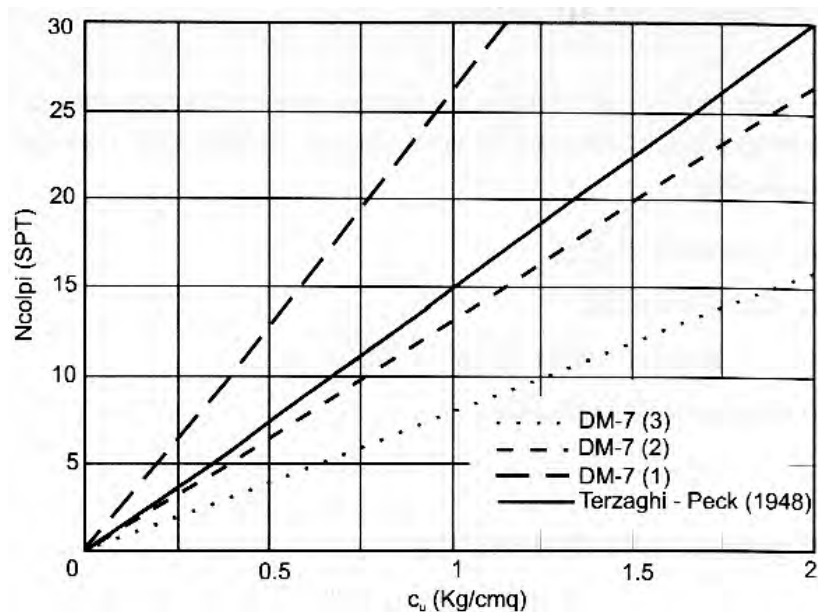


Fig. 3 - Relazione tra N_{SPT} e Coesione non drenata c_u (DM-7, Terzaghi & Peck)

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 13 di 44

1. $\phi' = 28 + 0.14D_R$
2. $\phi' = 31.5 + 0.115D_R$
3. $\phi' = 34.5 + 0.10D_R$
4. $\phi' = 38 + 0.08D_R$

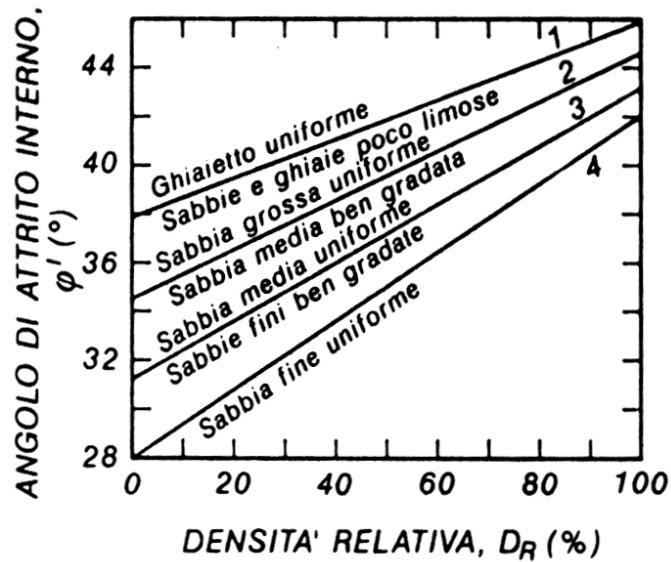


Fig. 4 - Relazione tra angolo di attrito efficace Φ' e densità relativa D_R per differenti granulometrie (Schmertmann, 1977)

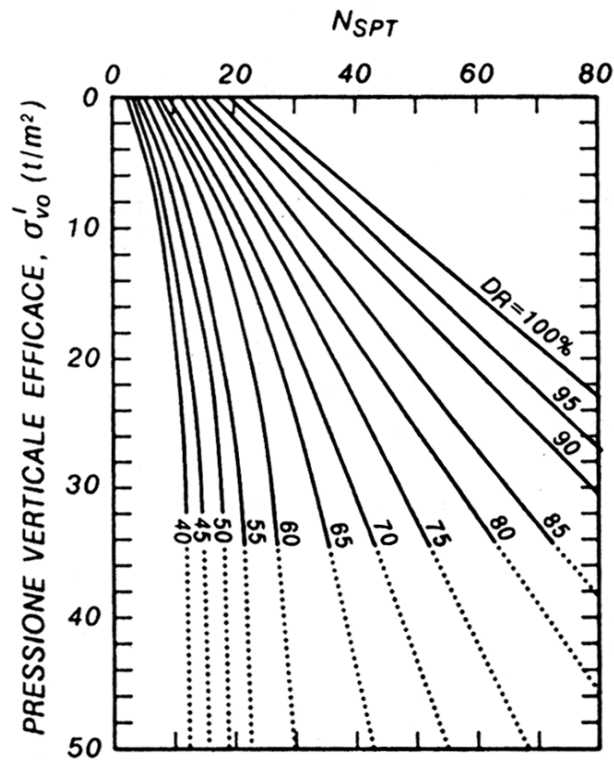


Fig. 5 - Relazione tra NSPT e densità relativa D_r (Gibbs & Holtz, 1957)

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 14 di 44

4.5 – Indagine sismica a rifrazione

Vengono di seguito illustrati i risultati ottenuti dall'interpretazione delle indagini geofisiche (sismica a rifrazione in onde P ed Sh,), per la cui trattazione completa si rimanda all'allegato Rapporto Tecnico GE.CO. srl. A seguito dell'elaborazione ed interpretazione dei dati ottenuti, la porzione di terreno investigato è stato suddiviso in 4 principali sismostrati, individuati fino alla profondità massima di esplorazione ottenuta pari a 30,0 ÷ 35,0 m, e così riassunti (a partire dalla superficie):

1. Il primo intervallo, caratterizzato da velocità medie delle onde P variabili tra 330 e 395 m/sec e velocità delle onde Sh di 215÷255 m/sec, presenta uno spessore variabile tra 1,0 e 2,5 metri. Tale orizzonte è costituito da terreno vegetale e depositi di copertura superficiali di basse velocità sismiche.
2. Il secondo sismostrato, è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 1530÷1735 m/sec e velocità delle onde di taglio intorno ai 390÷425 m/sec. Lo spessore risulta compreso in un range variabile tra un minimo di 4,0÷4,5 metri ed un massimo di 6,0÷6,5 metri. La litologia risulta riconducibile alla presenza di depositi di copertura costituiti da ghiaie e brecce calcaree in matrice limoso argillosa.
3. Il terzo sismostrato, è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 2350÷2410 m/sec e velocità delle onde di taglio di 740÷775 m/sec; lo spessore si aggira attorno ai 15,0÷19,0 metri. L'attribuzione litologica, di tale intervallo è riconducibile a calcari marnosi con intercalazioni di livelli marnoso argillosi con un elevato grado di alterazione e fratturazione.
4. Il quarto ed ultimo sismostrato, è caratterizzato da un innalzamento dei valori di velocità degli impulsi sismici, che raggiungono valori di 3100÷3220 m/sec (onde di compressione) e di 1240÷1315 m/sec (onde di taglio). L'attribuzione litologica, risulta essere la medesima del sismostrato precedente, ma in una facies decisamente più compatta.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 15 di 44

Mediante i valori di velocità (minimo e massimo) dei sismostrati, sopra individuati, è stato possibile determinare il campo di variabilità dei moduli elastici dinamici, riportati nella tabella seguente. Dalla sezione sismostratigrafica è stato inoltre calcolato il parametro $V_{S,eq}$, (parametro necessario per la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto).

MODULI ELASTICI DINAMICI - STESA LN1							
Intervallo [n°]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [Kg/m ³]	E [Kg/cm ²]	G [Kg/cm ²]	ν	Vp/Vs
1	330	155	1900	12402	465	0.3585	2.13
	395	215	1900	22651	895	0.2895	1.84
2	1530	390	2000	89146	3101	0.4653	3.92
	1735	425	2000	106069	3682	0.4681	4.08
3	2350	740	2100	332330	11722	0.4450	3.18
	2410	775	2100	363846	12857	0.4423	3.11
4	3100	1240	2200	950383	34482	0.4048	2.50
	3220	1315	2200	1065141	38780	0.3999	2.45

Tab. 7 - Moduli elastici dinamici

Nella tabella sottostante, vengono riepilogati i valori utilizzati ed i risultati ottenuti del parametro $V_{S,eq}$ come previsto dalle Nuove NTC - D.M. 17 gennaio 2018 s.m.i.:

Progressiva di calcolo (m)	Spessori (m)	Velocità medie (m/sec)	Valore $V_{S,eq}$ (m/sec)
63	2,0	185	527
	6,5	405	
	18,5	760	
	-	>800	

Tab. 8 - Calcolo parametro $V_{S,eq}$

La velocità delle onde " $V_{S,eq}$ " è stata calcolata dall'attuale piano campagna (non conoscendo la profondità esatta del piano di posa delle fondazioni) fino alla profondità di 27,0 m, profondità oltre la quale si intercetta il substrato sismico con $V_s > 800$ m/sec.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 16 di 44

5 – MODELLO GEOTECNICO

Le indagini eseguite permettono di definire il modello geotecnico del volume di terreno “significativo” coinvolto nello studio in oggetto, e di descriverne compiutamente le condizioni stratigrafiche, il regime delle pressioni interstiziali, e le sue caratteristiche fisico meccaniche.

5.1 – Stratigrafia

La litologia dell’area di sedime è stata ricostruita in base a prove in sito eseguite; le profondità medie e gli spessori delle unità litotecniche sono rappresentati in Tavv. 7÷8.

UNITÀ LITOTECNICA	LITOLOGIA	SPESSORE MIN ÷ MAX
1	TERRENO VEGETALE E DEPOSITI DI COPERTURA SUPERFICIALI Limo argilloso con abbondante ghiaia e breccia calcarea	1,0 ÷ 2,5 M
2	DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI Ghiaie e breccie calcaree in matrice limoso-argillosa	4,5 ÷ 6,5 M
3	FORMAZIONE MIOCENICA ALTERATA E DECOMPRESSA Calcari marnosi con intercalazioni marnoso-argillose alterati e fratturati	15,0 ÷ 19,0 M
4	FORMAZIONE MIOCENICA IN FACIES INALTERATA Calcari marnosi con intercalazioni marnoso-argillose	> 10,0 M

Anche se durante le indagini in situ non è stata rilevata la presenza di acqua, si ritiene che esista una discreta circolazione idrica all’interno dei depositi di copertura superficiali e della parte più alterata del substrato miocenico, la cui superficie piezometrica si attesta all’interfaccia coperture-substrato e può localmente arrivare in prossimità del piano campagna.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)		
Elaborato:	Committente:	Comm:	Rev:	Pagina:
Relazione geologica e sismica	Regione Marche	05-23	0	17 di 44

5.2 – Caratteri fisico-meccanici dei terreni

Per definire i principali parametri fisico-meccanici dei terreni interessati dall'intervento in oggetto si sono verificati in modo critico i dati ottenuti dalle prove in sito, confrontandoli con quelli desunti dalla bibliografia esistente e da studi già eseguiti in aree limitrofe.

In accordo con quanto previsto dalle *Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC*, per ciascun litotipo vengono di seguito indicati i **valori caratteristici**, dei terreni.

UNITÀ LITOTECNICA	Peso di volume γ kN/m ³	Angolo di attrito efficace ϕ' °	Coesione efficace C' kPa	Coesione non drenata Cu kPa	Res. compr. uniass. UCS MPa	Modulo Elastico E MPa	Modulo Edometrico E _{ed} MPa	Velocità onde sismiche SH m/s
1	18,6	27	10	19,6	--	1,47	1,98	155÷215
2	18,6	31	10	88,2	--	7,16	9,66	390÷425
3	19,45	30	12	300	4,4	13,4	18	740÷775
4	25	--	--	--	20	3000	--	1240÷1315

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 18 di 44

6 – MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Il territorio comunale di Cagli rientra nell'elenco dei Comuni ad elevato rischio sismico (L. 27.12.97 n° 449, O.P.C.M. n° 2788 del 12.06.98); ai sensi dell'O.P.C.M. n° 3274 del 20.02.2003 e della D.G.R.M. n° 1046 del 29.07.2003 e smi esso è classificato in *Zona Sismica 2*.

Secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . Le forme spettrali sono definite dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o 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.

Sia forma spettrale che accelerazione massima attesa variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Rispetto all'area d'intervento il nodo più prossimo sul reticolo di riferimento (Tab. 1 All. NTC) è quello con codice ID 20967. Con l'ausilio del programma di calcolo *Spettri NTC ver. 1.03* (fornito dal CSLP) sono stati determinati i **parametri sismici** del sito e relativi **spettri di risposta**, i cui tabulati e grafici sono allegati in appendice.

Secondo le NTC 2018, la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione dipende anche dal tipo di sottosuolo e dalle condizioni topografiche.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 19 di 44

6.1 – Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, il terreno di fondazione è stato classificato in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio (cfr. § 3.2.2 NTC 2018), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore (in metri) dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N = numero di strati;

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

Nel nostro caso dalle prove sismiche effettuate si è ottenuto un valore delle onde sismiche di taglio $V_{s,30}$ pari a 527 m/sec. I terreni sono riferibili alla categoria di suolo di fondazione "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.*

6.2 – Condizioni topografiche

Le condizioni topografiche del sito possono essere assimilate alla categoria topografica "T1" di Tab. 3.2.III NTC 2018 ovvero superficie topografica pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 20 di 44

7 – ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE DEL SITO

Risposta sismica locale (RSL) - NTC 2018, § 7.11.3.1

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

Tale analisi costituisce uno studio di “riferimento” del sito in esame, i cui risultati sono stati conseguiti opportunamente nei confronti delle SLV (Stato limite ultimo per la salvaguardia della vita) per edifici di interesse strategico (Classe IV) e con livelli di prestazione elevati. Nel caso specifico è stata condotta la modellazione considerando la classe di vita nominale VN pari a 100 anni e la Classe d’uso di tipo IV con coefficiente d’uso Cu pari a 2 e Vita di riferimento VR pari a 200 anni.

L’informazione di maggior interesse offerta dall’analisi di RSL è lo spettro di risposta in accelerazione del moto del terreno (strumento dinamico più utilizzato per la progettazione di manufatti), che mette in evidenza gli effetti di sito. L’analisi condotta si basa su un profilo geotecnico e sismostratigrafico ricostruito in sito mediante le prove illustrate nel § 4, nonché attraverso il reperimento di altre indagini eseguite nelle strette vicinanze utili a definire meglio le caratteristiche geotecniche delle litologie presenti. Con la presente analisi è stato valutato il moto sismico cosiddetto “free field” (condizioni di “campo libero” ossia in assenza di manufatto). In sintesi i paragrafi che seguono riportano l’articolazione della analisi dinamiche atte a definire le modifiche che il segnale sismico subisce, a causa delle condizioni locali, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di tipo A).

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 21 di 44

7.1 – Procedure di calcolo

Lo scopo principale dell'analisi di risposta sismica locale è quello di prevedere come e quanto il movimento del suolo superficiale sia influenzato dal movimento del bedrock in profondità. Nel caso di analisi monodimensionale avremo le seguenti ipotesi di base:

1. stratigrafia del suolo orizzontale;
2. onde sismiche che si propagano dal basso verticalmente;
3. deformazioni del suolo funzione delle proprietà dinamiche dei litotipi.

Per l'analisi è stato utilizzato il software STRATA, il cui funzionamento può essere sintetizzato come segue:

1. Legge il sismogramma al bedrock costituito da 7 accelerogrammi;
2. Con una Trasformata di Fourier (FFT) calcola lo Spettro di Fourier ($FAS_{bedrock}$) sempre al bedrock;
3. Calcola la Funzione di Trasferimento (TF) nel sito (quest'ultima è semplicemente pari al rapporto tra l'ampiezza dell'onda incidente sullo strato in direzione verticale verso l'alto "upward" e la sua riflessa in direzione verticale verso il basso "downward"). La Funzione di trasferimento dà immediatamente, grazie alla sua forma, informazioni importanti sui modi di vibrazione del suolo;
4. Calcola lo Spettro di Fourier (FAS_{suolo}) stavolta in superficie, moltiplicando lo Spettro di Fourier al bedrock per la Funzione di Trasferimento con la formula:

$$FAS_{suolo} = FAS_{bedrock} \times TF$$

5. Tramite una Trasformata inversa di Fourier (IFFT), calcola l'accelerazione al suolo; questo è il risultato la cui utilità è l'immediata applicazione nelle soluzioni progettuali ingegneristiche.

Tale calcolo è un processo iterativo: dato che il comportamento dei suoli alle sollecitazioni dinamiche è di tipo "non lineare" (le proprietà dinamiche dei suoli quale il modulo di taglio G e il dumping D variano con il variare delle deformazioni applicate allo

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 22 di 44

stesso), STRATA riesegue lo stesso calcolo decine di volte, variando di volta in volta progressivamente solo le proprietà dinamiche, fino a una convergenza di progetto, raggiunta la quale il calcolo si interrompe. E' una soluzione "equivalente" ad un calcolo "non lineare", e per questo motivo viene chiamata "Analisi Equivalente Lineare".

Particolare importanza hanno le proprietà non lineari dei materiali, in particolare il rapporto G/G_{max} e D , rispettivamente modulo di taglio "normalizzato" e dumping.

7.2 – Definizione di input sismico e dei parametri sismici

Per la definizione dell'input sismico di modellazione della RSL, è necessario individuare e definire almeno 7 accelerogrammi di riferimento, con caratteristiche compatibili con il sito in esame.

E' necessario quindi definire i seguenti parametri:

1. Coordinate del sito;
2. Vita di riferimento V_r , pari al prodotto delle Vita nominale V_n per il coefficiente d'uso C_u di indirizzo progettuale;
3. Stati limite di progetto di riferimento.

Per la determinazione dei parametri di partenza sono state utilizzate le seguenti applicazioni:

- <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/> per la determinazione delle coordinate ED50;
- Spettri-NTCver.1.0.3 per la determinazione dei valori di A_g , F_0 e T_c^* in funzione del tempo di ritorno.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 23 di 44

Coordinate del sito (ED50)	latitudine = 43,565645
	longitudine = 12,662692
Coordinate del sito (UTM WGS84)	latitudine = 43.564694
	longitudine = 12.661745
Scelta della strategia di progettazione	Vita Nominale (VN) = 100 anni
	Coefficiente d'uso (CU) classe IV = 2
	Stati limite di riferimento = SLV
Dati di disaggregazione	Magnitudo (M) compresa tra 4 e 6.5 (SLV)
	Distanza (R) compresa tra 0 e 30 km

Tab. 9 - dati sito specifici necessari per l'estrapolazione degli input sismici sismocompatibili e spettrocompatibili

Come precedentemente accennato lo stato limite ultimo considerato è lo stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli delle componenti non strutturali ed impiantistiche e significativi danni delle componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento PVR (Tab. 9), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/TR$ (TR = periodo di ritorno).

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 24 di 44

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	P_{VR} = 81%
Stato limite di esercizio: danno	SLD	P_{VR} = 63%
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	P_{VR} = 10%
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	P_{VR} = 5%

Tab. 10 - Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Fissati VR e PVR associati ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC 2018:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Per VN = 100 anni (VR 200), il tempo di ritorno TR sarà:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	TR = 120
Stato limite di esercizio: danno	SLD	TR = 201
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	TR = 1898
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	TR = 2475

Tab. 11 - Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VN 100 (VR 200)

VN 100 anni e Coefficiente d'uso 2 = VR 200 anni				
Stato limite	Tr	ag	F0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	120	0,105	2,472	0,304
SLD	201	0,128	2,458	0,314
SLV	1898	0,283	2,538	0,338
SLC	2475	0,309	2,547	0,342

Tab. 12 Parametri di pericolosità sismica per TR previsti nelle NTC18, per il sito in oggetto

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)		
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 25 di 44



Fig. 6 - Spettri NTC.vers 1.0.3 - definizione dei parametri sismici



Fig. 7 - Spettri NTC.vers 1.0.3 - definizione dei parametri progettuali

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R

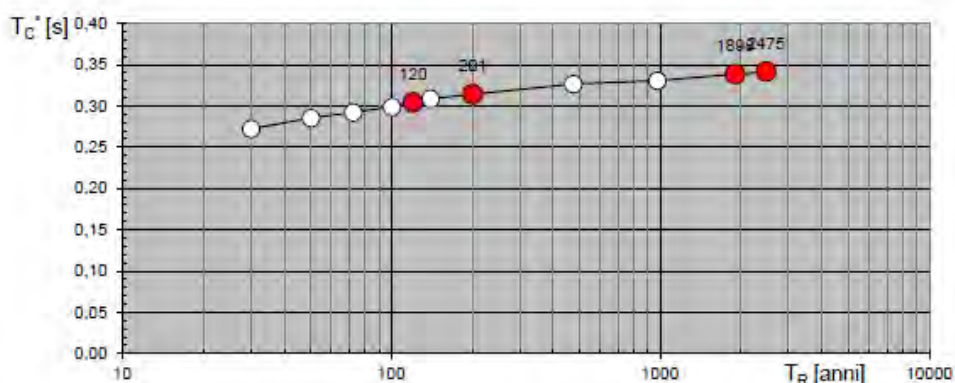
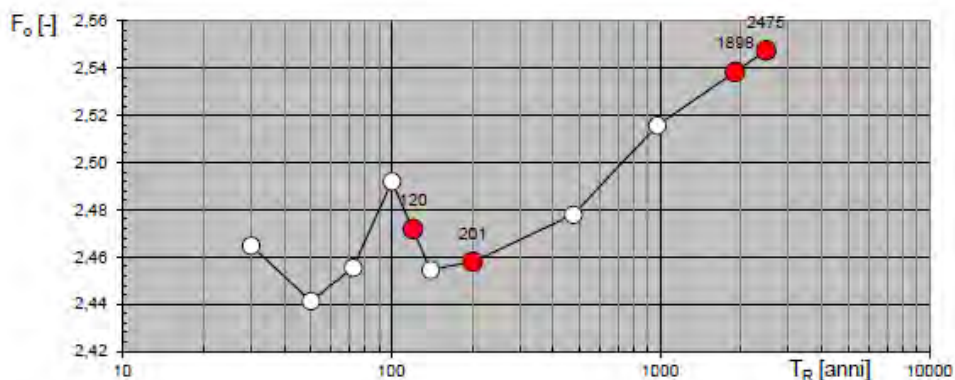
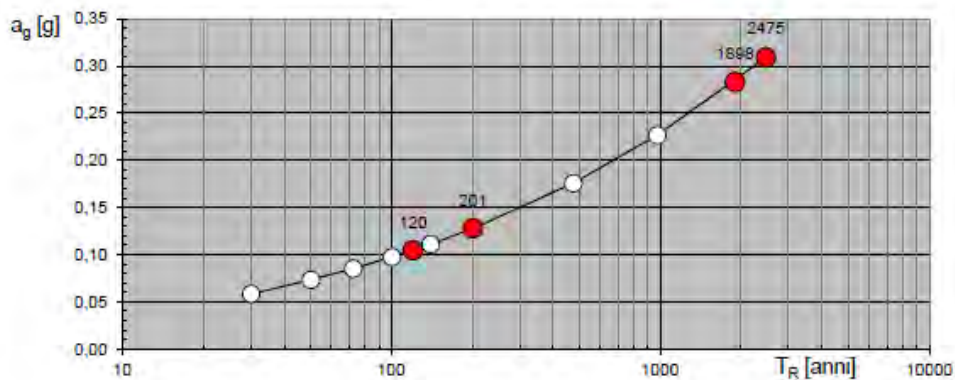


Fig. 8 - Valori di progetto dei parametri a_g , F_o e T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

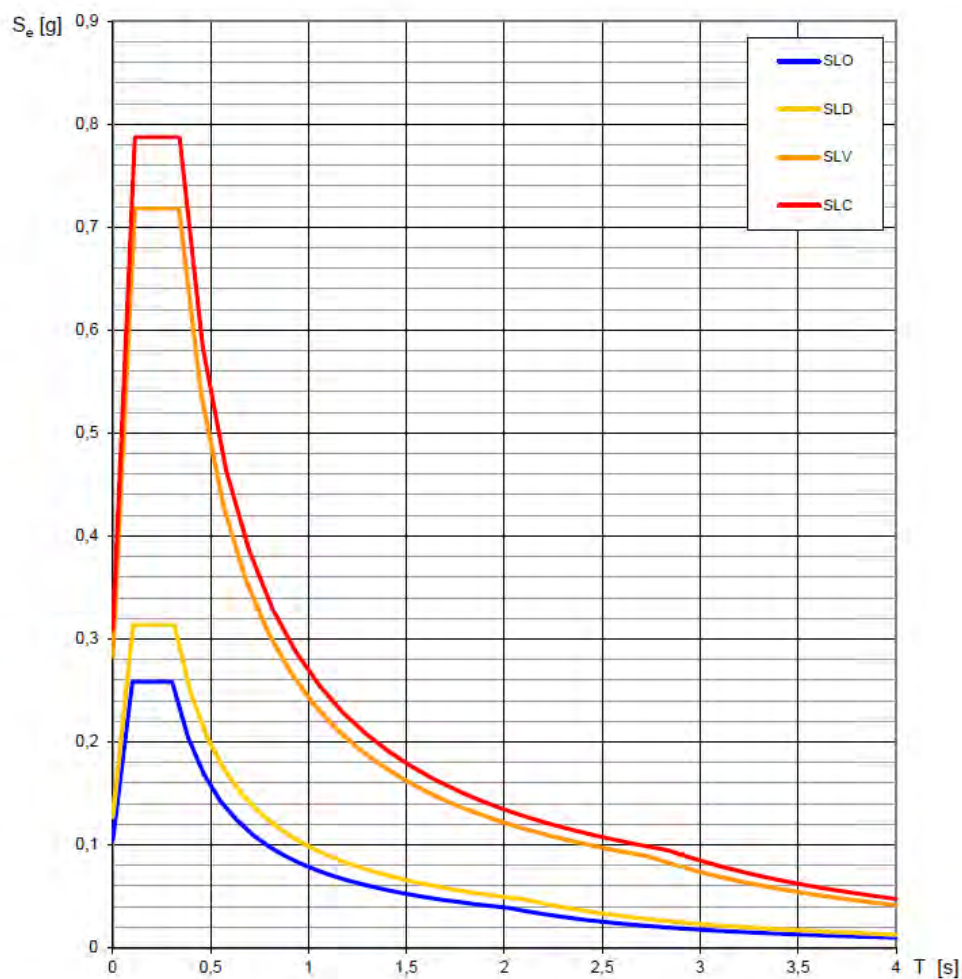


Fig. 9 - Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite NTC 2018

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 28 di 44

7.3 – Definizione di input sismico e dei dati di disaggregazione

L'estrazione degli accelerogrammi di input sismo-compatibili prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre a quelli precedentemente indicati. In particolare devono essere definiti i dati di disaggregazione sismica (variabilità in termini di magnitudo e distanza) ottenuti consultando il database dell'INGV al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it>. Si sono dunque determinati i parametri M (magnitudo) e R (distanza) di disaggregazione:

- M (magnitudo) compresa tra $M_{min} = 4$ e $M_{max} = 6,5$
- R (raggio distanza) compresa fra $R_{min} = 0$ Km e $R_{max} = 30$ Km



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

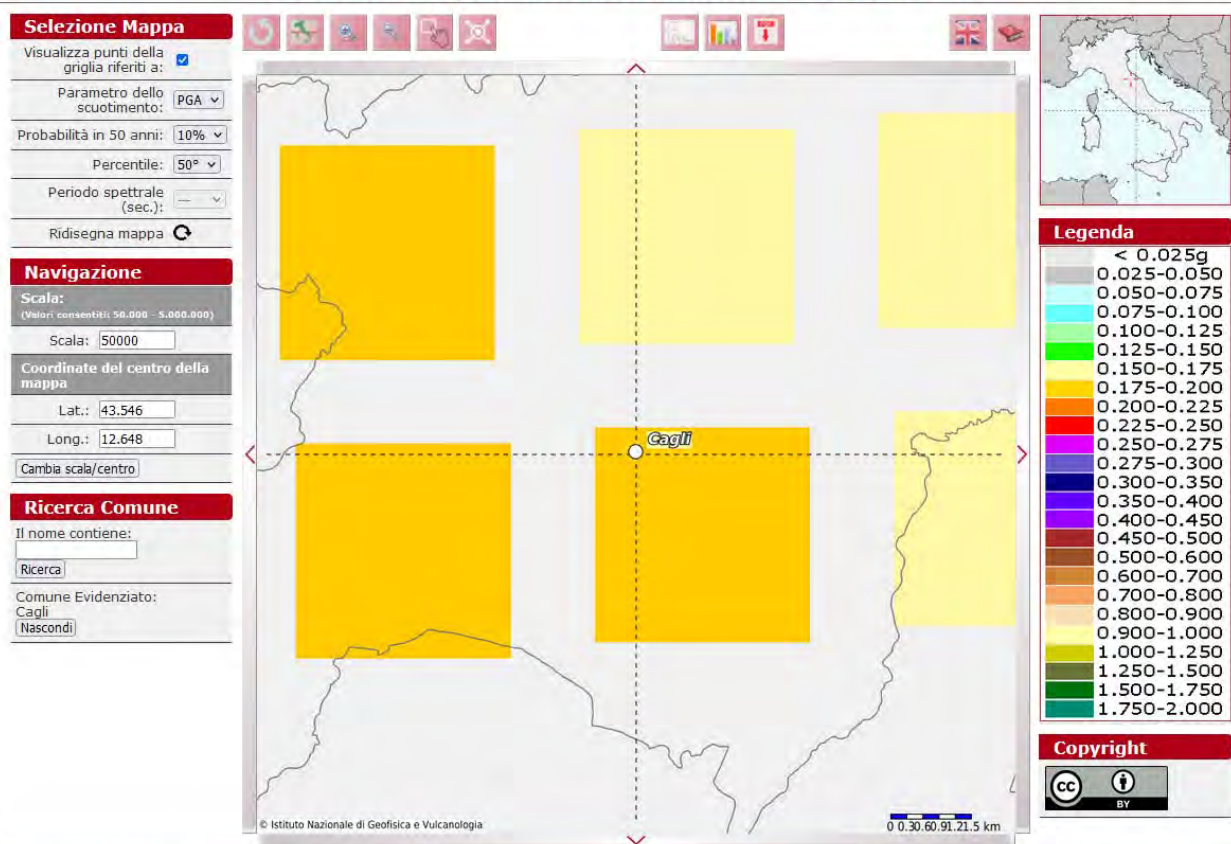


Fig. 10 -Grafico di disaggregazione M-R per il territorio comunale di Cagli

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 29 di 44

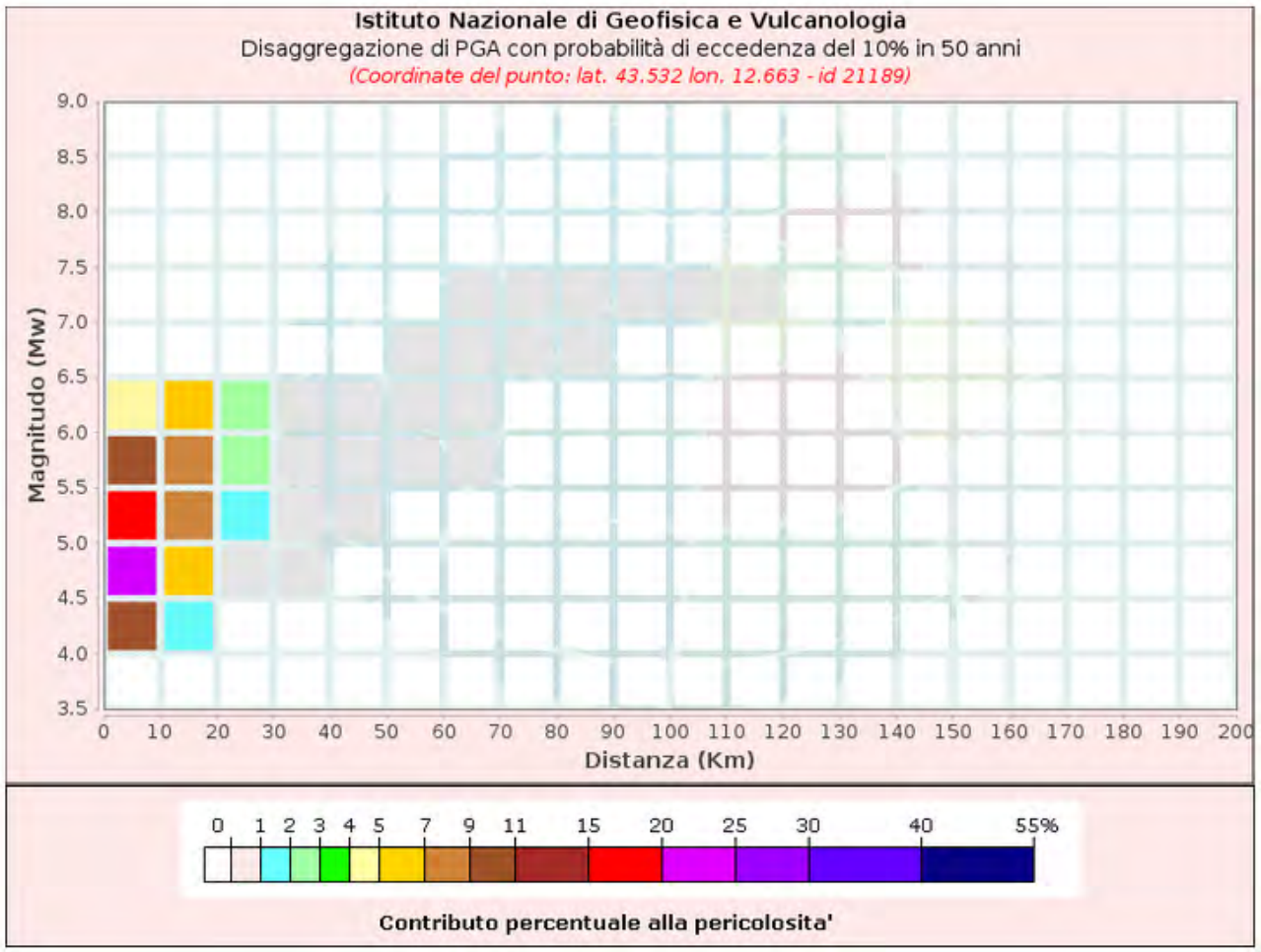


Fig. 11 - Disaggregazione del valore di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 200 anni per il sito in oggetto

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 30 di 44

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.532 lon. 12.663 - id 21189)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	10.3000	22.5000	16.1000	9.7500	4.3800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.3400	5.5300	7.5900	7.8200	5.3100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.2320	1.4100	2.6800	2.5800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0007	0.1340	0.8020	0.9410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.1640	0.2960	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0212	0.0599	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0058	0.0007	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.0103	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0111	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0064	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.24	9.7	0.862

Fig. 12 - Tabella valori di disaggregazione con sintesi dei valori medi

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)		
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 31 di 44

7.4 - Determinazione accelerogrammi di input

Al fine di estrapolare gli accelerogrammi di input per la modellazione di sito è stato utilizzato l'applicazione online REXELWEB, una versione semplificata del software REXEL sviluppato da ReLUIS (Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza E., 2010) che, tramite il collegamento ad un database dinamico (https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_32/#/rexel), rende possibile la ricerca di accelerogrammi da un catalogo costantemente aggiornato.

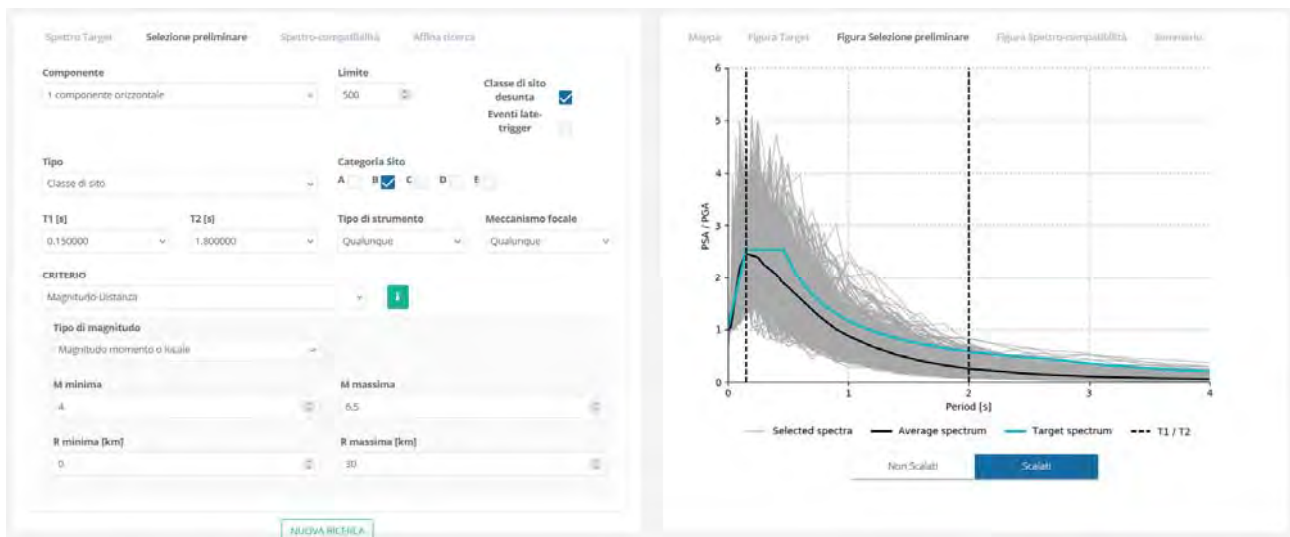
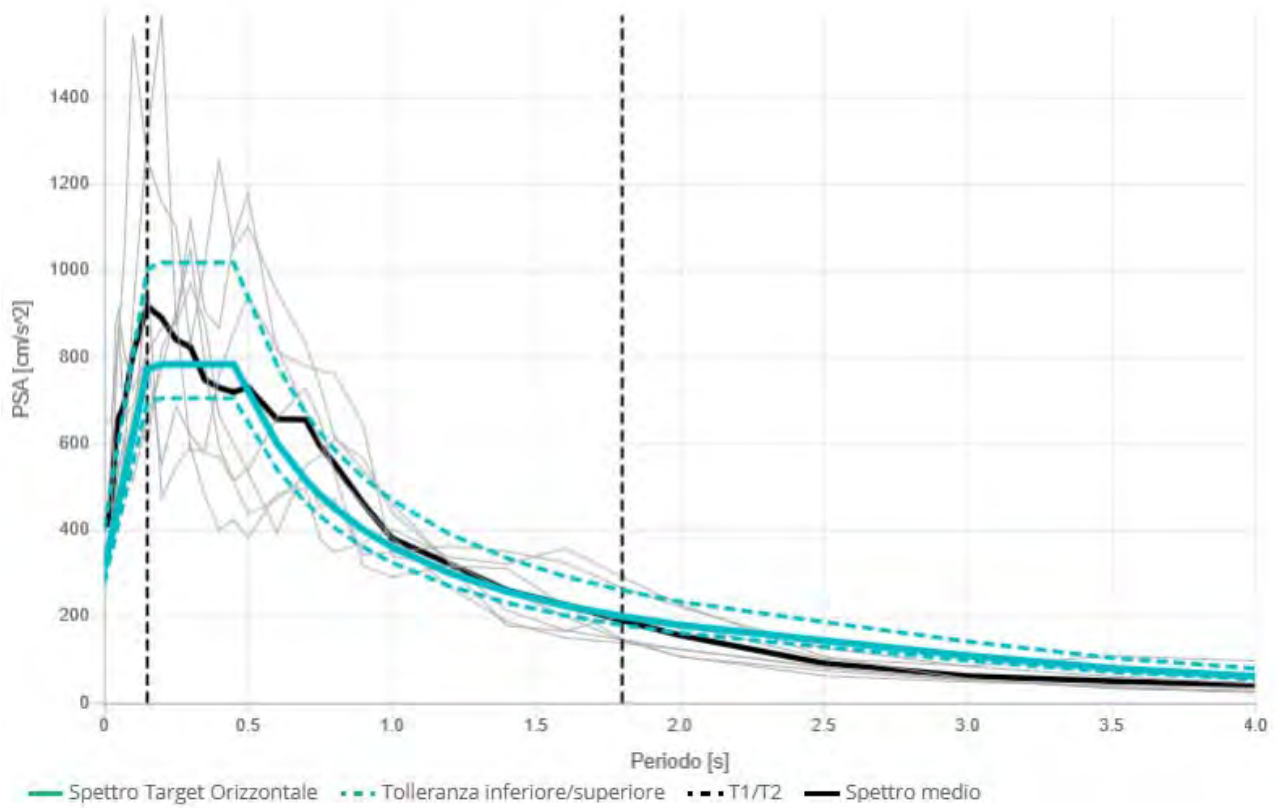


Fig. 13 - Parametri di input inseriti nella finestra di REXELWEB per SLV classe IV VN 100 anni

Come parametri di ricerca dei dati è stato impostato l'intervallo di magnitudo fra 4 e 6,5 e un raggio pari a 30 Km (sulla base dell'analisi di disaggregazione della PGA); l'applicazione ha ricercato combinazioni sismo-compatibili che, dopo una selezione sulla qualità del dato in base alla deviazione standard, ha portato alla scelta dei 7 sismogrammi da utilizzare per la modellazione finale. La scelta dei sismogrammi prende in considerazione registrazioni reali con cinematismo confrontabile.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 32 di 44	



Combinazione	ID registrazione	ID I (ACA)	Codice rete	Codice stazione	ID sensore	Strumento	Orientamento	M _L	M _W	Tipologia di faglia	Distanza epicentrale [km]	Classe EC8	Velocità [m/s]	Punteggio	Fattore di scala
1	IT.AMT.00.HG.EMSC-20160824_0000006	EMSC-20160824_0000006	IT	AMT	00	HG	N	6.0	6.0	Normal faulting	8.5	B	670	N: 0.227 E: 1.000	N: 1.000
1	3A.MZ102.HN.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	3A	MZ102		HN	N	6.1	6.5	Normal faulting	17.4	B		N: 0.475 E: 1.000	N: 1.000
1	IT.AQK.00.HN.IT-2009-0009	IT-2009-0009	IT	AQK	00	HN	E	5.9	6.1	Normal faulting	1.8	B	705	E: 0.332 E: 1.000	E: 1.000
1	IT.AQV.00.HN.IT-2009-0009	IT-2009-0009	IT	AQV	00	HN	E	5.9	6.1	Normal faulting	4.9	B	474	E: 0.417 E: 1.000	E: 1.000
1	IT.AQK.00.HN.IT-2009-0009	IT-2009-0009	IT	AQK	00	HN	N	5.9	6.1	Normal faulting	1.8	B	705	N: 0.249 N: 1.000	N: 1.000
1	IT.AQG.00.HN.IT-2009-0009	IT-2009-0009	IT	AQG	00	HN	E	5.9	6.1	Normal faulting	5.0	B	696	E: 0.216 E: 1.000	E: 1.000
1	3A.MZ19.HN.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	3A	MZ19		HN	E	6.1	6.5	Normal faulting	22.6	B		E: 0.231 E: 1.000	E: 1.000

Fig. 14 - Spettri accelerometrici sismo-compatibili per SLV classe IV VN 100 anni

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 33 di 44

7.5 - Analisi risposta sismica parametri generali di input

Per l'analisi condotta con il software STRATA sono stati inseriti i seguenti parametri generali. In prima fase sono stati identificati i vari strati litologici attribuendogli i valori di densità in kN/m^3 stimati dalle indagini effettuate in sito e reperite, nonché il valore di decadimento del modulo di rigidezza G (effective strain ratio) utilizzando la formula (Idriss and Sun, 1992) $\text{ratio}=(M-1)/10$ dove M rappresenta la magnitudo del terremoto di input.

Per le unità litotecniche di cui ai § 5.1 e 5.2 sono stati considerati i seguenti valori:

	Name	Unit Weight (kN/m^3)	G/G_max Model	Damping Model	Damp. Limit (%)	Notes
1	U.L. 1 - T.V. E DEP. COPERTURA SUPERFICIALI	18.60	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	0,5	
2	U.L. 2 - DEP. ALLUVIONALI TERRAZZATI	18.60	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	0,5	
3	U.L. 3 - F. MIOCENICA ALT. E DEC.	19.45	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay	0,5	

Bedrock Layer

Unit weight: Damping:

Water Table Depth

Depth:

Fig. 15 – Soil Types e relativa densità considerati nel calcolo

Per quanto riguarda il *bedrock sismico* (con $V_s \geq 800$ m/sec), le indagini sismiche effettuate hanno permesso di individuarlo alla profondità di 27 m. Allo stesso è stato attribuito un valore di peso di volume, desunto dalla bibliografia, pari a 25 kN/m^3 .

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 34 di 44

Il profilo sismostratigrafico di sito è stato ricavato dalle indagini sismiche effettuate, dalle quali è stato possibile identificare i sismostrati in Tab. 9 per ciascuno dei quali sono state considerate le velocità medie.

NR	Profondità m	Spessore m	Vs m/s
1	0	2	185
2	2	6,5	405
3	8,5	18,50	760
4	27	-	> 800

Tab. 9 - Identificazione dei sismostrati con attribuzione delle velocità medie delle onde di taglio

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	U.L. 1 - T.V. E DEP. COPERTURA SUPERFICIALI	185.00
2	2.00	6.50	U.L. 2 - DEP. ALLUVIONALI TERRAZZATI	405.00
3	8.50	18.50	U.L. 3 - F. MIOCENICA ALT. E DEC.	760.00
4	27.00	Half-Space	Bedrock	800.00

Fig. 16 - Identificazione dei sismostrati con attribuzione delle velocità delle onde di taglio

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)		
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 35 di 44

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\3A.MZ19..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP.ASC	CENTRAL_ITALY - EMSC-20161030_0000029	Outcrop (2A)	0.36	34.57	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\3A.MZ102..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP.ASC	CENTRAL_ITALY - EMSC-20161030_0000029	Outcrop (2A)	0.41	48.03	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\IT.AMT.00.HGN.D.EMSC-20160824_0000006.ACC.MP.ASC	CENTRAL_ITALY - EMSC-20160824_0000006	Outcrop (2A)	0.38	41.47	1.00
4	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\IT.AQG.00.HNE.D.IT-2009-0009.ACC.MP.ASC	L_AQUILA - IT-2009-0009	Outcrop (2A)	0.45	30.93	1.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\IT.AQK.00.HNE.D.IT-2009-0009.ACC.MP.ASC	L_AQUILA - IT-2009-0009	Outcrop (2A)	0.33	32.14	1.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\IT.AQK.00.HNN.D.IT-2009-0009.ACC.MP.ASC	L_AQUILA - IT-2009-0009	Outcrop (2A)	0.35	35.77	1.00
7	<input checked="" type="checkbox"/> SET_ASCII\IT.AQV.00.HNE.D.IT-2009-0009.ACC.MP.ASC	L_AQUILA - IT-2009-000	Outcrop (2A)	0.66	40.20	1.00

Figura 17 – Definizione dei segnali di input del moto sismico: combinazione dei 7 accelerogrammi spettrocompatibili precedentemente individuati per SLV classe IV VN 100 anni e TR 1898 anni

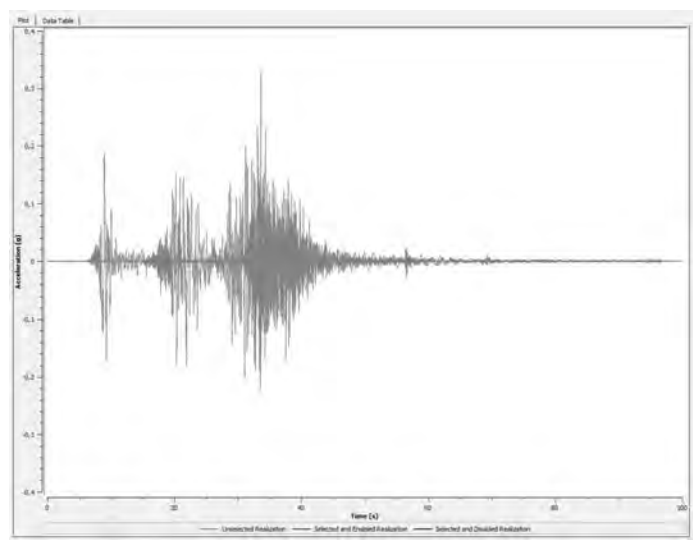


Fig. 18 - Accelerogramma su suolo rigido (bedrock)

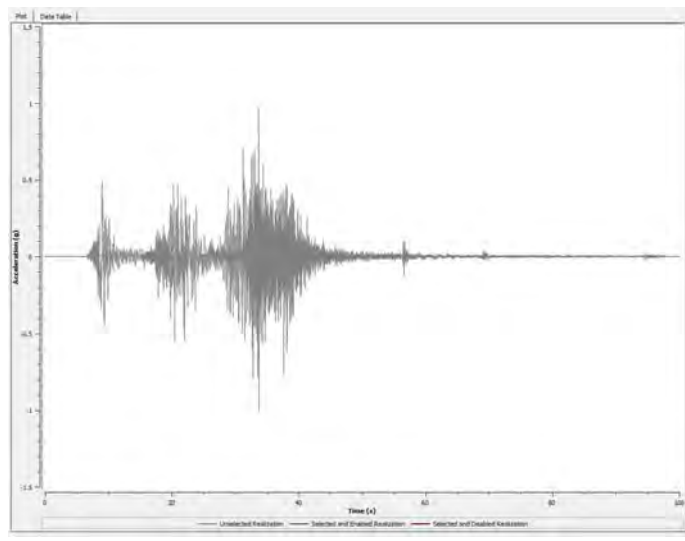


Fig. 19 - Accelerogramma in superficie

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 36 di 44

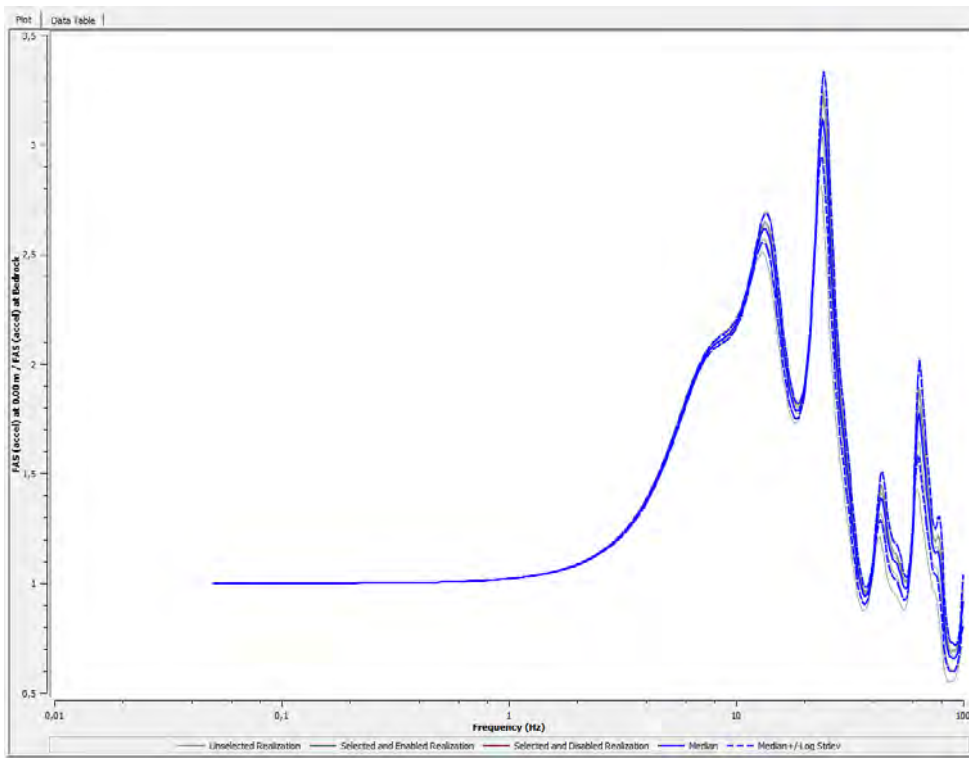


Fig. 20 - Funzione di trasferimento da suolo rigido a superficie per SLV classe IV VN 100 anni e TR 1898 anni

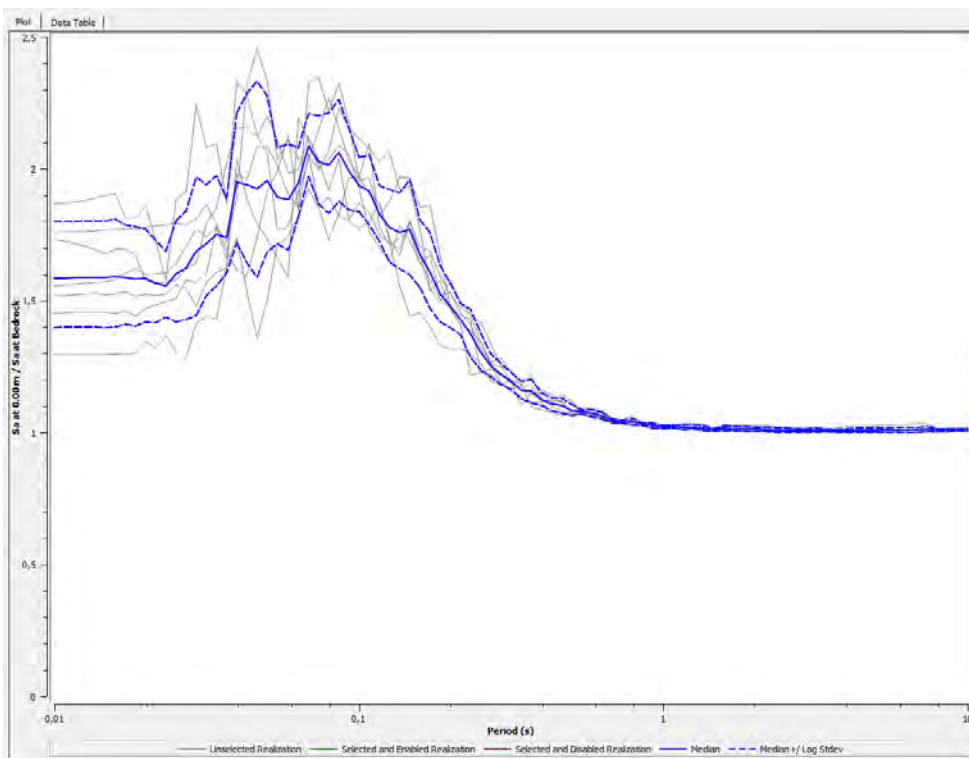


Fig. 21 - Spettro elastico di sito ottenuto dalla modellazione con software STRATA dove si evidenzia lo spettro elastico ottenuto in termini di valori mediani e di intervallo di confidenza superiore e inferiore per SLV classe IV VN 100 anni e TR 1898 anni

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)		
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 37 di 44

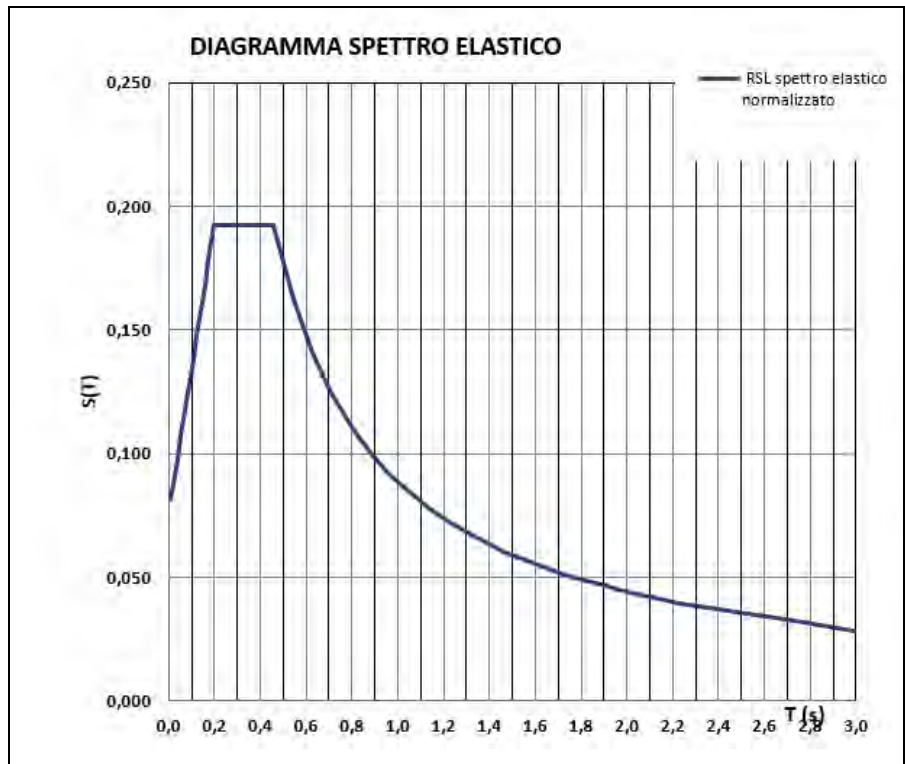


Fig. 22 - Spettro elastico di sito da RSL normalizzato per SLV classe IV VN 100 anni e TR 1898 anni

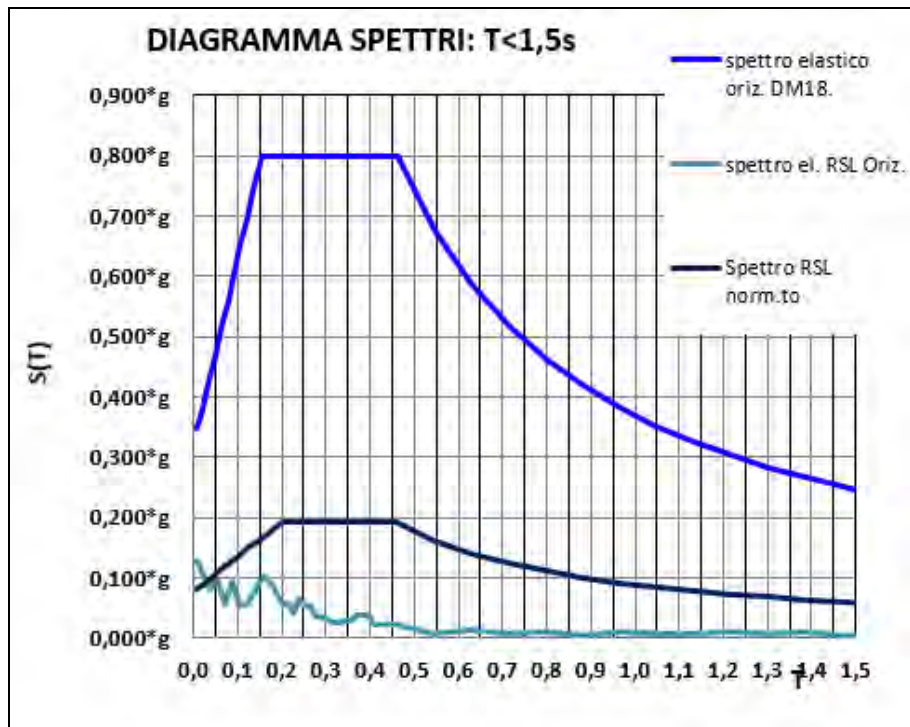


Fig. 23 - Confronto fra spettri elastici di sito da RSL e di normativa NTC18 per suolo di tipo B classe classe IV VN 100 anni e TR 1898 anni

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 38 di 44

Normalizzazione spettro Risposta Sismica Locale			
<i>Parametri indipendenti:</i>			
accelerazione orizzontale massima al sito	ag /g		0,283 g
amplificazione spettrale massima	Fo		2,538 g
smorzamento	η		1,000 g
Amplificazione sismica max locale (da grafico RSL)	Se(T) max		0,192 g
Amplificazione sismica max da NTC18 (classe B)	max		0,799 g
<i>Parametri dipendenti:</i>			
Coeff. di amplificazione locale (DM 18 eq. 3.2.4)	Se(max)/ag*h*Fo	S _{RSL}	0,268 g
Periodo caratteristico	TB =	s	0,200 g
Periodo caratteristico	Tc =	s	0,460 g
Periodo caratteristico (DM 18 formula 3.2.9)	TD =		2,732 g

Tab. 10 - Parametri da spettro normalizzato RSL e confronto normativa classe IV VN 100 anni e TR 1898 anni

Dal confronto mostrato nella fig. 23, lo spettro elastico di sito ricavato dall'analisi di RSL risulta inferiore allo spettro di normativa per un terreno di tipo B, con un picco di accelerazione massima pari a 0,192 g.

In fig. 20 è riportato il grafico della Funzione di Trasferimento, ottenuta come rapporto tra il picco massimo di accelerazione al bedrock e quello in superficie; tale funzione indica quali sono le componenti del moto sismico che, nell'attraversare il deposito, vengono maggiormente modificate: in particolare amplificate per valori dell'ampiezza maggiori di uno ed attenuate per valori inferiori all'unità.

Dall'analisi del grafico si evince che il valore massimo, corrispondente alla frequenza caratteristica del deposito, risulta essere di circa 25 Hz, valore che denota un contrasto di impedenza superficiale riferibile al bedrock sismico, compatibile con l'assetto sismostratigrafico del sito in esame.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 39 di 44

8 – VERIFICHE DI STABILITÀ

Le verifiche di stabilità del pendio, elaborate con il programma di calcolo *Slope Geostru 2023*, sono state condotte secondo la direttrice A-A' di Tavv. 5 e 6. Quale possibile cinematismo di frana è stato considerato quello roto-traslativo interessante i terreni delle coperture costituiti da depositi alluvionali terrazzati (Unità Litotecnica n° 2).

Le verifiche numeriche sono state eseguite utilizzando il metodo di *Janbu*: tale procedura di analisi dell'*equilibrio limite* studia le condizioni di equilibrio di volumi di terreno (conci) delimitati inferiormente da ipotetiche superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Il coefficiente di sicurezza F_s è espresso dalla seguente equazione che, per la presenza del medesimo coefficiente di sicurezza anche al numeratore, va risolta con una procedura di tipo iterativo, fino all'ottenimento della convergenza su un valore praticamente costante di F_s :

$$F_s = \frac{\sum_{(i=1-n)} \{ [c'_i \Delta x_i + (\gamma_i - u_i \Delta x_i) \operatorname{tg} \phi_i] / \cos^2 \alpha_i [(1 + \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) / F_s] \}}{\sum_{(i=1-n)} \gamma_i \operatorname{tg} \alpha_i}$$

dove:

F_s = coefficiente di sicurezza

c'_i = coesione agente lungo la base del concio i-esimo

u_i = pressione neutra dell'acqua $\gamma_w * h_w$

γ_w = peso di volume dell'acqua

h_w = altezza dell'acqua sulla base del concio

Δx_i = lunghezza del concio lungo l'orizzontale

α_i = inclinazione alla base del concio i-esimo

γ_i = peso del volume di terra compreso nel concio i-esimo

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 40 di 44

Le verifiche, limitate alla sola porzione di versante interessata dall'intervento in oggetto, tengono conto del cosiddetto "effetto scala", ovvero della dipendenza di un dato fenomeno dalla dimensione del campione osservato.

Esse sono state condotte nell'ipotesi di stato futuro (struttura realizzata), in presenza di sollecitazioni sismiche, prendendo in considerazione possibili superfici critiche di rottura di forma circolare coinvolgenti i terreni delle coperture (unità litotecnica 2) poggianti sul substrato geologico (unità litotecniche 3÷4).

Per i calcoli si sono utilizzati i seguenti parametri geotecnici:

	U.L. 2 ALLUVIONI	U.L.3 F. MIO. ALT.	U.L. 4 SUB. MIO
Peso di volume γ kg/m³	1900	2000	2550
Peso di volume saturo γ_s kg/m³	2200	2300	2850
Angolo di attrito ϕ' °	31	30	35
Coesione efficace c' kg/cm²	0,1	0,12	0,2

Le analisi delle condizioni di stabilità del pendio in condizioni sismiche sono state eseguite con metodi pseudo-statici, in accordo con quanto previsto dalle NTC 2018 e dall'EC7. La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza F_s :

$$F_s = (\tau_s/R_2) / \tau_m$$

dove:

τ_s = resistenza al taglio disponibile

τ_m = sforzo al taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento

R_2 = coefficiente di riduzione parziale che si applica alla resistenza al taglio disponibile (Tab. 6.8.1 NTC 2018)

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 41 di 44

Nelle verifiche allo SLU si assume:

Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 = 1,1

dove:

A2 = coefficienti parziali di riduzione per le azioni o effetto delle azioni (Tab. 6.2.I NTC 2018)

M2 = coefficienti parziali di riduzione per i parametri geotecnici del terreno (Tab 6.2.II NTC 2018)

R2 = coefficiente di riduzione parziale che si applica alla resistenza al taglio disponibile (Tab. 6.8.I NTC 2018)

Le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica Fh e Fv possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

Con kh e kv coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

a_{\max} = accelerazione massima attesa al sito = $S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$

g = accelerazione di gravità

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T)

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

I valori di β_s sono riportati nella seguente tabella (Tab. 7.11.I delle NTC 2018):

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com		Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)		
Elaborato:	Committente:	Comm:	Rev:	Pagina:
Relazione geologica e sismica	Regione Marche	05-23	0	42 di 44

Quale fattore di sicurezza minimo accettabile, si è assunto $F_s > 1,3$. Rimandando ai grafici e tabulati allegati i risultati delle verifiche effettuate, vengono riassunti gli elementi della superficie critica con coefficiente di sicurezza più basso:

Verifica n°	Metodo di calcolo	Elementi considerati nel calcolo	Superficie di scivolamento	Coefficiente di sicurezza $F_{s_{min}}$
1	Janbu	Falda acquifera interf. cop.-sub. Sollecitazioni sismiche Carico distribuito 2 kg/cm ²	circolare	2,77
2	Janbu	Falda acquifera a - 1 m da p.c. Sollecitazioni sismiche Carico distribuito 2 kg/cm ²	circolare	2,63

I calcoli sono stati eseguiti supponendo superfici di scivolamento di forma circolare, tenendo conto della presenza di una falda acquifera con la superficie piezometrica posta all'interfaccia tra substrato e coperture (verifica nr. 1). Nella verifica nr. 2 si è ipotizzata la risalita della stessa alla quota di -1 m dal p.c.

E' stato inoltre considerato un carico distribuito di 2 kg/cm² per simulare la presenza delle strutture (stato futuro).

Come si può vedere da risultati dei calcoli, riportati integralmente in appendice, tutte le verifiche risultano soddisfatte.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 43 di 44

9 – STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Si denomina genericamente liquefazione una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno (§ 7.11.3.4 NTC 2018, Eurocodice 8 Parte 5).

Il potenziale di liquefazione è incrementato in maniera rilevante dalle azioni cicliche prodotte dal terremoto, che riducono il volume dei vuoti aumentando di conseguenza la pressione interstiziale. Questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli del terremoto, dalla densità relativa e dalla granulometria del terreno.

In accordo con quanto previsto dal § 7.11.3.4 NTC 2018, non si ritiene necessario procedere alla verifica a liquefazione, in quanto le litologie presenti permettono di escludere fenomeni di instabilità locali dovuti a liquefacibilità dei terreni.

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina: 44 di 44

10 – CONCLUSIONI

Gli interventi in oggetto sono compatibili con la attuale situazione geologico-geomorfologica, purché si tenga conto di quanto esposto nei precedenti capitoli.

L'area è caratterizzata dalla presenza di terreni alluvionali costituiti da ghiaie e brecce calcaree in matrice limoso argillosa, di spessore 4,5 ÷ 6,5 m, poggianti su di un substrato calcareo-marnoso afferente alla formazione miocenica del Bisciario.

Dalle prove in sito effettuate si è ottenuto un valore delle onde sismiche di taglio $V_{s,30}$ pari a 527 m/sec. I terreni sono riferibili alla categoria di suolo di fondazione "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.* Per quanto concerne l'amplificazione sismica attesa, dal confronto mostrato nella fig. 23, lo spettro elastico di sito ricavato dall'analisi di RSL risulta inferiore allo spettro di normativa per un terreno di tipo B, con un picco di accelerazione massima pari a 0,192 g.

Al fine di trasferire i carichi di esercizio della nuova struttura a terreni omogenei come risposta sismica, dovranno essere adottate fondazioni di tipo profondo intestate nella Unità Litotecnica 3, costituita dai calcari marnosi con intercalazioni marnoso-argillose della formazione miocenica del Bisciario.

In corso d'opera si dovrà controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, adeguando di conseguenza il modello geotecnico ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

Ancona, maggio 2023



dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina:
<h1>APPENDICE</h1>				

dott. geol. Maurizio Mainiero Via XXIX Settembre 2/o – 60122 Ancona tel: 071.2361695 – cell: 348.3884368 e-mail: info@studiogeologico.com	Lavoro: Realizzazione nuova struttura sanitaria da adibire a casa della comunità e ospedale di comunità di Cagli (PU)			
Elaborato: Relazione geologica e sismica	Committente: Regione Marche	Comm: 05-23	Rev: 0	Pagina:

BIBLIOGRAFIA

Centamore & Micarelli, 1991: L'Ambiente Fisico delle Marche: geologia, geomorfologia, idrogeologia - Ed. S.E.L.C.A. srl.

ARCHIVI E DATABASE

Autorità di bacino della Regione Marche: Piano di stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico - P.A.I. approvato in via definitiva con D.C.R. 116/2004.

Database ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - <http://www.isprambiente.it> .

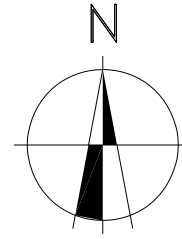
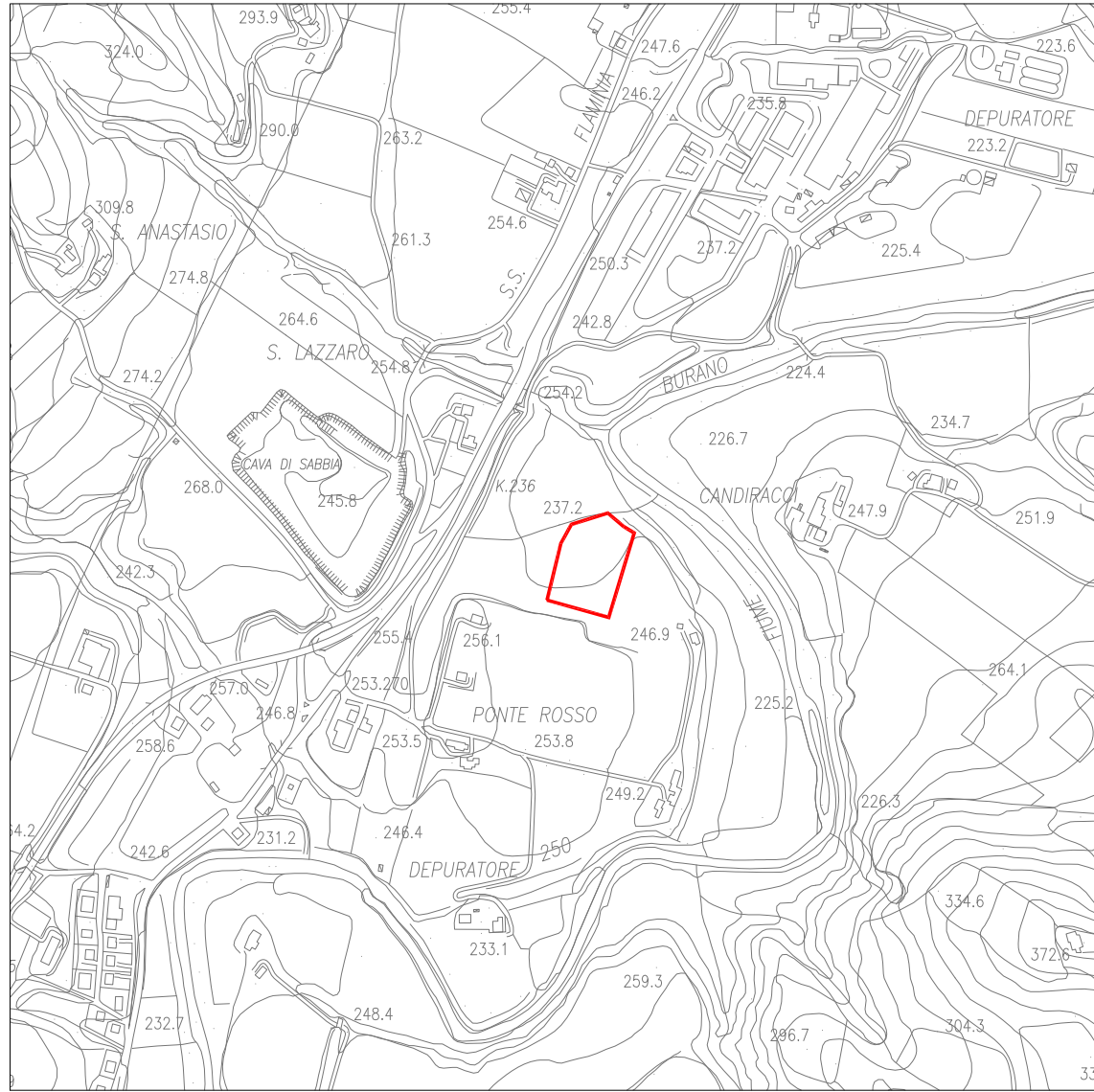
Russo E., Felicetta C., D'Amico M., Sgobba S., Lanzano G., Mascandola C., Pacor F., Luzi L., (2022): Italian Accelerometric Archive v3.2 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento della Protezione Civile Nazionale. doi: 10.13127/itaca.3.2.

Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche - CNR GNDCI Progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane).

LAVORI PROFESSIONALI

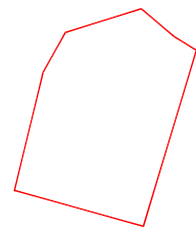
Panichi E. & Del Moro S., 2012: Microzonazione sismica di Livello 1 del Comune di Cagli.

La Corte M. & Celli L., 2018: Microzonazione sismica di Livello 2 del Comune di Cagli.




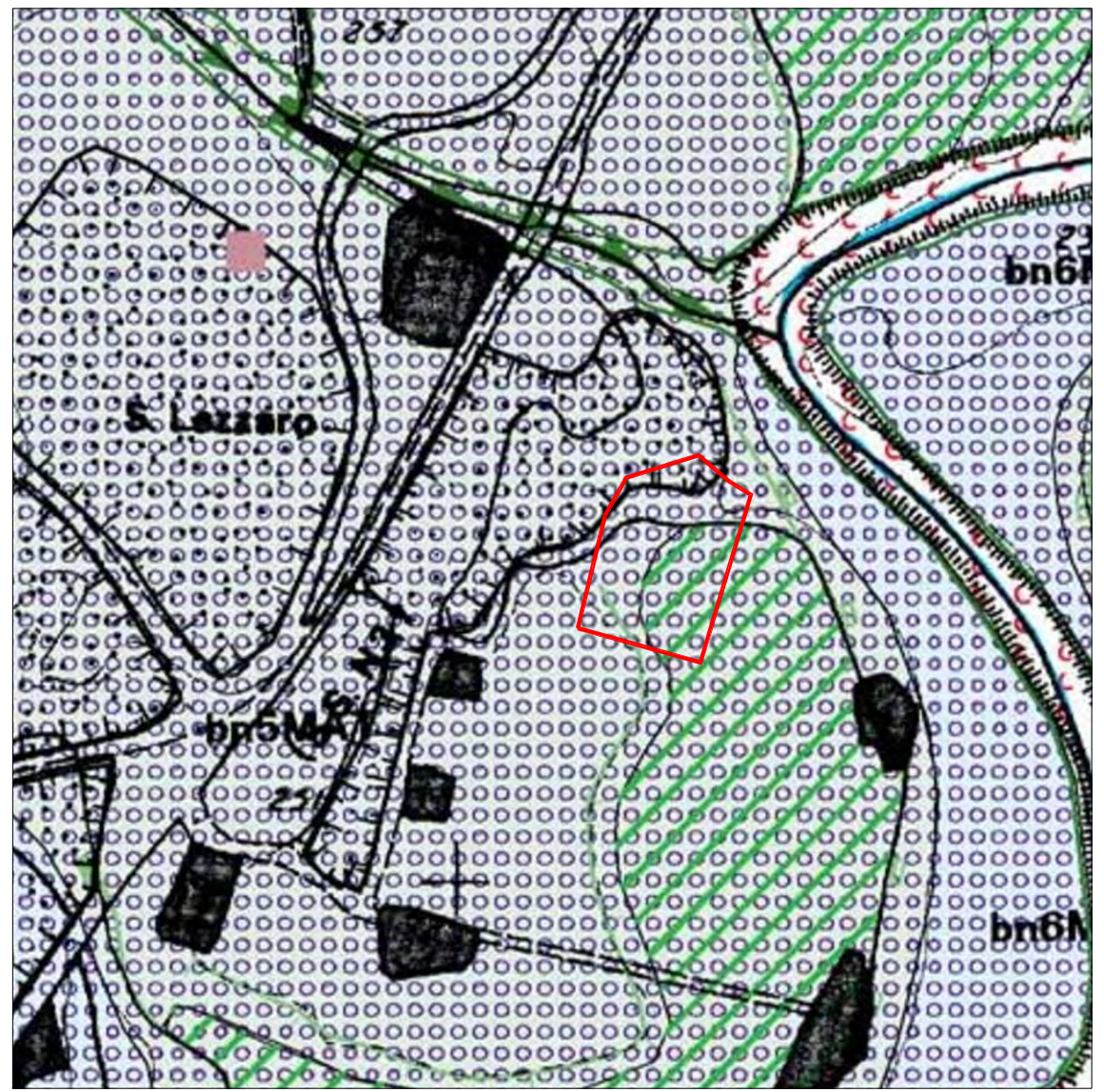
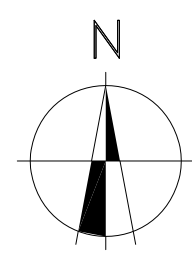
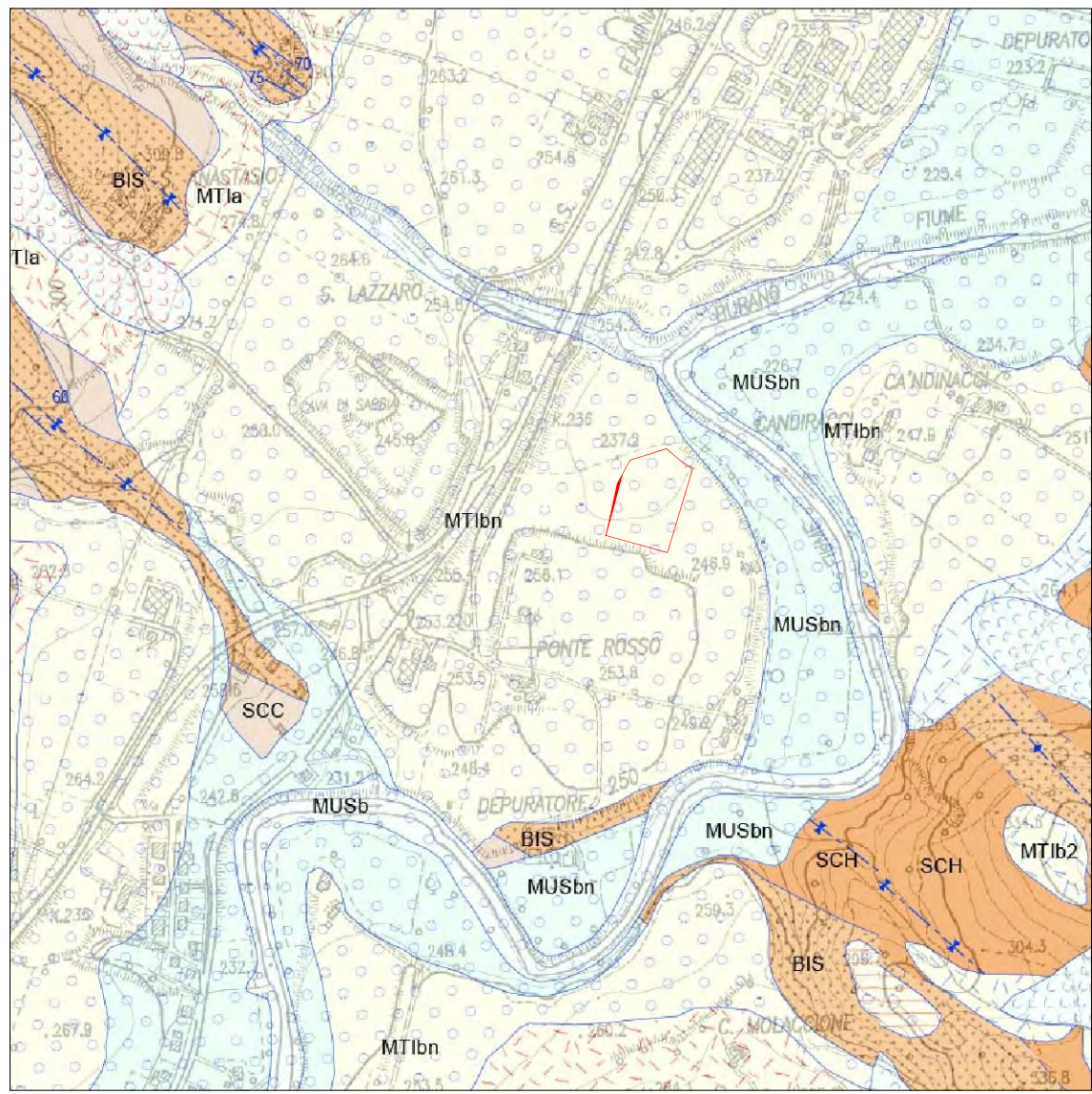
STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE SEZZ. 290040 - 291010 - SCALA 1: 10000

STRALCIO GOOGLE EARTH 2022 - SCALA 1: 5000



Ubicazione della nuova struttura sanitaria

	Lavoro:		TAV.1 REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)	
	Elaborato:			Scala: VARIE
	Redaz.:	M. Mainiero	COROGRAFIA	
	Collab.:			
	Comm. N°:	05-23 rev. 0		
Ns. Rif.:	P2\E\2023\05			
Data:	MAGGIO 2023			
Committente:				
REGIONE MARCHE				



STRALCIO CARTA GEOLOGICA REGIONALE SEZZ. 290040 - 291010 - SCALA 1: 10000

STRALCIO CARTA GEOMORFOLOGICA REGIONALE SEZ. 290040 - SCALA 1: 5000

	MUSa1	Frane in evoluzione		SCH	SCHLIER Langhiano - Messiniano
	MUSa1q	Frane senza indizi di evoluzione		BIS	BISCIARO Aquitano p.p. - Burdigaliano p.p.
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali		SCC	SCAGLIA CINEREA Priaboniano p.p. - Aquitano p.p.
	MUSb	Depositi alluvionali attuali (ghiaia, sabbia, limo)			Contatto stratigrafico e/o litologico
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)			Stratificazione diretta
	MT1a	Depositi di versante			Traccia di superficie assiale di sinclinale
	MT1b2	Depositi eluvio-colluviali			
	MT1bn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)			

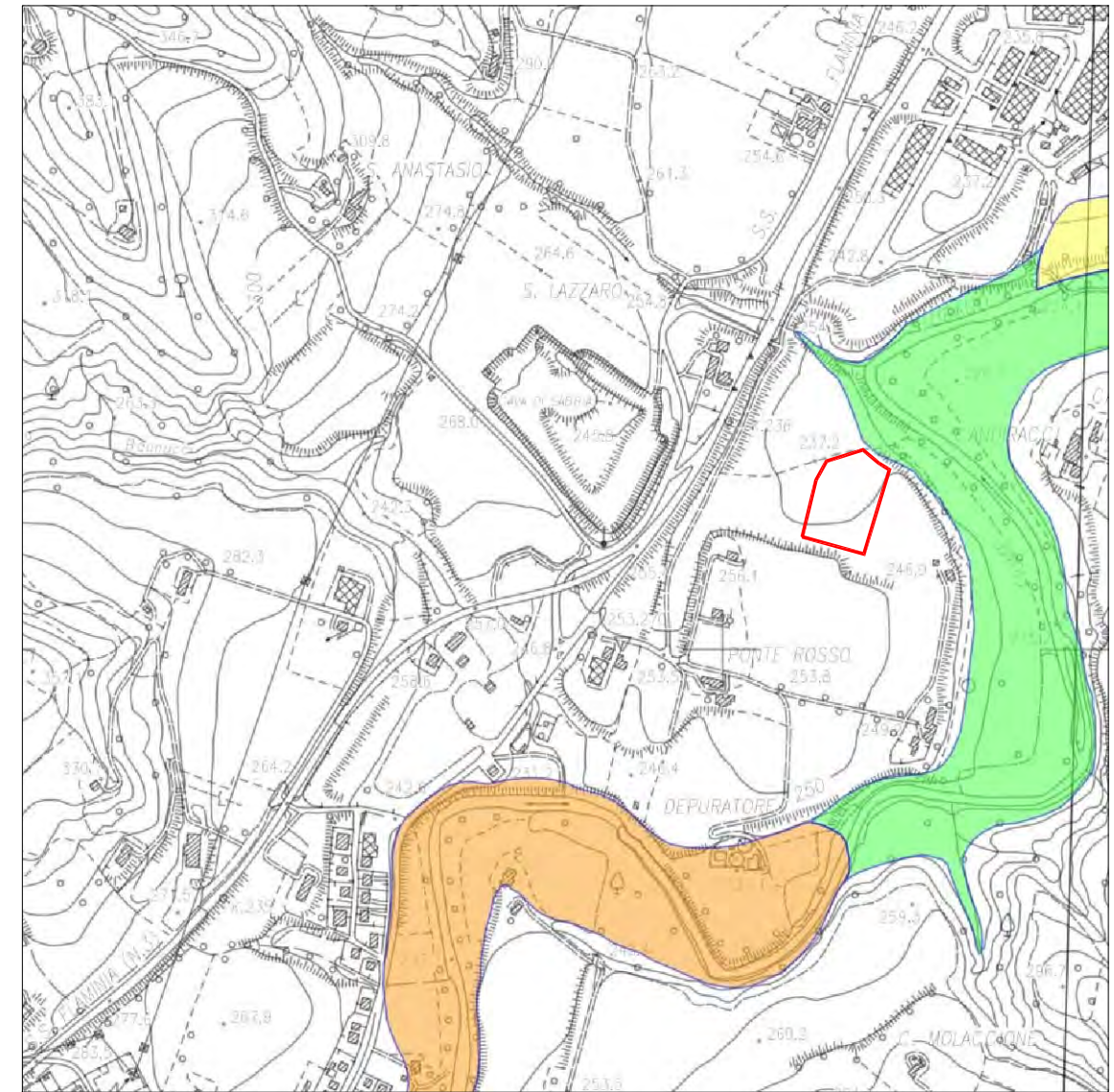
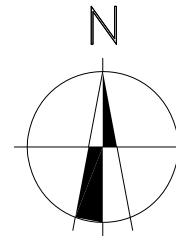
	Alluvioni e conoidi terrazzate (ghiaie) bn6MUS		Ripiano di erosione
	Alluvioni e conoidi terrazzate (ghiaie) bn5MAT		Orlo di scarpata di cava

	Lavoro:	REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)	TAV.2
	Elaborato:	CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA	
	Redaz.:	M. Mainiero	
	Collab.:		
	Committente:	REGIONE MARCHE	




STRALCIO PROGETTO IFFI

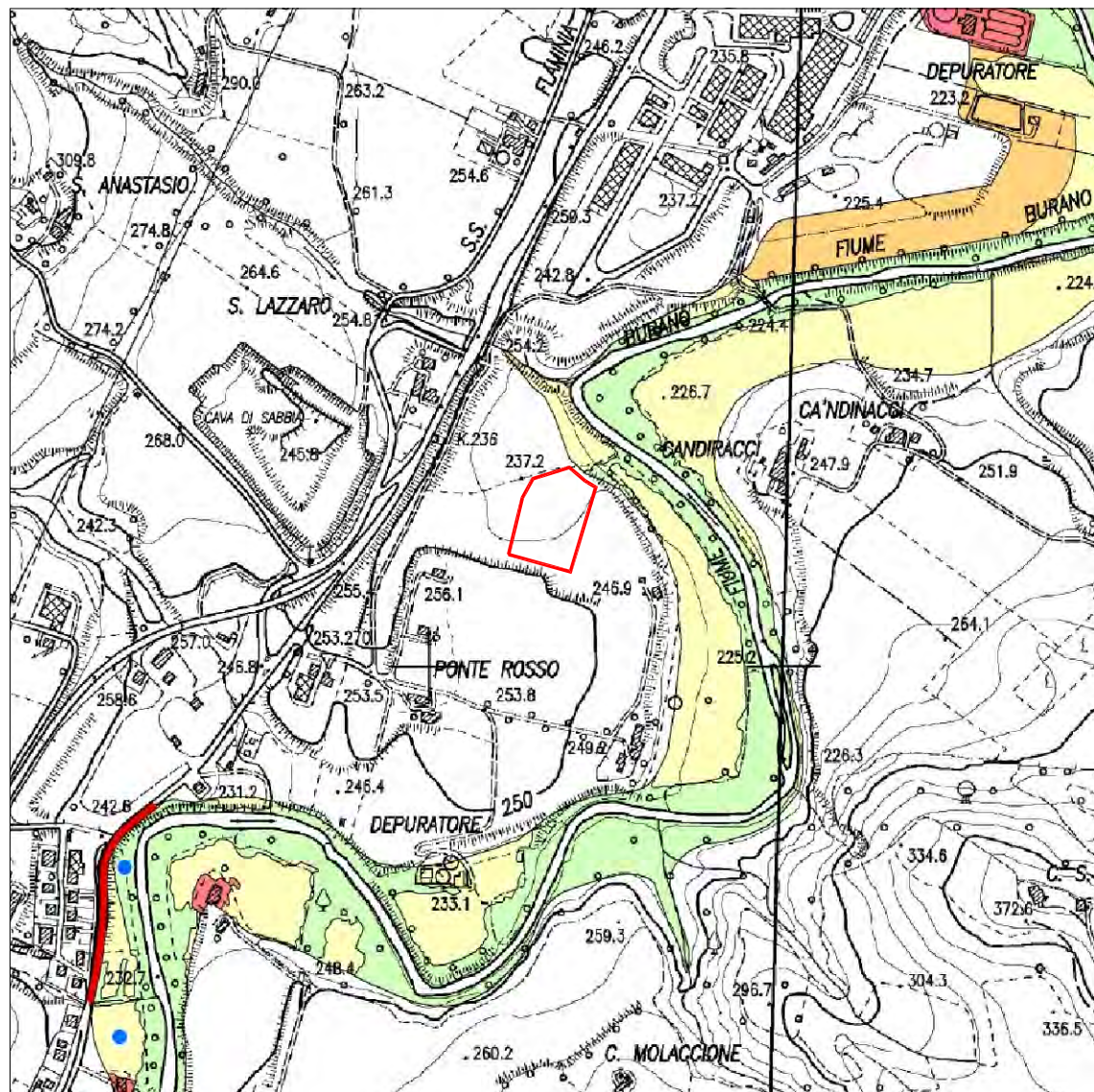
- Punto Identificativo del Fenomeno Franoso (PIFF)***
- Scheda frane di 1° Livello
 - Scheda frane di 2° Livello
 - Scheda frane di 3° Livello
- Evento franoso**
- Evento franoso
- Tipologia di frana**
- Frane lineari
 - Crollo/Ribaltamento
 - Scivolamento rotazionale/traslattivo
 - Espansione
 - Colamento lento
 - Colamento rapido
 - Sprofondamento
 - Complesso



STRALCIO P.A.I. TAV. RI 26A

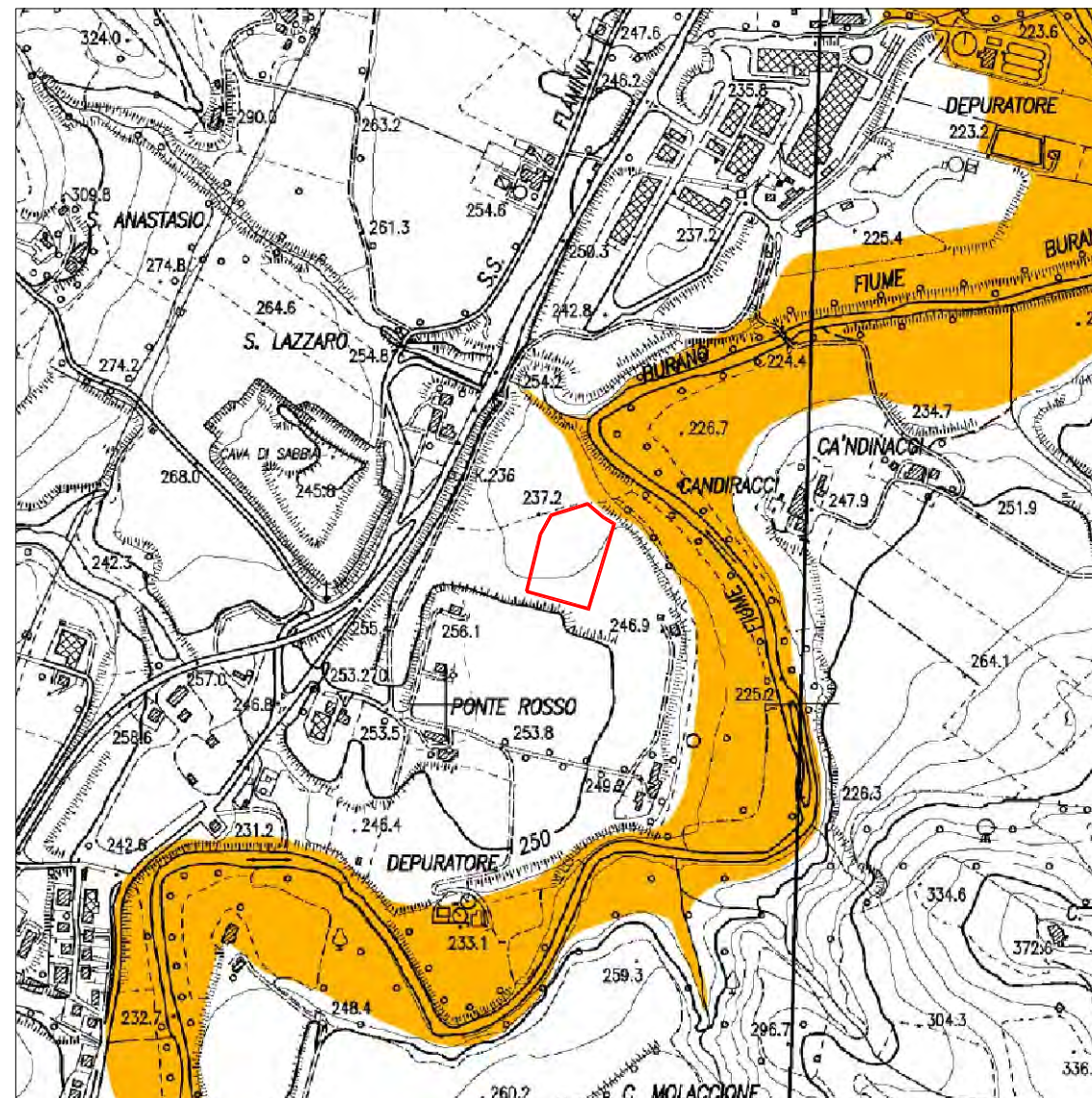
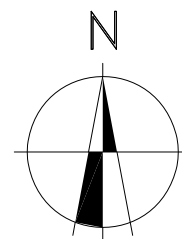
- | Area a rischio frana
(Codice F-xx-yyyy) | Area a rischio esondazione
(Codice E-xx-yyyy) |
|--|--|
| ■ Rischio moderato (R1) | ■ Rischio moderato (R1) |
| ■ Rischio medio (R2) | ■ Rischio medio (R2) |
| ■ Rischio elevato (R3) | ■ Rischio elevato (R3) |
| ■ Rischio molto elevato (R4) | ■ Rischio molto elevato (R4) |

	Lavoro:	TAV.3 REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)
	Redaz.: M. Mainiero Collab.: Comm. N°: 05-23 rev. 0 Ns. Rif.: P2\E\2023\05 Data: MAGGIO 2023 Committente: REGIONE MARCHE	
		Scala: 1: 10000




STRALCIO CARTA DEL RISCHIO - ITI028 - TAV. 9R

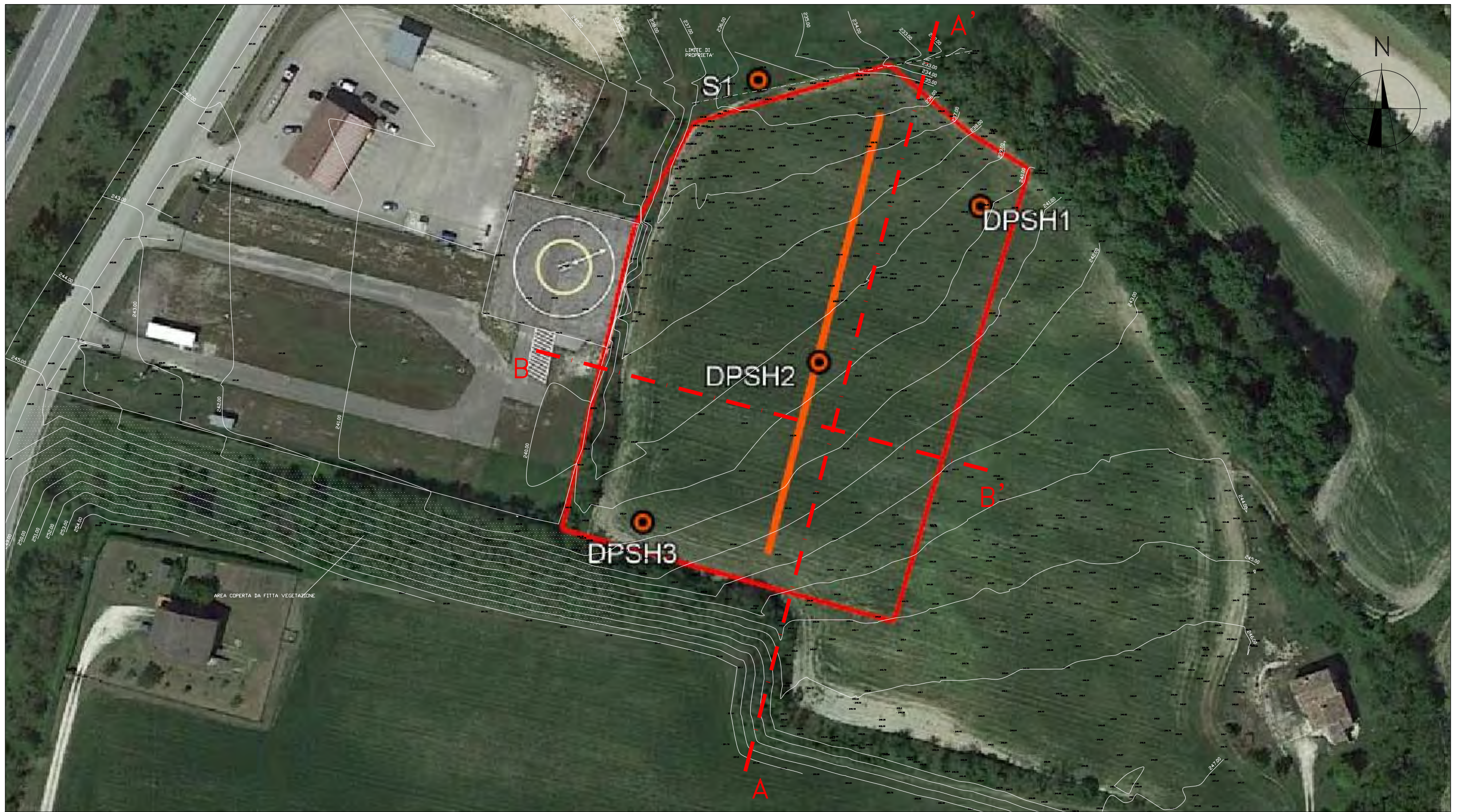
- R4 - Rischio molto elevato
- R3 - Rischio elevato
- R2 - Rischio medio
- R1 - Rischio moderato o nullo







STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' - ITI028 - TAV. 9P

- P3 - elevata probabilità (alluvioni frequenti)
- P2 - media probabilità (alluvioni poco frequenti)
- P1 - bassa probabilità (alluvioni rare di estrema intensità)

	<p>Lavoro:</p> <p>REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)</p>	TAV.4
	<p>Redaz.: M. Mainiero</p> <p>Collab.:</p> <p>Comm. N°: 05-23 rev. 0</p> <p>Ns. Rif.: P2\E\2023\05</p> <p>Data: MAGGIO 2023</p> <p>Committente:</p> <p style="text-align: center;">REGIONE MARCHE</p>	<p>Elaborato:</p> <p>PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO CENTRALE - P.G.R.A.A.C.</p>



-  S1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
-  DPSH1 Prova penetrometrica dinamica DPSH
-  Indagine sismica a rifrazione
-  Traccia di sezione geologica

	
Redaz.:	M. Mainiero
Collab.:	
Comm. N°:	05-23 rev. 0
Ns. Rif.:	P2\E\2023\05
Data:	MAGGIO 2023
Committente:	REGIONE MARCHE

Lavoro:	REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)	TAV.5
Elaborato:	PLANIMETRIA STATO ATTUALE	Scala: 1: 1000



A — — — A' Traccia di sezione geologica



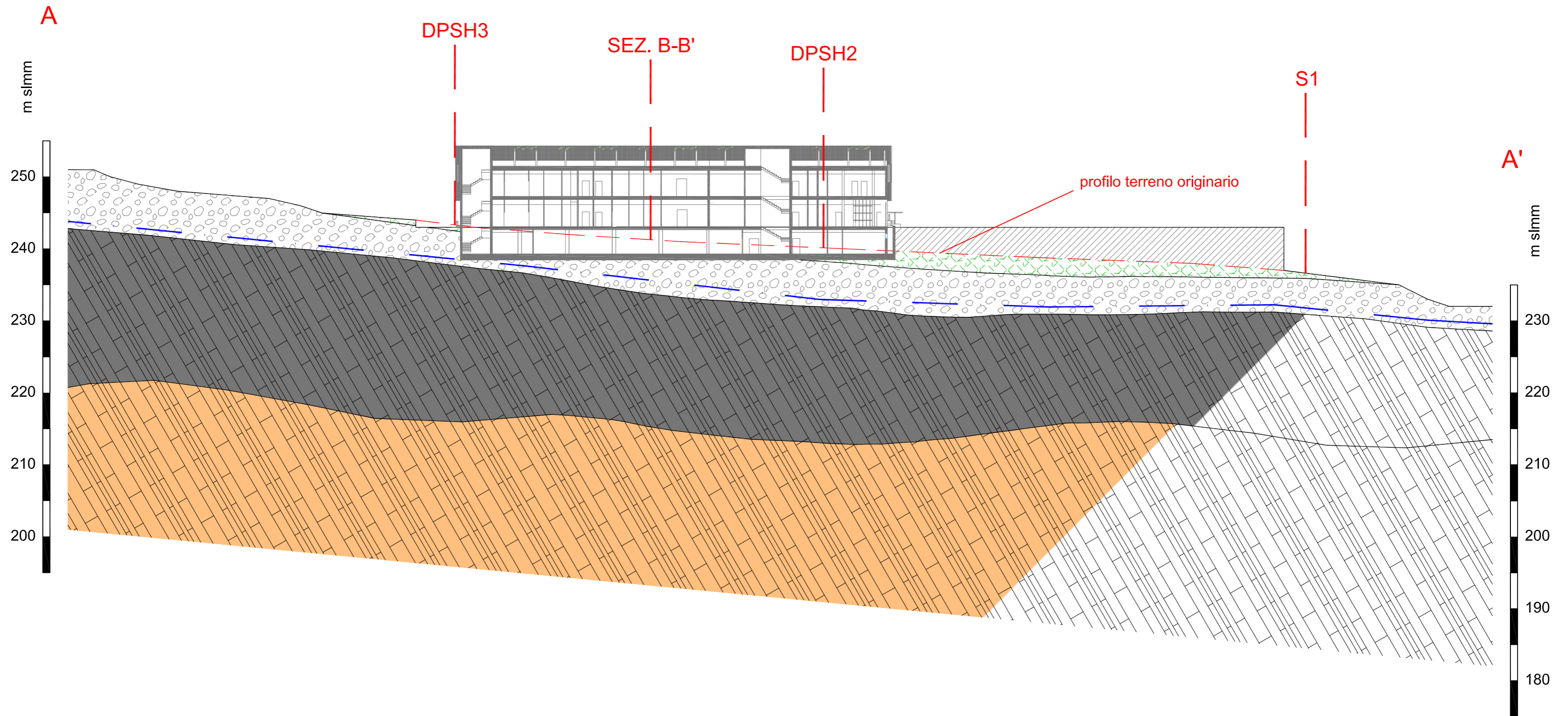
Redaz.:	M. Mainiero
Collab.:	
Comm. N°:	05-23 rev. 0
Ns. Rif.:	P2\E\2023\05
Data:	MAGGIO 2023
Committente:	REGIONE MARCHE

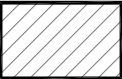
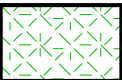
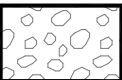
Lavoro:
 REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA
 DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E
 OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)

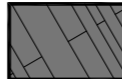
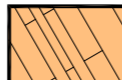

TAV.6

Elaborato:
 PLANIMETRIA STATO FUTURO

Scala:
 1: 1000



-  TERRAPIENO DI PROGETTO
-  TERRENO VEGETALE E DEPOSITI DI COPERTURA SUPERFICIALI
Limo argilloso con abbondante ghiaia e breccia calcarea
-  DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI
Ghiaie e breccie calcaree in matrice limoso-argillosa

-  FORMAZIONE MIOCENICA ALTERATA E DECOMPRESSA
Calcari marnosi con intercalazioni marnoso-argillose alterati e fratturati
-  FORMAZIONE MIOCENICA IN FACIES INALTERATA
Calcari marnosi con intercalazioni marnoso-argillose
-  Livello piezometrico circolazione idrica sotterranea



Redaz.: M. Mainiero
 Collab.:
 Comm. N°: 05-23 rev. 0
 Ns. Rif.: P2\E\2023\05
 Data: MAGGIO 2023

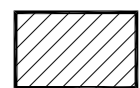
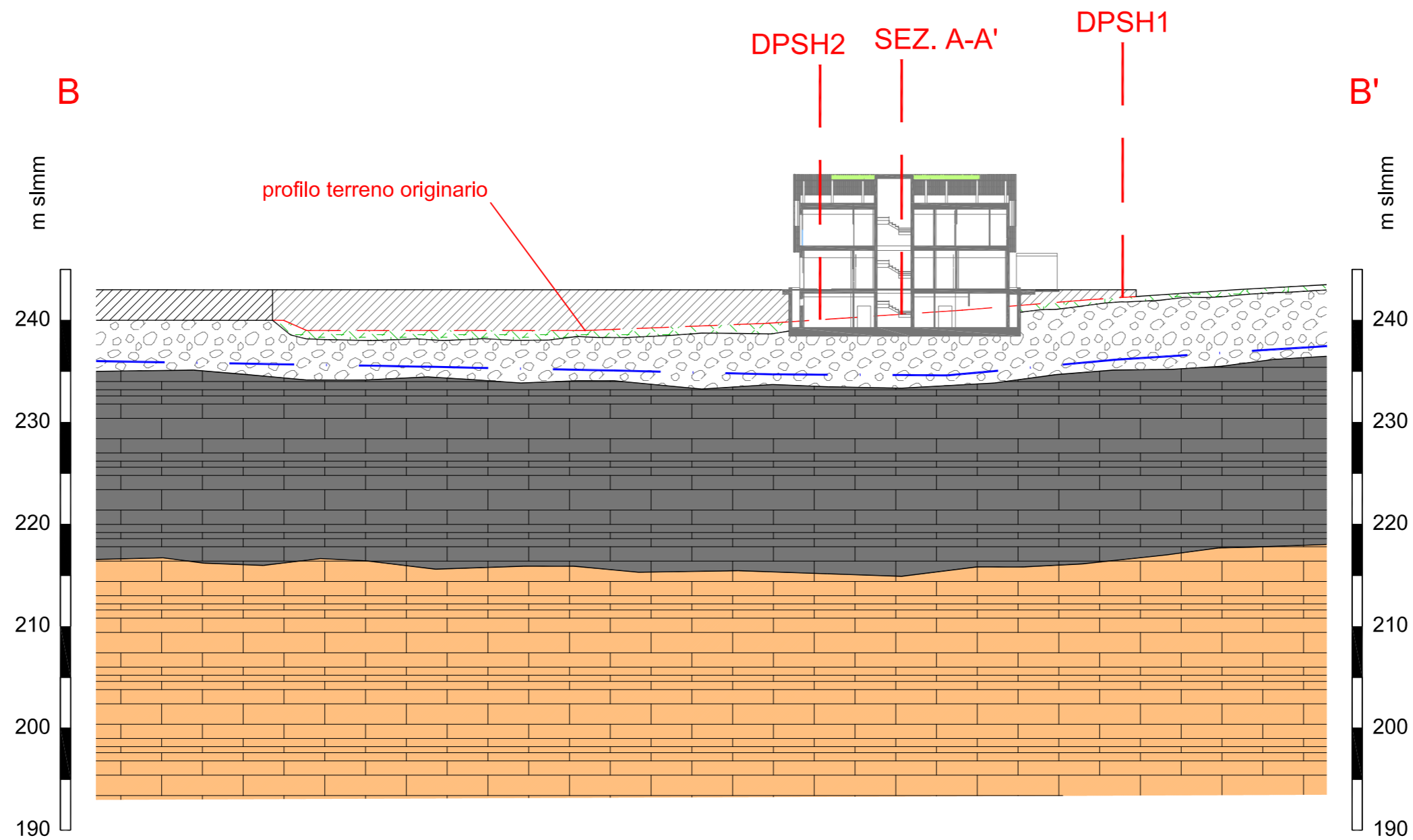
Committente:
 REGIONE MARCHE

Lavoro:
 REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA
 DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E
 OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)

Elaborato:
 SEZIONE GEOLOGICA A - A'

TAV.7

Scala:
 1: 500



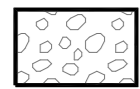
TERRAPIENO ESISTENTE



TERRAPIENO DI PROGETTO



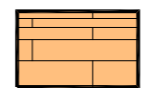
TERRENO VEGETALE E DEPOSITI DI COPERTURA SUPERFICIALI
Limo argilloso con abbondante ghiaia e breccia calcarea



DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI
Ghiaie e breccie calcaree in matrice limoso-argillosa



FORMAZIONE MIOCENICA ALTERATA E DECOMPRESSA
Calcarei marnosi con intercalazioni marnoso-argillose alterati e fratturati



FORMAZIONE MIOCENICA IN FACIES INALTERATA
Calcarei marnosi con intercalazioni marnoso-argillose



Livello piezometrico circolazione idrica sotterranea



Redaz.: M. Mainiero
Collab.:
Comm. N°: 05-23 rev. 0
Ns. Rif.: P2\NE\2023\05
Data: MAGGIO 2023

Committente:
REGIONE MARCHE

Lavoro:

REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA
DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITA' E
OSPEDALE DI COMUNITA' DI CAGLI (PU)

Elaborato:

SEZIONE GEOLOGICA B - B'

TAV.8

Scala:

1: 500



**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE PER REALIZZAZIONE
OSPEDALE SITO IN VIA ANTONIO MECCI NEL COMUNE DI CAGLI (PU)**

Oggetto: Indagine Geognostica

Committente: Regione Marche - Sett. Edilizia Sanitaria, Ospedaliera e Scolastica

Commessa: 199-23

Falconara M.ma, lì Aprile 2023

Il Responsabile GECO srl
Dott. Marco Gaggiotti



328-2040857

INDICE

1. PREMESSA	3
1.1 Geognostica	3
1.2 Geofisica	4
2. INDAGINI GEOTECNICHE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1 Indagini geotecniche.....	5
2.2 Attrezzature di perforazione.....	5
2.3 Prove SPT (STANDARD PENETRATION TEST).....	6
3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE "DPSH"	7
4. SISMICA A RIFRAZIONE	8
4.1 Cenni teorici.....	8
4.2 Modalità di acquisizione.....	9
4.3 Elaborazione in tecnica tomografica	10
4.1 Moduli Elastici Dinamici.....	11
5. CONCLUSIONI.....	12

TAVOLE:

- TAV. 1 – Ubicazione indagini;
- TAV. 2A - Sezioni sismiche tomografiche Onde P ed Onde Sh
- TAV. 2B – Sezione sismostratigrafica interpretativa

ALLEGATI INDAGINE GEOGNOSTICA:

- All.1 – SONDAGGI GEOGNOSTICI – Stratigrafia e Documentazione fotografica;
- All.2 – PROVE PENETROMETRICHE - Tabulati e grafici;
- All.3 – PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO – Certificati ed elaborati.

ALLEGATI INDAGINE GEOFISICA:

- All.1 – Dromocrone Linea sismica

1. PREMESSA

Su incarico della Regione Marche e per conto del Dott. Geol. Maurizio Mainiero, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche finalizzate alla realizzazione di nuovo ospedale sito in via Antonio Meucci nel comune di Cagli (PU).

Le indagini sono state eseguite secondo il programma riportato.

1.1 Geognostica

- esecuzione di n°1 sondaggio meccanico realizzato a carotaggio continuo (cc), spinto alla profondità di 10,00 m dal p.c.

Sond.	Carotaggio Continuo semplice		Carotaggio con carotiere doppio T6		Rivestimento ϕ 127 mm (m)	Data
	da	a	da	a		
S1	0,00	6,50	6,50	10,00	6,00	29/03/2023

Tab.1 – Elenco Sondaggi geognostici.

- esecuzione di n° 1 prova SPT (Standard Penetrometer Test);

Sond	SPT	Profondità (m)		Valore
		da	a	
S1	SPT1	1,30	1,75	5-5-5

Tab.2 – Elenco prove SPT eseguite.

- prelievo di n°2 campioni rimaneggiati in sacchetto;

Sond.	Campione rimaneggiato in sacchetto	Profondità (m)	
		da	a
S1	CRS1	7,45	7,60
S1	CRS2	9,70	9,80

Tab.3 – Elenco campioni di terreno prelevati.

Durante l'esecuzione del sondaggio è stata redatta dalla Direzione Lavori (Dott. Geol. Maurizio Mainiero) una stratigrafia dei terreni attraversati. Le carote di terreno prelevate sono state riposte in apposite cassette catalogatrici a scomparti.


- esecuzione di n°3 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) spinte a profondità variabili tra 1,60 e 4,40 m dal p.c.

n°	Prova	Profondità		Data
		da	a	
P1	DPSH 1	0,00	1,60	23/03/23
P2	DPSH 2	0,00	3,00	23/03/23
P3	DPSH 3	0,00	4,40	23/03/23

Tab.4 – Elenco prove penetrometriche "DPSH".

1.2 Geofisica

- esecuzione di n°1 stesa di sismica a rifrazione in Onde P ed Onde Sh con n° 24 geofoni spazati 5,0 m ed esecuzione di n° 9 energizzazioni;

Sismica	Prova n°	Lunghezza	Data	Documentazione fotografica
Rifrazione	LN1	120,00	23/03/2023	

Tab.5 – Elenco indagine sismica.

2. INDAGINI GEOTECNICHE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Indagini geotecniche

Il sondaggio geotecnico, consente di effettuare perforazioni a rotazione a "carotaggio continuo" con diametro di foro variabile da 101 mm a 127 mm.

Le applicazioni di questo tipo di indagine sono le seguenti:

- Ricostruzioni stratigrafiche del sottosuolo e l'individuazione di possibili discontinuità presenti;
- Prelievo di campioni indisturbati e/o rimaneggiati per analisi di laboratorio;
- Prove in foro per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni investigati;
- Installazione di strumentazione di varia tipologia in foro di sondaggio;
- Determinazione del livello piezometrico se presente.

2.2 Attrezzature di perforazione

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione COMACCHIO GEO 305 avente le seguenti caratteristiche:

	m.s.	U.S.		
Potenza Motore Engine Power	kW	HP	55,4	74
Livello Emissioni Emission Level	-		Stage 5 / Tier 4 final (HT Ume)	
Corse Mast Mast Feed Stroke	mm	ft-in	1.600 - 3.600	5'3" - 11' 10"
Forza di Spirita Feed Force	daN	lbs	3.500 - 5.000	7.868 - 11.240
Forza di Tiro Retract Force	daN	lbs	3.500 - 5.000	7.868 - 11.240
Coppia Rotary Max Rotary Torque Range	daNm	lb*ft	470 - 1.100	3,466 - 8,113
Giri Rotary Max Rotary Speed Range	rpm		130 - 580	
Serraggio Morse Clamp Range	mm	in	45 - 305	1" 3/8 - 12"
Peso Weight	kg	lbs	4.000 - 9.500	8,800 - 21,000

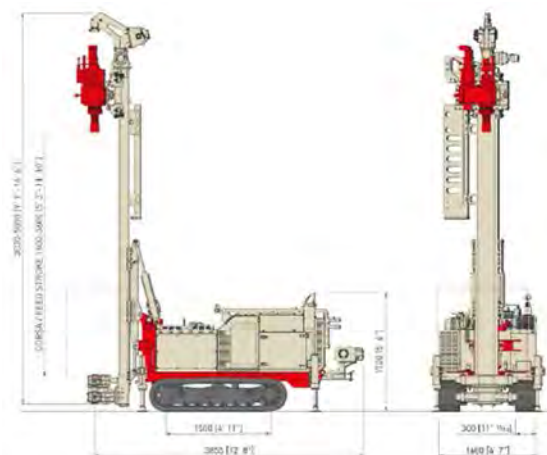


Fig.1: Scheda tecnica sonda perforatrice COMACCHIO GEO 305.

2.3 Prove SPT (STANDARD PENETRATION TEST)

La prova SPT serve a misurare la resistenza al taglio per terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia esistono delle correlazioni tali da permetterne l'utilizzo della prova in qualsiasi terreno sciolto e non facilmente campionabile.

Lo svolgimento della prova, secondo le modalità di esecuzione indicate dalle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana del 1977", prevede l'esecuzione di un foro di sondaggio con il quale si raggiunge la quota desiderata in un certo banco sabbioso. fermata la trivellazione, si inserisce nel terreno una batteria di aste con alla testa un campionatore standard detto Raymond.

La prova consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Durante la prova si misura:

- N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm di profondità (30 cm);
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento (45 cm).

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

- Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63.5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;
- campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima).
Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm.
- nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm, angolo 60°.

3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE "DPSH"

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato utilizzato un penetrometro Pagani modello TG 63-100 avente le seguenti caratteristiche:

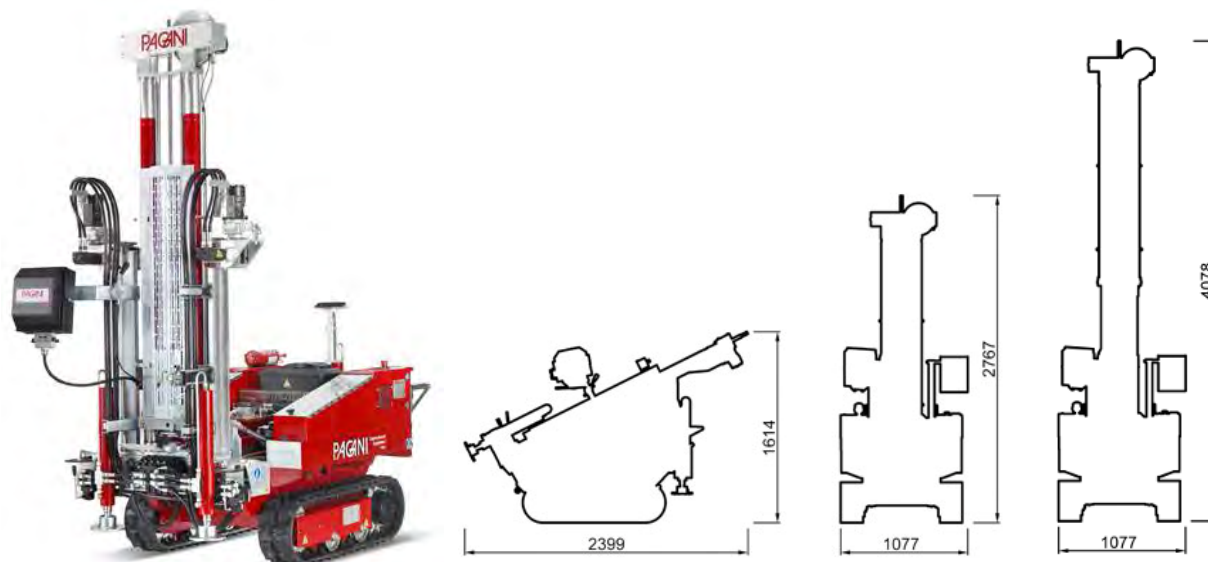


Fig.2: Scheda tecnica Penetrometro Pagani TG 63-100.

La prova penetrometrica dinamica consiste nella misura della resistenza del terreno alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche note, infissa per battuta nel terreno per mezzo di un maglio avente massa standardizzata. Il numero di colpi necessario per avanzare di 20 cm permette di determinare la resistenza dinamica del terreno, dalla quale è possibile risalire ai parametri geotecnici significativi.

Vengono infine riportate le caratteristiche standardizzate della punta e del sistema utilizzato:

- Peso Massa battente 63.5 Kg
- Altezza di caduta libera 0.75 m
- Diametro punta conica 51.00 mm
- Area di base punta 20.43 cm²
- Angolo di apertura punta 90 °

4. SISMICA A RIFRAZIONE

4.1 Cenni teorici

La sismica a rifrazione è una delle indagini geofisiche più utilizzate per la conoscenza del sottosuolo. La buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica a rifrazione da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

Tale metodologia è basata sul tempo necessario affinché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte. Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si costruiscono le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale, tramite opportuno programma di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

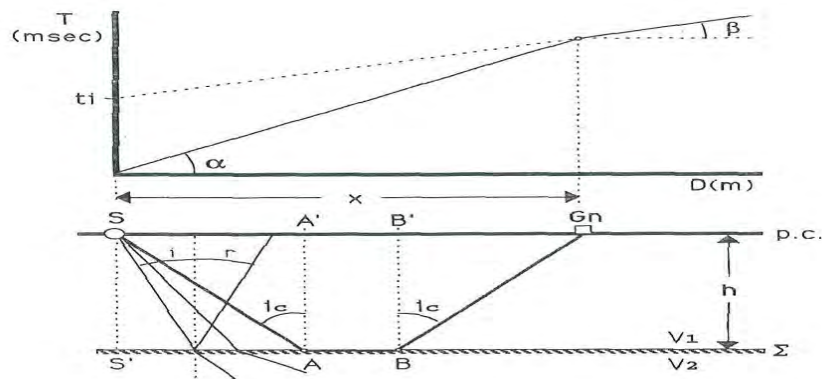


Fig.3: Percorsi delle onde dirette e rifratte e relative dromocrone. S sorgente energizzante; A punto di incidenza della superficie di discontinuità Σ del raggio incidente con angolo pari all'angolo limite i_c ; G_n punto di arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte; t_i tempo intercetto.

I primi tempi di arrivo sono quelli relativi ai raggi diretti attraverso il primo strato e la pendenza della linea (angolo α) che passa per tali punti è il reciproco della velocità di questo strato ($1/V_1$). A partire da una certa distanza dal punto di energizzazione (detta distanza critica e indicata in figura 1 con la lettera X) il tempo impiegato per arrivare al geofono dai raggi che percorrono il tetto dello strato sottostante (più veloce) risulta inferiore a quello degli arrivi diretti. I punti relativi a questi arrivi si allineeranno secondo una retta avente la pendenza di $1/V_2$ (angolo β). Il tempo che corrisponde all'intersezione di ciascun segmento di retta con l'asse dei tempi è detto tempo intercetto. Questo valore, come quello della distanza critica, dipendono direttamente dalla velocità dei materiali e dallo spessore degli strati, e possono quindi essere utilizzati per determinare le profondità dei tetti degli strati stessi.

Si possono ottenere dromocrone, anche nel caso di "n" strati, dove i punti di curvatura indicano il passaggio tra i singoli strati e le velocità calcolate dalle rispettive pendenze dei rami della curva.

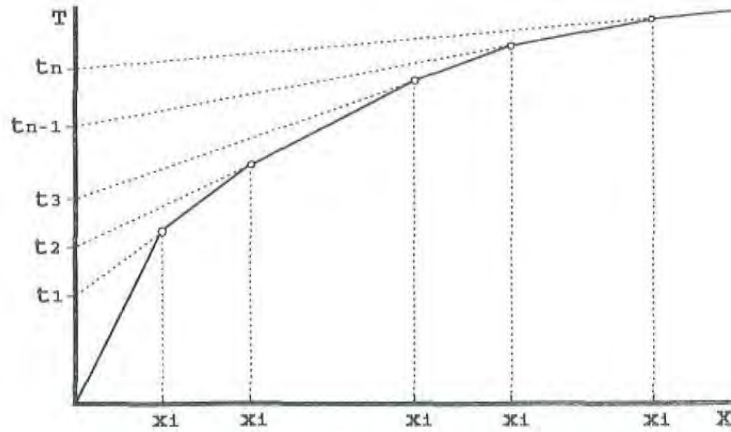


Fig.4: Dromocrona nel caso di stratificazione multipla

4.2 Modalità di acquisizione

È stata realizzata n°1 stesa di simica a rifrazione avente lunghezza di 120 m. Il profilo è stato acquisito sia in onde P che in onde Sh con n° 24 geofoni spazati tra loro di 5,0 m ed esecuzione di n° 9 punti di energizzazione (schema visibile nella Fig.5).

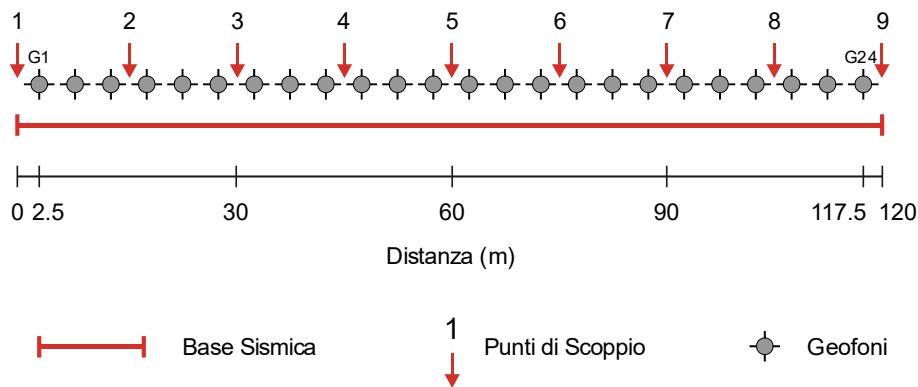


Fig.5: Schema di acquisizione e punti di energizzazione

Per registrare gli impulsi di compressione, sono stati utilizzati geofoni con direzione di vibrazione verticale (14Hz), mentre per le onde di taglio, sono stati impiegati geofoni con direzione di vibrazione orizzontale (10Hz), posizionandoli nel terreno, in direzione ortogonale rispetto allo stendimento. Le onde P sono stata generate, mediante una massa battente (martello da 8Kg), fatta cadere su di una piastra metallica posizionata nel terreno; per originare le onde Sh è stata utilizzata invece una trave (posizionata perpendicolarmente rispetto allo stendimento) in legno, percuotendola con la stessa massa battente utilizzata per le onde P (martello da 8Kg).

4.3 Elaborazione in tecnica tomografica

Per una ricostruzione bidimensionale di dettaglio delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo e con lo scopo di evidenziare eventuali inversioni di velocità sismica dei terreni, sono stati acquisiti profili superficiali di sismica a rifrazione con elaborazione in tecnica tomografica. Al fine di procedere ad elaborazione dati di tipo tomografico è stato necessario utilizzare numerosi punti di energizzazione (n°9 scoppi) per stesa sismica costituita da 24 geofoni.

La ricerca del modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo individuati sui sismogrammi delle registrazioni di campagna viene effettuato in modo iterativo fino al raggiungimento della soluzione che minimizza l'errore fra i tempi misurati e quelli calcolati sulla soluzione ottenuta.

Viene utilizzato un modello di partenza privo di condizioni iniziali al fine di eliminare qualsiasi valutazione preliminare sull'assetto geologico che, in caso di imprecisioni, potrebbe dirottare verso una soluzione che non minimizzi l'errore oppure che lo minimizzi verso un minimo relativo della funzione di convergenza.

Il software utilizzato per la ricostruzione dei tempi di arrivo e dei percorsi d'onda si basa su una soluzione agli elementi finiti per l'Eikonal Equation (Vidale 1988) che tiene conto di tutti i possibili percorsi, onde dirette, rifratte e diffratte che generano i primi arrivi sui sismogrammi. Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all'interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shot effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shot per mantenere costante il dettaglio. Il metodo utilizzato per la soluzione della matrice dei tempi di arrivo e delle velocità è il S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique).

Infine, i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità. Per l'interpolazione è stato utilizzato il metodo della triangolazione con interpolazione lineare.

Il controllo di qualità dei modelli sismostratigrafici è eseguito dalla diretta comparazione grafica tra i tempi di percorso valutati sperimentalmente e quelli calcolati dalla soluzione del modello.

4.1 Moduli Elastici Dinamici

Sono parametri caratteristici di un corpo che stabiliscono una relazione tra deformazioni elastiche e sforzi a cui un corpo è assoggettato.

COEFFICIENTE DI POISSON

Il coefficiente di POISSON è definito dalla seguente equazione:

$$\nu = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

ed è un numero puro in senso stretto. Si può dire che è una misura della deformazione geometrica subita dal corpo. In teoria il suo campo di variabilità risulta compreso tra 0.0 e 0.5, mentre nella pratica si è visto che il range risulta più esteso arrivando anche a valori negativi.

MODULO DI TAGLIO

E' determinabile dalla sola conoscenza delle velocità delle onde SH, è una pressione che si misura in Kg/cm² e nella pratica si indica con G.

E' calcolabile mediante la seguente formula:

$$G = V_s^2 \gamma$$

dove γ = densità.

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei terreni con porosità media è molto esteso.

MODULO DI YOUNG

È definito dalla seguente equazione:

$$E = V_s^2 \gamma [(3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)]$$

dove γ = densità

Il modulo di Young ha le dimensioni di una pressione ed in genere viene misurato in Kg/cm². Nelle rocce risulta molto variabile, fino a valori massimi dell'ordine di 10⁶. In relazione al campo di variabilità di E, le rocce sono state divise in: quasi elastiche, semielastiche e non elastiche. Sono rocce quasi elastiche quelle che presentano un E compreso tra 6*10⁵ e 11*10⁵ Kg/cm², in genere sono rocce a grana molto fine, massicce e metamorfiche (ad esempio i marmi). Sono rocce semielastiche quelle che presentano un E compreso tra 4*10⁵ e 6*10⁵ Kg/cm², sono rocce a grana fine con buona coesione e bassa elasticità (ad esempio dolomie compatte). Sono rocce

non elastiche quelle che presentano un E inferiore a $4 \cdot 10^5 \text{ Kg/cm}^2$, rientrano in questa categoria quasi tutti i terreni e le rocce a grana grossolana, con valori medio alti di porosità e discreta o scarsa coesione.

La seguente tabella riporta il campo di variabilità dei principali moduli elastici, suddivisi in base alle litologie più rappresentative.

LITOTIPO	$E \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$	$G \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$	ν
ARGILLE	20 - $3 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^4$ - $3,6 \cdot 10^4$	0,35 - 0,50
SABBIE	3 - $2 \cdot 10^4$	10 - $5 \cdot 10^3$	0,30 - 0,35
ROCCE LITOIDI SEDIM.	$5 \cdot 10^4$ - $8 \cdot 10^5$	100-20.000	0,20 - 0,40
ROCCE LITOIDI IGNEE	$1,5 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^6$	0,10 - 0,40

Tab.6: Campi di variabilità dei principali moduli elastici in base al tipo di litologia.

N.B. Le classi di litotipi ed i relativi parametri elastici sono dati a puro titolo indicativo; ciò a causa della variabilità delle caratteristiche elastiche, anche di specifici litotipi, per piccole variazioni delle loro condizioni chimico-fisiche in natura.

5. CONCLUSIONI

Nella Tavola 2A, si riportano le sezioni sismiche tomografiche, mentre la 2B mostra la sezione sismostratigrafica interpretativa, dove sono stati evidenziati l'andamento, lo spessore e la velocità sismica media calcolata per ogni intervallo rilevato e segnalati i principali rifrattori individuati.

I materiali investigati sono stati suddivisi in 4 principali sismostrati individuati fino alla profondità massima di esplorazione ottenuta pari a circa 30-35 m e possono essere così riassunti (a partire dalla superficie):

1. il primo intervallo, caratterizzato da velocità medie delle onde P variabili tra 330 e 395 m/sec e velocità delle onde Sh di 215-255 m/sec, presenta uno spessore variabile tra 1,0 e 2,5 metri. Tale orizzonte è costituito da terreno vegetale e depositi di copertura superficiali di basse velocità sismiche.
2. il secondo sismostrato, è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 1530-1735 m/sec e velocità delle onde di taglio intorno ai 390-425 m/sec. Lo spessore risulta compreso in un range variabile tra un minimo di 4,0-4,5 metri ed un massimo di

6,0-6,5 metri. La litologia risulta riconducibile alla presenza di depositi di copertura costituiti da ghiaie e breccie calcaree in matrice limoso argillosa.

3. il terzo sismostrato, è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 2350-2410 m/sec e velocità delle onde di taglio di 740-775 m/sec; lo spessore si aggira attorno ai 15,0-19,0 metri. L'attribuzione litologica, di tale intervallo è riconducibile a calcari marnosi con intercalazioni di livelli marnoso argillosi con un elevato grado di alterazione e fratturazione.
4. il quarto ed ultimo sismostrato, è caratterizzato da un innalzamento dei valori di velocità degli impulsi sismici, che raggiungono valori di 3100-3220 m/sec (onde di compressione) e di 1240-1315 m/sec (onde di taglio). L'attribuzione litologica, risulta essere la medesima del sismostrato precedente, ma in una facies decisamente più compatta.

Mediante i valori di velocità (minimo e massimo) dei sismostrati, sopra individuati, è stato possibile determinare il campo di variabilità dei moduli elastici dinamici, riportati nella tabella seguente:

MODULI ELASTICI DINAMICI - STESA LN1							
Intervallo [n°]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]	γ [Kg/m ³]	E [Kg/cm ²]	G [Kg/cm ²]	ν	Vp/Vs
1	330	155	1900	12402	465	0.3585	2.13
	395	215	1900	22651	895	0.2895	1.84
2	1530	390	2000	89146	3101	0.4653	3.92
	1735	425	2000	106069	3682	0.4681	4.08
3	2350	740	2100	332330	11722	0.4450	3.18
	2410	775	2100	363846	12857	0.4423	3.11
4	3100	1240	2200	950383	34482	0.4048	2.50
	3220	1315	2200	1065141	38780	0.3999	2.45

Tale parametro $V_{S,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio espresso in m/s), è stato calcolato mediante la seguente espressione:

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

con:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati

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

Nella tabella sottostante, vengono riepilogati i valori utilizzati ed i risultati ottenuti del parametro $V_{S,eq}$ come previsto dalle Nuove NTC -D.M. 17 gennaio 2018 s.m.i.:

Progressiva di calcolo (m)	Spessori (m)	Velocità medie (m/sec)	Valore $V_{S,eq}$ (m/sec)
63	2,0	185	527
	6,5	405	
	18,5	760	
	-	>800	

La velocità delle onde " $V_{S,eq}$ " è stata calcolata dall'attuale piano campagna (non conoscendo la profondità esatta del piano di posa delle fondazioni) fino alla profondità di 27,0 m profondità oltre la quale si intercetta il substrato sismico >800 m/sec.

Falconara M.ma, lì Aprile 2023

Il Responsabile
Dott. Geol. Marco Gaggiotti



Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche


Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126



 www.gecogeologia.com

 info@gecogeologia.com

 328.02.82.743 / 328.20.40.857

Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Tavole



Legenda:

S1



Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

DPSHn



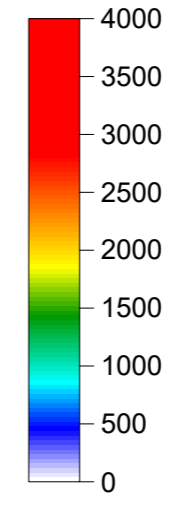
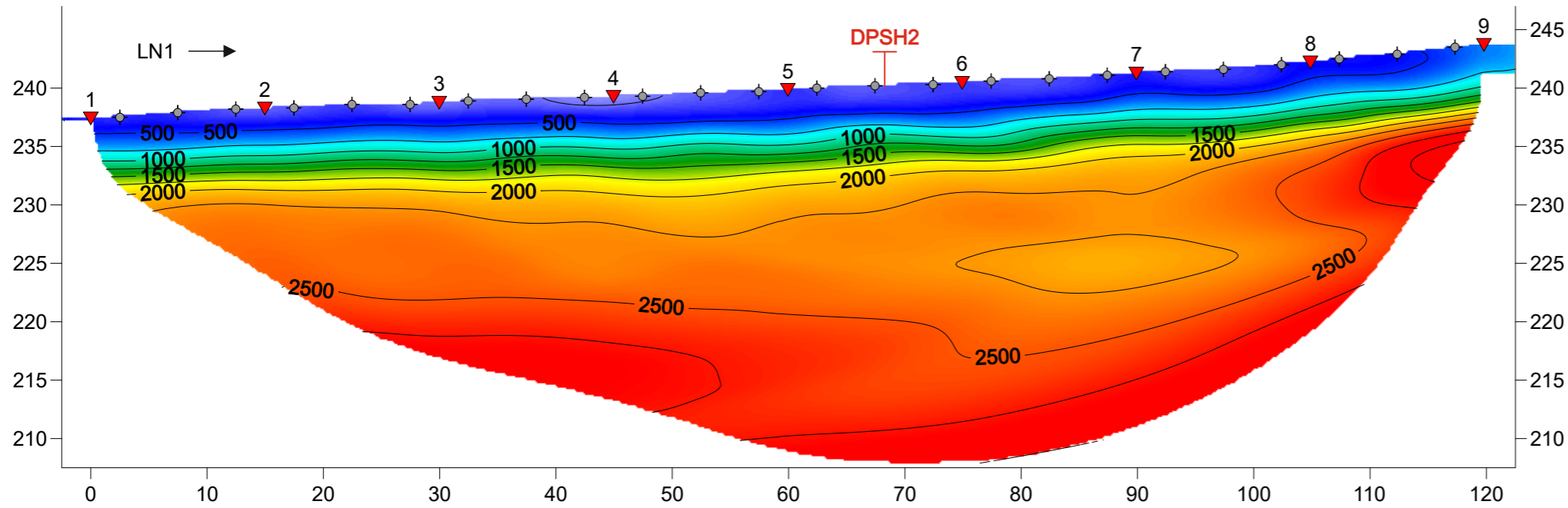
Prova penetrometrica dinamica DPSH

LN1 →



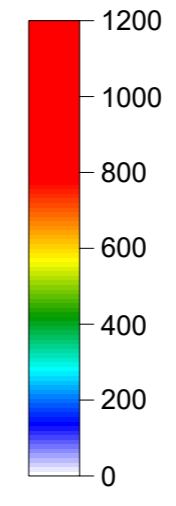
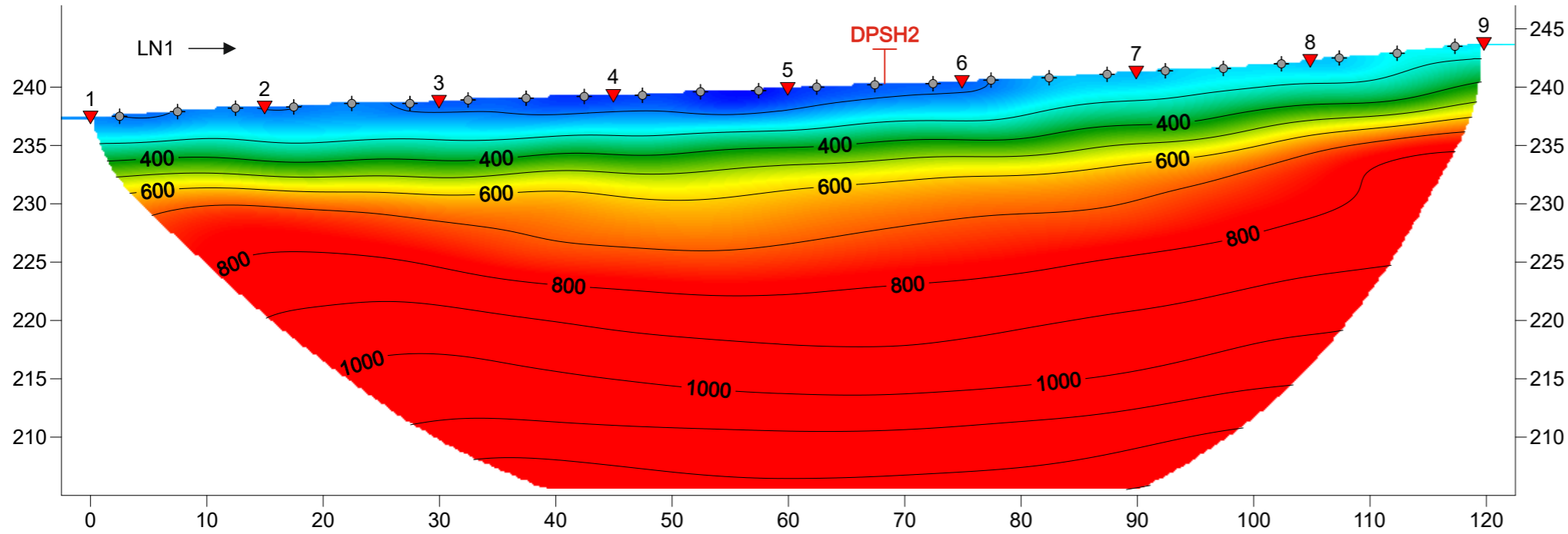
Indagine sismica a rifrazione

STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE P



Velocità Onde P
(m/sec)

STESA SISMICA A RIFRAZIONE - ONDE SH

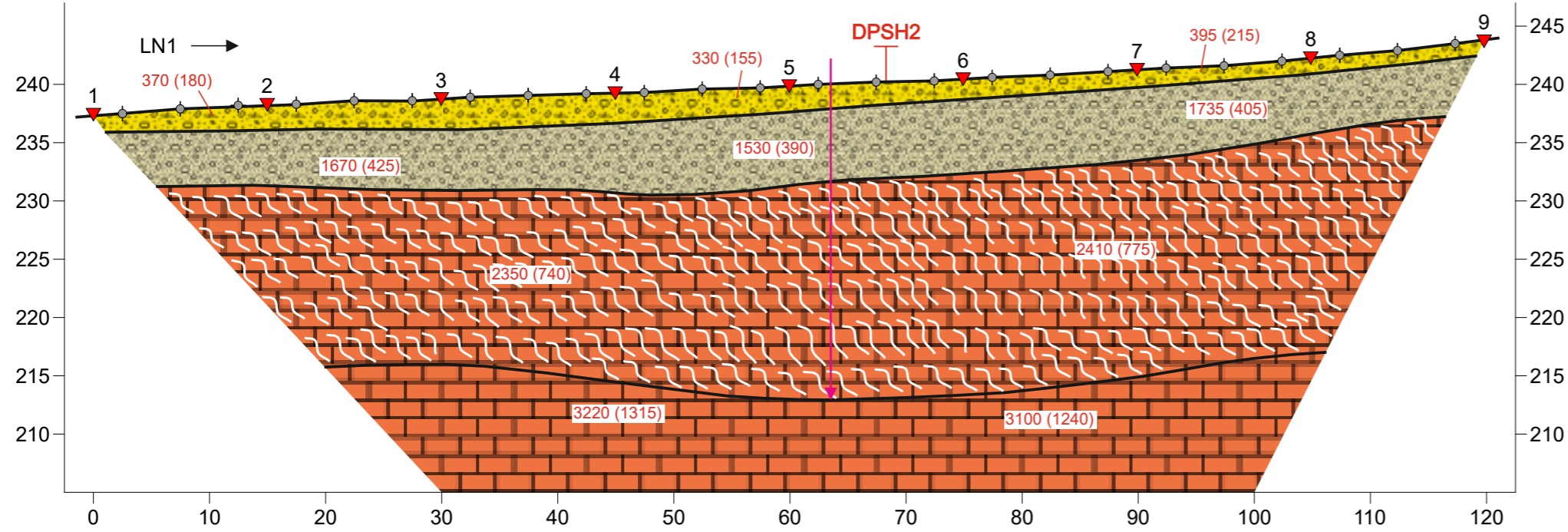


Velocità Onde Sh
(m/sec)

Legenda:

- | | | | |
|---|------------------|-------|------------------------------------|
| 1 | punti di scoppio | 500 | velocità onde P e Sh |
| ◆ | ricevitori | DPSH1 | prova penetrometrica dinamica DPSH |

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA



Legenda:

300 velocità medie calcolate onde P

(125) velocità medie calcolate onde SH

DPSH1
↓ prova penetrometrica dinamica DPSH

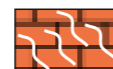
↓ $V_{s,eq}$
progressiva di calcolo
parametro $V_{s,eq}$



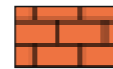
terreno vegetale e depositi superficiali



ghiaia e breccia calcarea in matrice limoso-argillosa



calcare marnoso con intercalazioni marnoso-argillose intensamente alterato e/o fratturato



calcare marnoso con intercalazioni marnoso-argillose da poco alterato e/o fratturato ad integro

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

CECO

Servizi Geologici & Indagini Sismiche



www.gecogeologia.com



info@gecogeologia.com



328.02.82.743 / 328.20.40.857

allegati indagine geognostica

All.1 – SONDAGGI GEOGNOSTICI – Stratigrafie e Documentazione fotografica;

Committente Regione Marche	Profondità raggiunta 10.00	Quota Ass. P.C. 235 m s.l.m.	Certificato n°	Pagine
Operatore Dott. Geol. Simone Conti	Indagine Via A.Meucci - Cagli (PU)	Note1	Tipo Sonda COMACCHIO GEO 205	Inizio/Fine Esecuzione 29/03/2023
Responsabile Dott. Geol. Marco Gaggiotti	Sondaggio S1	Tipo Carotaggio continuo		Coordinate X Y

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Rivestimento 127 mm	Cass. Catalog.	Falda	Piezometro Pz
		Limo argilloso di colore bruno con abbondante ghiaia e breccia calcarea.	0.50										
1		Ghiaia e breccia calcarea di colore da biancastro a rosato, in matrice limoso-sabbiosa di colore nocciola. Dalla profondità di -2,50 m aumenta la componente sabbiosa ed il colore diventa beige.			5-5-5 1.30 PA								
2													
3			3.40										
4		Trovanti calcarei e calcareo-marnosi.	4.00										
5		Breccia calcareo-marnosa in matrice limoso-argillosa di colore beige.	5.45										
6		Calcare marnoso di colore grigio verdastro.	6.70										
7		Marne argillose di colore grigio verdastro.	7.30										
8		Calcare marnoso di colore grigio verdastro con intercalazioni marnoso-argillose.											
9			10.00										

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: continuo

Sonda: COMACCHIO GEO 205

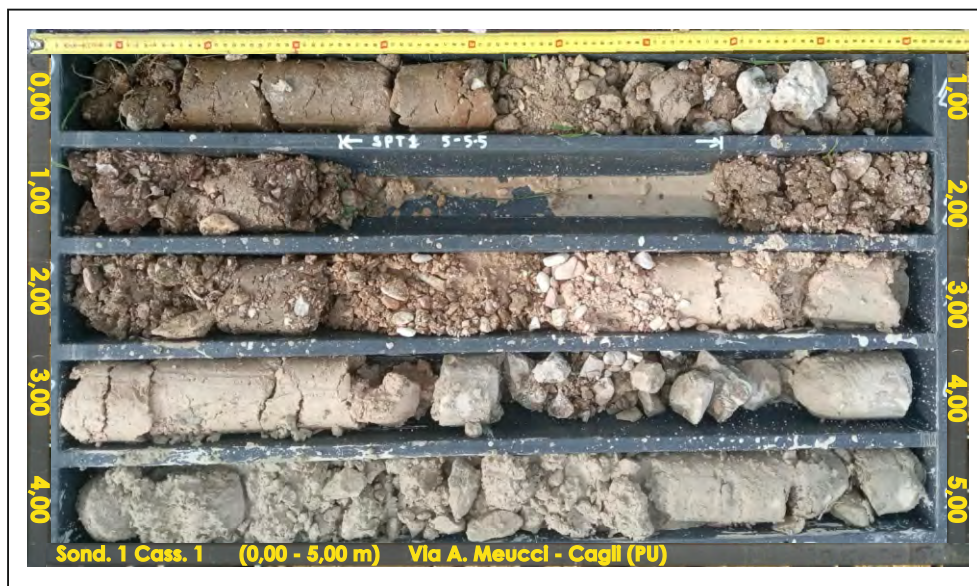
**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE
PER REALIZZAZIONE NUOVO OSPEDALE
IN VIA ANTONIO MEUCCI
NEL COMUNE DI CAGLI (PU)**

Sondaggio 1 - postazione



**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE
PER REALIZZAZIONE NUOVO OSPEDALE
IN VIA ANTONIO MEUCCI
NEL COMUNE DI CAGLI (PU)**

Sondaggio 1 - cassette catalogatrici



Cassa n°1 da ml. 0.00 a ml. 5.00



Cassa n°2 da ml. 5.00 a ml. 10.00

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126

CECO

Servizi Geologici & Indagini Sismiche



www.gecogeologia.com



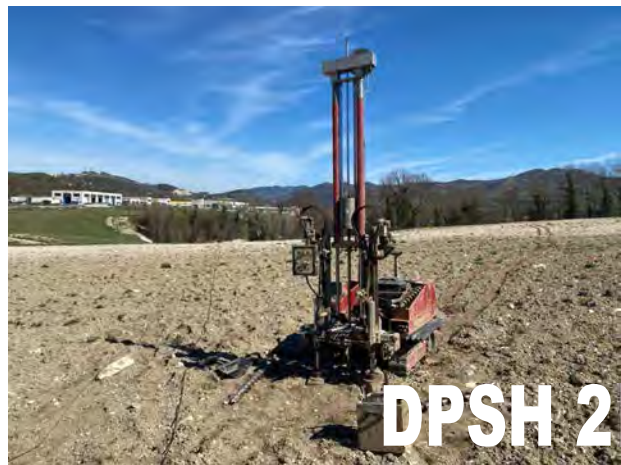
info@gecogeologia.com



328.02.82.743 / 328.20.40.857

allegati indagine geognostica

All.2 - Prove penetrometriche - Tabulati e grafici



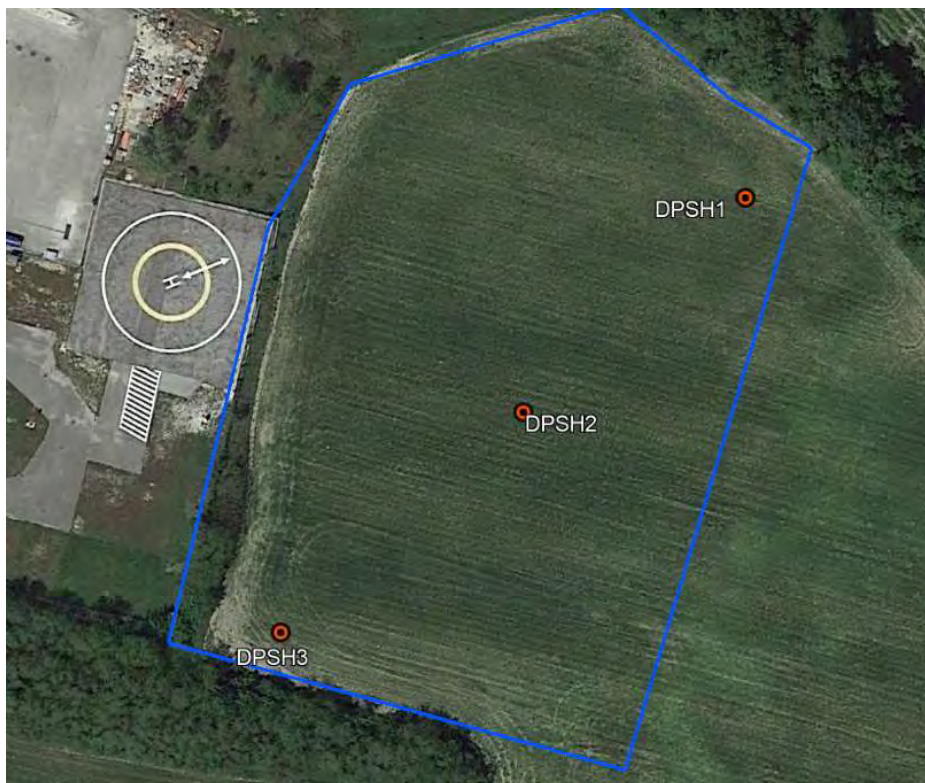
**INDAGINE GEOTECNICA MEDIANTE PROVE PENETROMETRICHE ESEGUITE
PER NUOVO OSPEDALE IN VIA ANTONIO MEUCCI
NEL COMUNE DI CAGLI (PU)**

Oggetto: Prove penetrometriche

Committente: Regione Marche - Sett. Edilizia Sanitaria, Ospedaliera e Scolastica

Commessa: 199-23

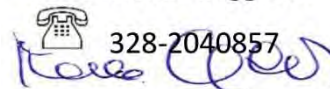
Data acquisizione: 23/03/2023



Prova (n°)	Coordinate WGS84 punti di indagine
DPSH1	Latitudine 43.565055°
	Longitudine 12.662429°
DPSH2	Latitudine 43.564684°
	Longitudine 12.661899°
DPSH3	Latitudine 43.564303°
	Longitudine 12.661319°

Falconara M.ma, lì 06 Aprile 2023

Il Responsabile GECO srl
Dott. Marco Gaggiotti


328-2040857

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63-(200Kn)

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	63,5	Kg
Altezza di caduta libera	0,75	m
Peso sistema di battuta	0,63	Kg
Diametro punta conica	51,00	mm
Area di base punta	20,43	cm ²
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	6,3	Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40	m
Avanzamento punta	0,20	m
Numero colpi per punta	N(20)	
Coeff. Correlazione	1,47	
Rivestimento/fanghi	No	
Angolo di apertura punta	90°	

Legenda parametri geotecnici DPSH:

DPSH:	Dinamic Probing Super Heavy
Nr:	Progressiva numero strati
Prof:	Profondità strato (metri)
Tipo:	I: Incoerente C: Coesivo
Nspt:	Correlazione con n. colpi Nspt
Cu :	Coesione non drenata (kg/cm ²) – De Beer
Ey:	Modulo di Young (kg/cm ²) – Coesivi – D' Apollonia – Incoerenti – Schmertmann (1978) sabbie
Mo :	Modulo Edometrico (Kg/cm ²) – Coesivi – Stroud e Butler (1975) – Incoerenti – Menzenbach e Malcev
Classificazione:	A.G.I. (1977)
Puv :	Peso unità di volume (t/m ³) – Coesivi - Meyerhof ed altri – Incoerenti - Meyerhof ed altri
PuvS :	Peso unità di volume saturo (t/m ³) – Coesivi - Meyerhof ed altri – Incoerenti - Terzaghi-Peck 1948-1967
Dr:	Densità relativa (%) – Skempton (1986)
Φ :	Angolo di resistenza al taglio (°) Φ ₁ (*) – Meyerhof (1965) Φ ₂ (**) - Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Φ ₃ (***) - Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY)

(*) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

(**) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/m².

(***) - Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose. Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/m².

PROVA DPSH 1 – Via Antonio Meucci - Comune di Cagli (PU)						
Prova eseguita in data 23/03/2023 Profondità prova DPSH -1,60 m Note. Falda non rilevata						
TABELLA VALORI DI RESISTENZA						
Prof. Strato (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.2	1	0.86	9.0	10.5	0.5	0.5
0.4	1	0.85	8.9	10.5	0.5	0.5
0.6	7	0.85	57.2	67.5	2.9	3.4
0.8	13	0.79	99.5	125.4	5.0	6.3
1.0	28	0.74	199.8	270.0	10.0	13.5
1.2	20	0.79	151.7	192.9	7.6	9.6
1.4	26	0.73	183.8	250.7	9.2	12.5
1.6	50	0.63	280.5	445.5	14.0	22.3



PROVA DPSH 1 – Via Antonio Meucci - Comune di Cagli (PU)													
Prova eseguita in data 23/03/2023 Profondità prova DPSH -1,60 m Note. Falda non rilevata													
STIMA PARAMETRI GEOTECNICI													
Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		t/m ³	t/m ³	%	(°)	(°)	(°)
1	0.2	I-C	1.5	0.2	15	67	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
2	0.4	I-C	1.5	0.2	15	7	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
3	0.6	I	10.3	-	82	84	MODERATAMENTE ADDENSATO	1.7	1.9	34	22.9	27.4	30.1
4	0.8	I	19.1	-	153	123	MODERATAMENTE ADDENSATO	2.0	2.4	50	25.5	31.9	32.7
5	1	I	41.2	-	329	222	ADDENSATO	2.2	2.5	73	31.8	39.9	39.4
6	1.2	I	29.4	-	235	169	MODERATAMENTE ADDENSATO	2.1	2.5	63	28.4	36.0	35.8
7	1.4	I	38.2	-	306	208	ADDENSATO	2.2	2.5	71	30.9	38.9	38.5
8	1.6	I	73.5	-	588	366	MOLTO ADDENSATO	2.5	2.5	100	41.0	48.2	49.1
SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI													
Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		t/m ³	t/m ³	%	(°)	(°)	(°)
1	0.4	I-C	1.5	0.2	15	37	POCO CONSISTENTE	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
2	1.6	I	27.6	-	221	161	MOD.ADDENSATO/ADDENSATO	2.1	2.4	58	27.9	34.8	35.3

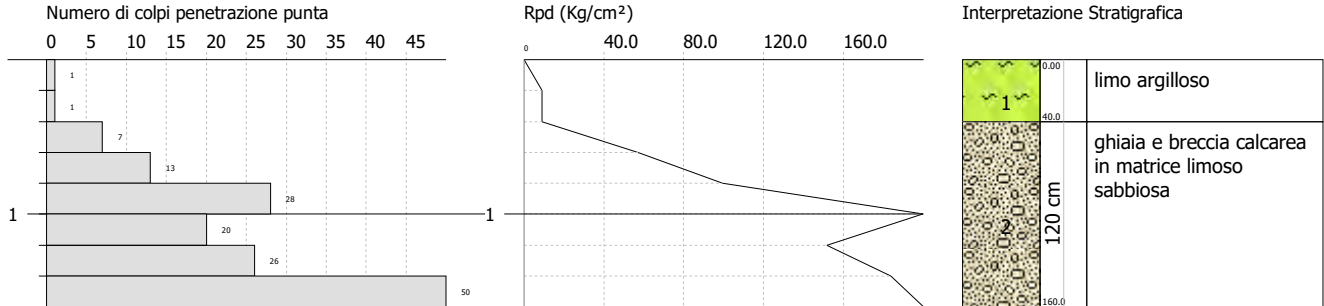


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Regione Marche
Cantiere: Via Antonio Meucci
Località: Cagli (PU)

Data: 23/03/2023

Scala 1:50



PROVA DPSH 2 – Via Antonio Meucci - Comune di Cagli (PU)

Prova eseguita in data 23/03/2023

Profondità prova DPSH -3,00 m

Note. Falda non rilevata



TABELLA VALORI DI RESISTENZA

Prof. Strato (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.2	1	0.86	9.0	10.5	0.5	0.5
0.4	1	0.85	8.9	10.5	0.5	0.5
0.6	1	0.85	8.2	9.6	0.4	0.5
0.8	7	0.84	56.9	67.5	2.9	3.4
1.0	4	0.84	32.4	38.6	1.6	1.9
1.2	5	0.84	40.3	48.2	2.0	2.4
1.4	5	0.83	40.2	48.2	2.0	2.4
1.6	4	0.83	29.6	35.6	1.5	1.8
1.8	3	0.83	22.1	26.7	1.1	1.3
2.0	3	0.82	22.0	26.7	1.1	1.3
2.2	3	0.82	21.9	26.7	1.1	1.3
2.4	2	0.82	14.6	17.8	0.7	0.9
2.6	5	0.81	33.7	41.4	1.7	2.1
2.8	28	0.71	165.0	231.9	8.3	11.6
3.0	50	0.61	252.0	414.1	12.6	20.7

PROVA DPSH 2 – Via Antonio Meucci - Comune di Cagli (PU)

Prova eseguita in data 23/03/2023

Profondità prova DPSH -3,00 m

Note. Falda non rilevata



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		t/m ³	t/m ³	%	(°)	(°)	(°)
1	0.2	I-C	1.5	0.2	7	15	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
2	0.4	I-C	1.5	0.2	7	15	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
3	0.6	I-C	1.5	0.2	7	15	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
4	0.8	I-C	10.3	1.3	82	84	MODERATAMENTE ADDENSATO	1.7	1.9	34	22.9	27.4	30.1
5	1	I-C	5.9	0.7	47	64	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	23	21.7	24.4	28.8
6	1.2	I-C	7.4	0.9	59	71	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	27	22.1	25.5	29.2
7	1.4	I-C	7.4	0.9	59	71	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	27	22.1	25.5	29.2
8	1.6	I-C	5.9	0.7	47	64	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	23	21.7	24.4	28.8
9	1.8	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
10	2	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
11	2.2	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
12	2.4	I-C	2.9	0.4	24	51	SCIOLTO	1.5	1.9	15	20.8	21.6	27.9
13	2.6	I-C	7.4	0.9	59	71	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	27	22.1	25.5	29.2
14	2.8	I	41.2	-	329	222	ADDENSATO	2.2	2.5	73	31.8	39.9	39.4
15	3	I	73.5	-	588	366	MOLTO ADDENSATO	2.5	2.5	100	41.0	48.2	49.1

SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI

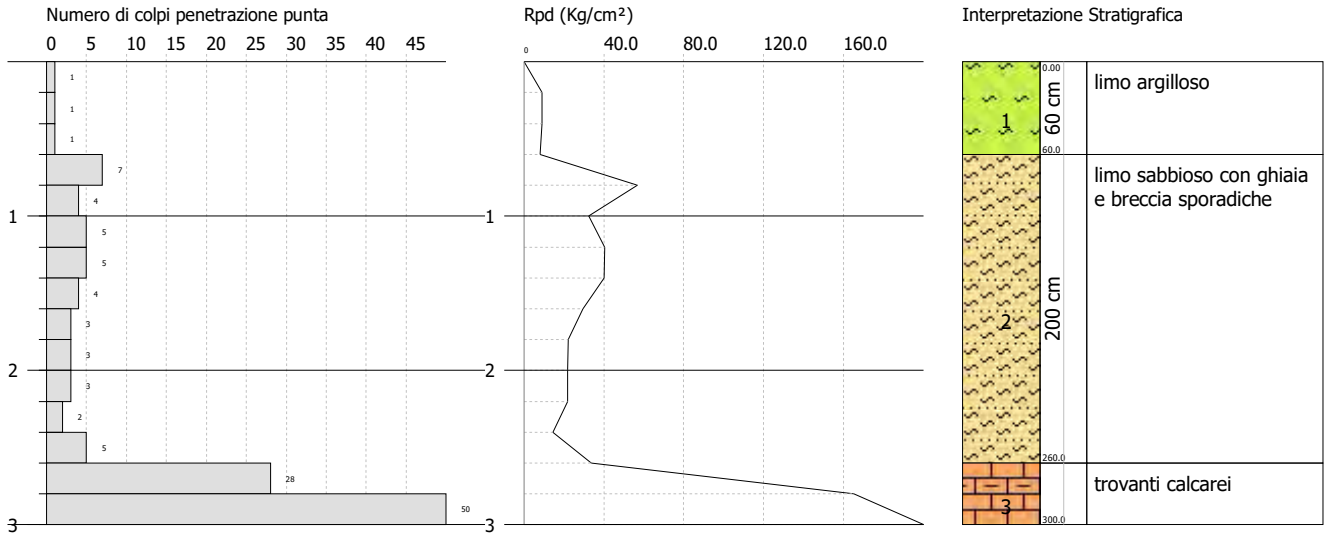
Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		t/m ³	t/m ³	%	(°)	(°)	(°)
1	0.6	I-C	1.5	0.2	7	15	POCO CONSISTENTE	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
2	2.6	I-C	6.0	0.8	48	65	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	23	21.7	24.4	28.8
3	3.0	I	57.3	-	459	294	ADDENSATO	2.3	2.5	87	36.4	44.0	44.2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Regione Marche
 Cantiere: Via Antonio Meucci
 Località: Cagli (PU)

Data: 23/03/2023

Scala 1:50



PROVA DPSH 3 – Via Antonio Meucci - Comune di Cagli (PU)

Prova eseguita in data 23/03/2023

Profondità prova DPSH -4,40 m

Note. Falda non rilevata



TABELLA VALORI DI RESISTENZA

Prof. Strato (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.2	1	0.86	9.0	10.5	0.5	0.5
0.4	1	0.85	8.9	10.5	0.5	0.5
0.6	2	0.85	16.3	19.3	0.8	1.0
0.8	3	0.84	24.4	28.9	1.2	1.5
1.0	3	0.84	24.3	28.9	1.2	1.5
1.2	9	0.84	72.6	86.8	3.6	4.3
1.4	17	0.78	128.3	163.9	6.4	8.2
1.6	8	0.83	59.1	71.3	3.0	3.6
1.8	5	0.83	36.8	44.6	1.8	2.2
2.0	5	0.82	36.7	44.6	1.8	2.2
2.2	6	0.82	43.9	53.5	2.2	2.7
2.4	4	0.82	29.1	35.6	1.5	1.8
2.6	3	0.81	20.2	24.9	1.0	1.2
2.8	2	0.81	13.4	16.6	0.7	0.8
3.0	2	0.81	13.4	16.6	0.7	0.8
3.2	2	0.81	13.4	16.6	0.7	0.8
3.4	2	0.80	13.3	16.6	0.7	0.8
3.6	5	0.80	31.0	38.7	1.6	1.9
3.8	3	0.80	18.5	23.2	0.9	1.2
4.0	15	0.75	86.6	116.0	4.3	5.8
4.2	37	0.64	184.2	286.2	9.2	14.3
4.4	50	0.59	228.8	386.8	11.4	19.3

PROVA DPSH 3 – Via Antonio Meucci - Comune di Cagli (PU)

Prova eseguita in data 23/03/2023

Profondità prova DPSH -4,40 m

Note. Falda non rilevata

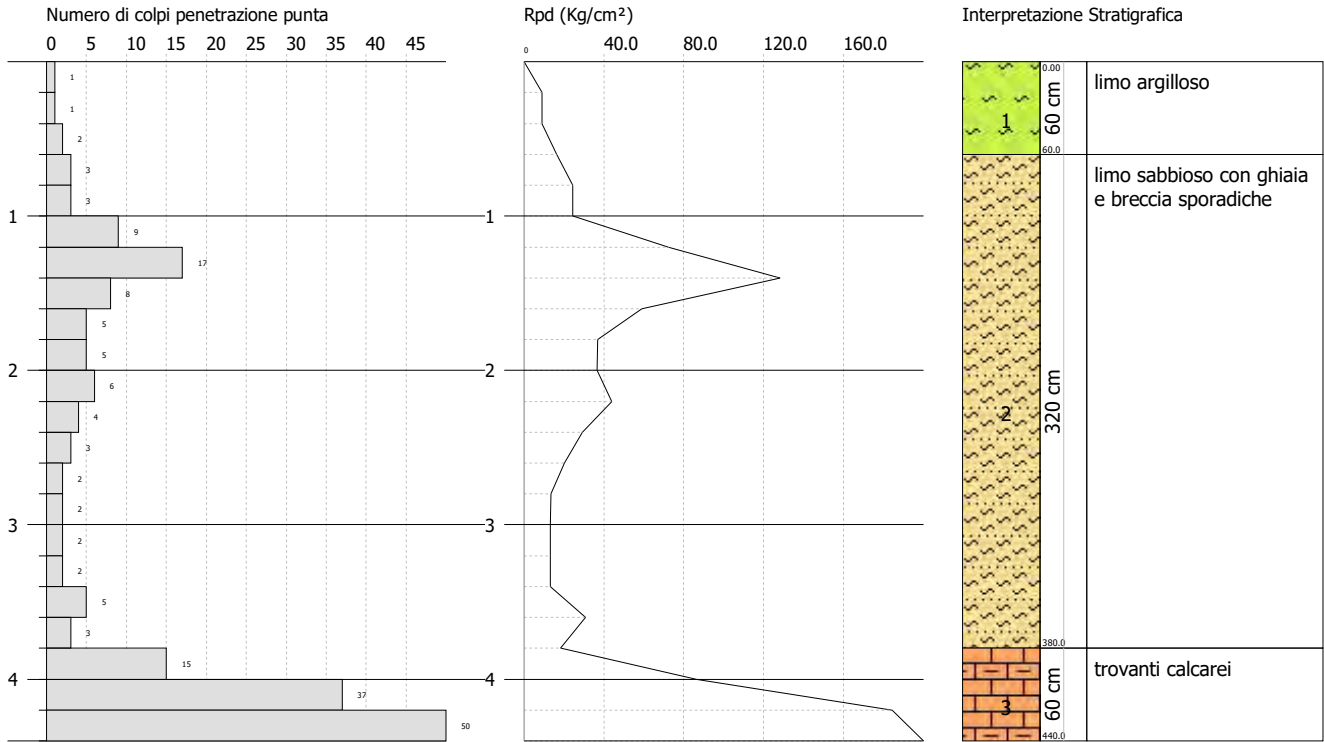


STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		t/m ³	t/m ³	%	(°)	(°)	(°)
1	0.2	I-C	1.5	0.2	15	7	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
2	0.4	I-C	1.5	0.2	15	7	PRIVO DI CONSISTENZA	1.5	1.9	11	20.4	19.7	27.4
3	0.6	I-C	2.9	0.4	29	13	POCO CONSISTENTE	1.6	1.9	15	20.8	21.6	27.9
4	0.8	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
5	1	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
6	1.2	I-C	13.2	1.7	106	97	MODERATAMENTE ADDENSATO	1.8	1.9	40	23.8	29.1	31.0
7	1.4	I-C	25.0	3.1	200	149	MODERATAMENTE ADDENSATO	2.1	2.5	58	27.1	34.4	34.5
8	1.6	I-C	11.8	1.5	94	90	MODERATAMENTE ADDENSATO	1.8	1.9	37	23.4	28.3	30.5
9	1.8	I-C	7.4	0.9	59	71	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	27	22.1	25.5	29.2
10	2	I-C	7.4	0.9	59	71	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	27	22.1	25.5	29.2
11	2.2	I-C	8.8	1.1	71	77	POCO ADDENSATO	1.7	1.9	30	22.5	26.5	29.7
12	2.4	I-C	5.9	0.7	47	64	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	23	21.7	24.4	28.8
13	2.6	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
14	2.8	I-C	2.9	0.4	24	51	SCIOLTO	1.5	1.9	15	20.8	21.6	27.9
15	3	I-C	2.9	0.4	24	51	SCIOLTO	1.5	1.9	15	20.8	21.6	27.9
16	3.2	I-C	2.9	0.4	24	51	SCIOLTO	1.5	1.9	15	20.8	21.6	27.9
17	3.4	I-C	2.9	0.4	24	51	SCIOLTO	1.5	1.9	15	20.8	21.6	27.9
18	3.6	I-C	7.4	0.9	59	71	POCO ADDENSATO	1.6	1.9	27	22.1	25.5	29.2
19	3.8	I-C	4.4	0.6	35	58	POCO ADDENSATO	1.5	1.9	19	21.3	23.1	28.3
20	4	I	22.1	-	176	136	MODERATAMENTE ADDENSATO	2.0	2.4	54	26.3	33.2	33.6
21	4.2	I	54.4	-	435	281	MOLTO ADDENSATO	2.3	2.5	84	35.5	43.6	43.3
22	4.4	I	73.5	-	588	366	MOLTO ADDENSATO	2.5	2.5	100	41.0	48.2	49.1

SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI

Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²		t/m ³	t/m ³	%	(°)	(°)	(°)
1	0.6	I-C	2.0	0.2	20	9	POCO CONSISTENTE	1.6	1.9	12	20.6	20.3	27.6
2	3.8	I-C	7.3	0.9	58	70	POCO/MOD. ADDENSATO	1.6	1.9	25	22.1	24.9	29.2
3	4.4	I	50.0	-	400	261	ADDENSATO	2.3	2.5	79	34.3	41.7	42.0



Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126



Servizi Geologici & Indagini Sismiche



www.gecogeologia.com



info@gecogeologia.com



328.02.82.743 / 328.20.40.857

allegati indagine geognostica

All.3 - Certificati prove geotecniche di laboratorio

REGIONE MARCHE
COMUNE DI CAGLI

Provincia di PESARO URBINO

OGGETTO:

ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

VERBALE n°

1768

06/04/2023

LOCALITA' : **Cagli**

CANTIERE : **Via Antonio Meucci**



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo
Laboratorio sperimentale di analisi geotecniche
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- via Montesanto n°64
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- Cod. Fisc. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@gmail.com
geosvevalaboratori@mailcertificata.it

c/o SANPAOLO Banco di Napoli Via Gramsci 13
Lucera (FG)
IBAN : IT94N0306978444100000000506

COMMITTENTE : **Spett.le Regione Marche**

Campioni analizzati:

1	1768 S1 Ccrs1 m 07.45-07.60
2	1768 S1 Ccrs2 m 09.70-09.80

Copia conforme all'originale



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti

SUIII
ALG

Sistema di gestione
Qualità certificato
UNI EN ISO 9001:2008

PRSE

716

DATA
ACCETTAZIONE

06/04/2023

DATA DI
EMISSIONE

20/04/2023



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti

mod. PS 75-00/a Rev.01 del 01/2021



Società
ALGI



Sistema di gestione
Qualità certificato
DIP EN ISO 9001:2015

Pag 1/1

Certificato n°:	32066	emesso il	20/04/23	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	1768	del	06/04/23	06/04/23	06/04/23
COMMITTENTE:	Spett.le Regione Marche				
SITO :	Via Antonio Meucci				
LOCALITA':	Cagli				
SONDAGGIO :	S1	DATA PRELIEVO	29/03/23		Qualità
CAMPIONE :	Ccrs1	TIPO DI FUSTELLA	(Busta)		
PROFONDITA' :	07.45-07.60	(m)	TIPO DI CAMPIONE	Rimaneggiato	Q1

APERTURA CAMPIONI

Modalità di prova: UNI EN ISO 14688-1

Diametro	:	8.4	(cm)	Consistenza	:	-
Lunghezza	:	10	(cm)	Plasticità	:	-
Colore	:			Umidità	:	-
Pocket	:		(KPa)	Vane test	:	(KPa)

Descrizione

Calcare di colore grigiastro

Analisi effettuate certificati :

- n°13639 Analisi Granulometrie per sedimentazione e setacciatura



LO SPERIMENTATORE
Geom. Giovanni Turco

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Ing. Luigi Di Carlo



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 20/03/2010

- Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 713
- C.F. DCRLG081A000643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

mod.PQ 75-03 Rev.01 del 01/2023



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti



Geom.
ALDI



Sistema di gestione
qualità certificato
n° 211.50.000.0195

Pag 1/1

Certificato n°: 32069	emesso il	20/04/23	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	1768	del	05/04/23	06/04/23

COMMITTENTE: Spett.le Regione Marche			
SITO : Via Antonio Meucci			
LOCALITA': Cagli			
SONDAGGIO :	S1	DATA PRELIEVO	29/03/23
CAMPIONE :	C2	TIPO DI FUSTELLA	(Busta)
PROFONDITA' :	7.45-7.60 (m)	TIPO DI CAMPIONE	Rimaneggiato
			Qualità Q1

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: UNI EN ISO 17892-2

- Miusra lineare
- Pesata idrostatica
- Spostamento di fluido

Provini 1	▶	γ	=	19.45	KN/m ³
Provini 2	▶	γ	=		KN/m ³
Provini 3	▶	γ	=		KN/m ³

Peso volume allo stato naturale $\gamma =$ **19.45** KN/m³
(media delle misure)

Copia conforme all'originale

LO SPERIMENTATORE
Geom. Giovanni Turco

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Ing. Luigi di Carlo

Rapporto di Prova	342	emesso il	20/04/23	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	1768	del	06/04/23	06/04/23	06/04/23

COMMITTENTE: Spett.le Regione Marche					
SITO : Via Antonio Meucci					
LOCALITA': Cagli					
SONDAGGIO :	S1	DATA PRELIEVO	29/03/23	Qualità	
CAMPIONE :	Ccrs1	TIPO DI FUSTELLA	(Busta)		
PROFONDITA' :	07.45-07.60	(m)	TIPO DI CAMPIONE	Rimaneggiato	Q1

POINT LOAD TEST

Modalità di prova: ASTM D5731

RISULTATI DELLE PROVE

n°	W mm	D mm	P KN	D _e ² mm ²	D _e mm	I _s -	F -	I _{s(50)} Mpa	
1i	┌ ├ ├ ├ ├ └	60	84.0	26.0	6420	80.1	4.05	1.24	5.01

Prova spezzioni irregolari

Copia conforme all'originale

LO SPERIMENTATORE
Geom. Giovanni Turco

IL DIRETTORE del LABORATORIO
Dott. Ing. Luigi Di Carlo



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03062020718
- C.F. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 66
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

mod. PS 75-00/a Rev.01 del 01/2021



Ministero delle
Infrastrutture e
dei Trasporti



Società
ALISI



Sistema di gestione
Qualità certificato
UNI EN ISO 9001:2015

Pag 1/1

Certificato n°:	32068	emesso il	20/04/23	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	1768	del	06/04/23	06/04/23	06/04/23

COMMITTENTE:	Spett.le Regione Marche				
SITO :	Via Antonio Meucci				
LOCALITA':	Cagli				
SONDAGGIO :	S1	DATA PRELIEVO	29/03/23	Qualità	
CAMPIONE :	Ccrs2	TIPO DI FUSTELLA	(Busta)		
PROFONDITA' :	09.70-09.80	(m)	TIPO DI CAMPIONE	Rimaneggiato	Q1

APERTURA CAMPIONI

Modalità di prova: UNI EN ISO 14688-1

Diametro	:	8.4	(cm)	Consistenza	:	-
Lunghezza	:	10	(cm)	Plasticità	:	-
				Umidità	:	-
Colore	:					
Pocket	:		(KPa)	Vane test	:	(KPa)

Descrizione

Calcere marnoso di colore grigiastro

Analisi effettuate certificati :

- n°13639 Analisi Granulometrie per sedimentazione e setacciatura



LO SPERIMENTATORE
Geom. Giovanni Turco

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Ing. Luigi Di Carlo



GeoSveva
Laboratorio di Analisi Geotecniche

GeoSveva di Luigi Di Carlo

Laboratorio sperimentale di
analisi geotecniche

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Autorizzazione n° 02610 - 26/03/2010

- Montesanto 64-66
- 71036 Lucera (FG)

- P.IVA 03 06 20 20 718
- C.F. DCRLGU81A09D643E

T +39 0881 31 81 88
F +39 0881 31 81 67

www.geosveva.it
geosvevalaboratori@alice.it

mod.PQ 75-03 Rev.01 del 01/2023



Ministero delle
Infrastrutture
e dei Trasporti



Spazio
ALGI



Sistema di gestione
Qualità certificato
UNI EN ISO 9001:2015

Pag 1/1

Certificato n°: 32069	emesso il	20/04/23	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	1768 del	05/04/23	06/04/23	06/04/23

COMMITTENTE:	Spett.le Regione Marche			
SITO :	Via Antonio Meucci			
LOCALITA':	Cagli			
SONDAGGIO :	S1	DATA PRELIEVO	29/03/23	Qualità
CAMPIONE :	C2	TIPO DI FUSTELLA	(Busta)	
PROFONDITA' :	7.45-7.60 (m)	TIPO DI CAMPIONE	Rimaneggiato	Q1

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: UNI EN ISO 17892-2

- Miusra lineare
- Pesata idrostatica
- Spostamento di fluido

Provini 1	▶	γ	=	19.45	KN/m ³
Provini 2	▶	γ	=		KN/m ³
Provini 3	▶	γ	=		KN/m ³

Peso volume allo stato naturale

(media delle misure)

$\gamma =$ **19.45** KN/m³

Copia conforme all'originale

LO SPERIMENTATORE
Geom. Giovanni Turco

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
Dott. Ing. Luigi di Carlo



Ministero delle
Infrastrutture



SINDACATO
ALCEI



SISTEMA DI GESTIONE
QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001:2008

Rapporto di Prova	343	emesso il	20/04/23	INIZIO PROVA	FINE PROVA
VERBALE DI ACCETTAZIONE	1768	del	06/04/23	06/04/23	06/04/23

COMMITTENTE: Spett.le Regione Marche					
SITO : Via Antonio Meucci					
LOCALITA': Cagli					
SONDAGGIO :	S1	DATA PRELIEVO	29/03/23	Qualità	
CAMPIONE :	Ccrs2	TIPO DI FUSTELLA	(Busta)		
PROFONDITA' :	09.70-09.80	(m)	TIPO DI CAMPIONE	Rimaneggiato	Q1

POINT LOAD TEST

Modalità di prova: ASTM D5731

RISULTATI DELLE PROVE

n°	W mm	D mm	P KN	D _e ² mm ²	D _e mm	I _s -	F -	I _{s(50)} Mpa	
1i	┌ ├ ├ ├ ├ └	57	84.0	19.0	6099	78.1	3.12	1.22	3.81

Prova spezzoni irregolari

Copia conforme all'originale

LO SPERIMENTATORE
Geom. Giovanni Turco

IL DIRETTORE del LABORATORIO
Dott. Ing. Luigi Di Carlo

Geco Srl Servizi Geologici & Indagini Sismiche

Via Osoppo, 38 / 60015 Falconara Marittima (AN)

P. IVA 02541280422 tel e fax 071 9156126



Servizi Geologici & Indagini Sismiche



www.gecogeologia.com



info@gecogeologia.com

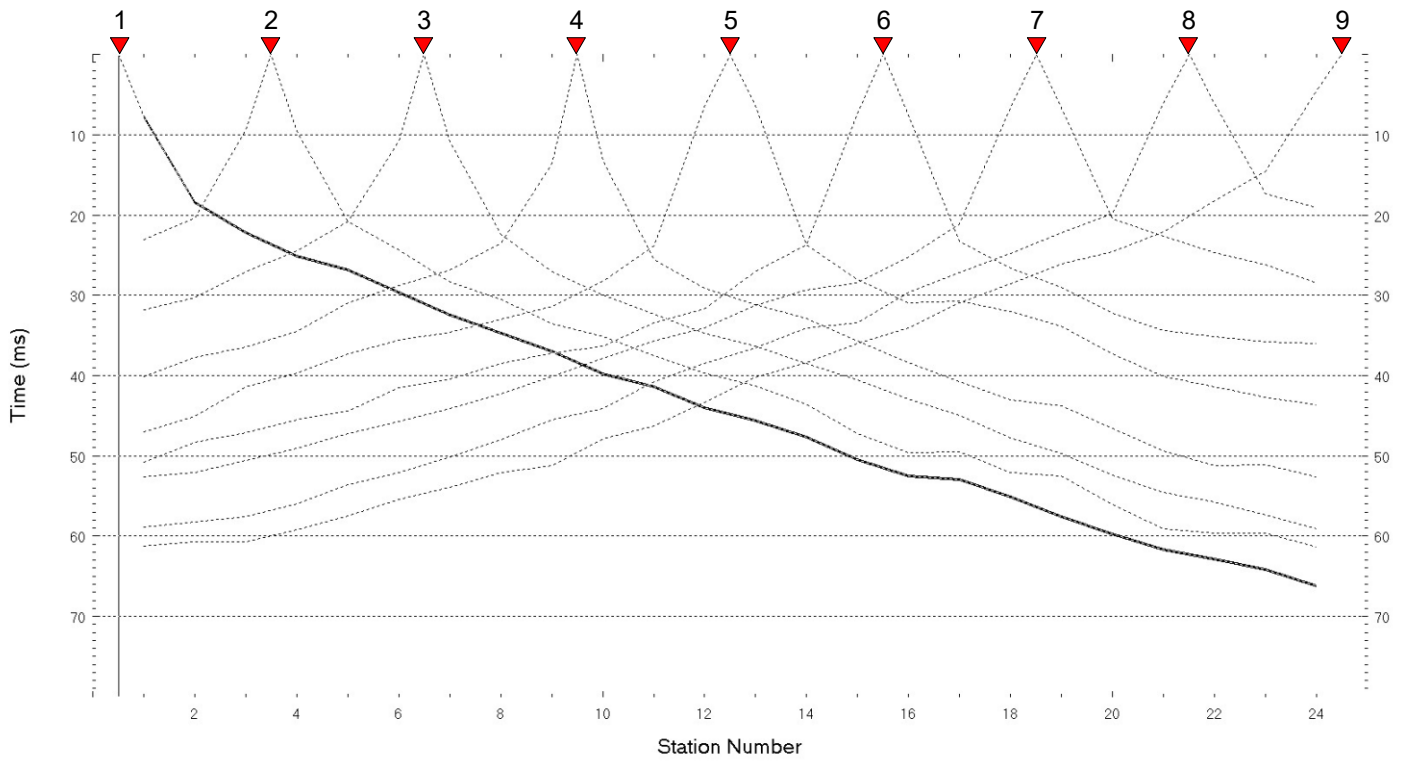


328.02.82.743 / 328.20.40.857

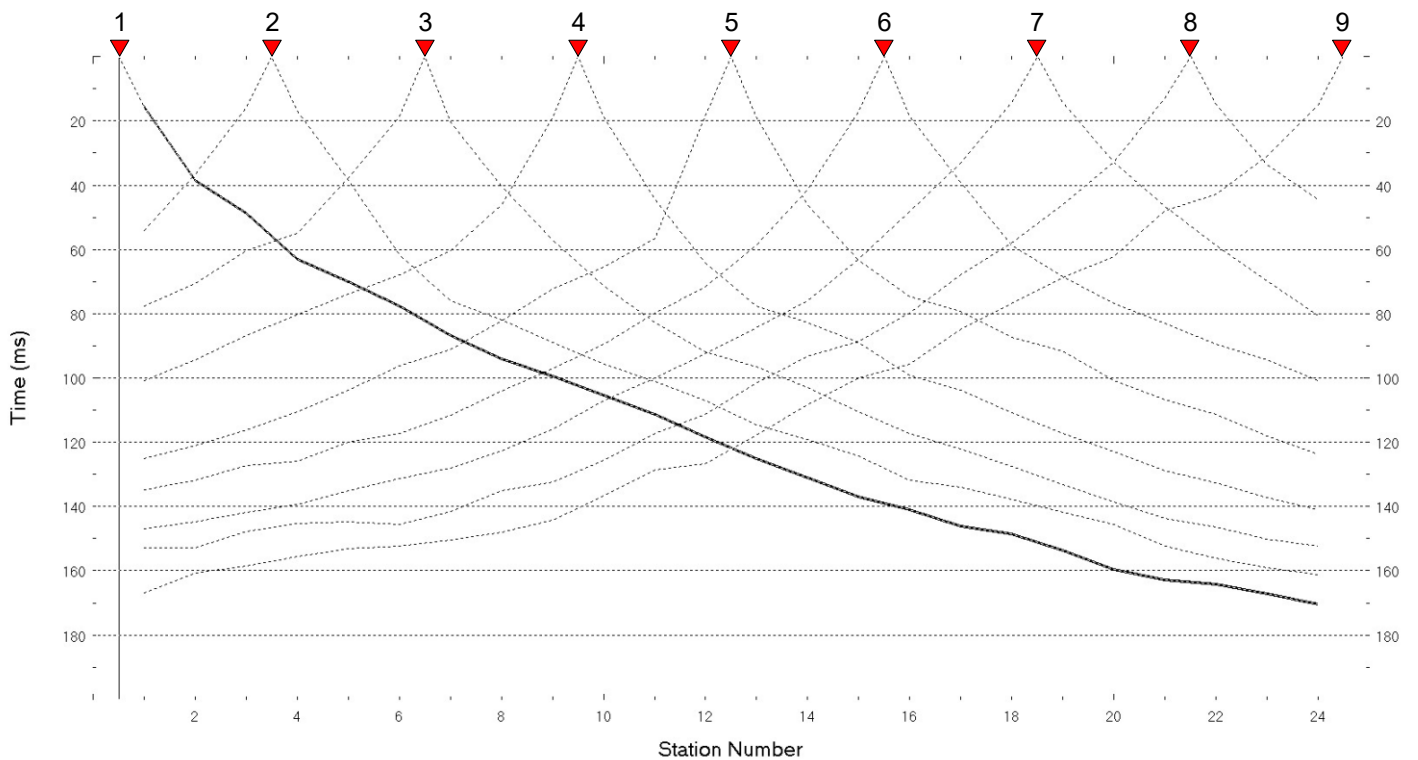
allegati indagine geofisica

Linea sismica LN1

ONDE P



ONDE SH



FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

12,66269

LATITUDINE

43,56565

Ricerca per comune

REGIONE

Marche

PROVINCIA

Ancona

COMUNE

Fabriano

Elaborazioni grafiche

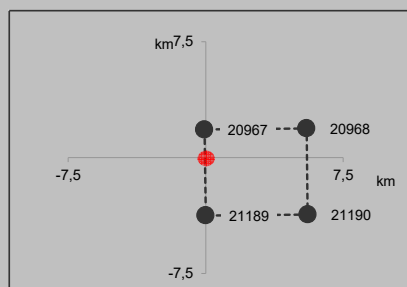
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

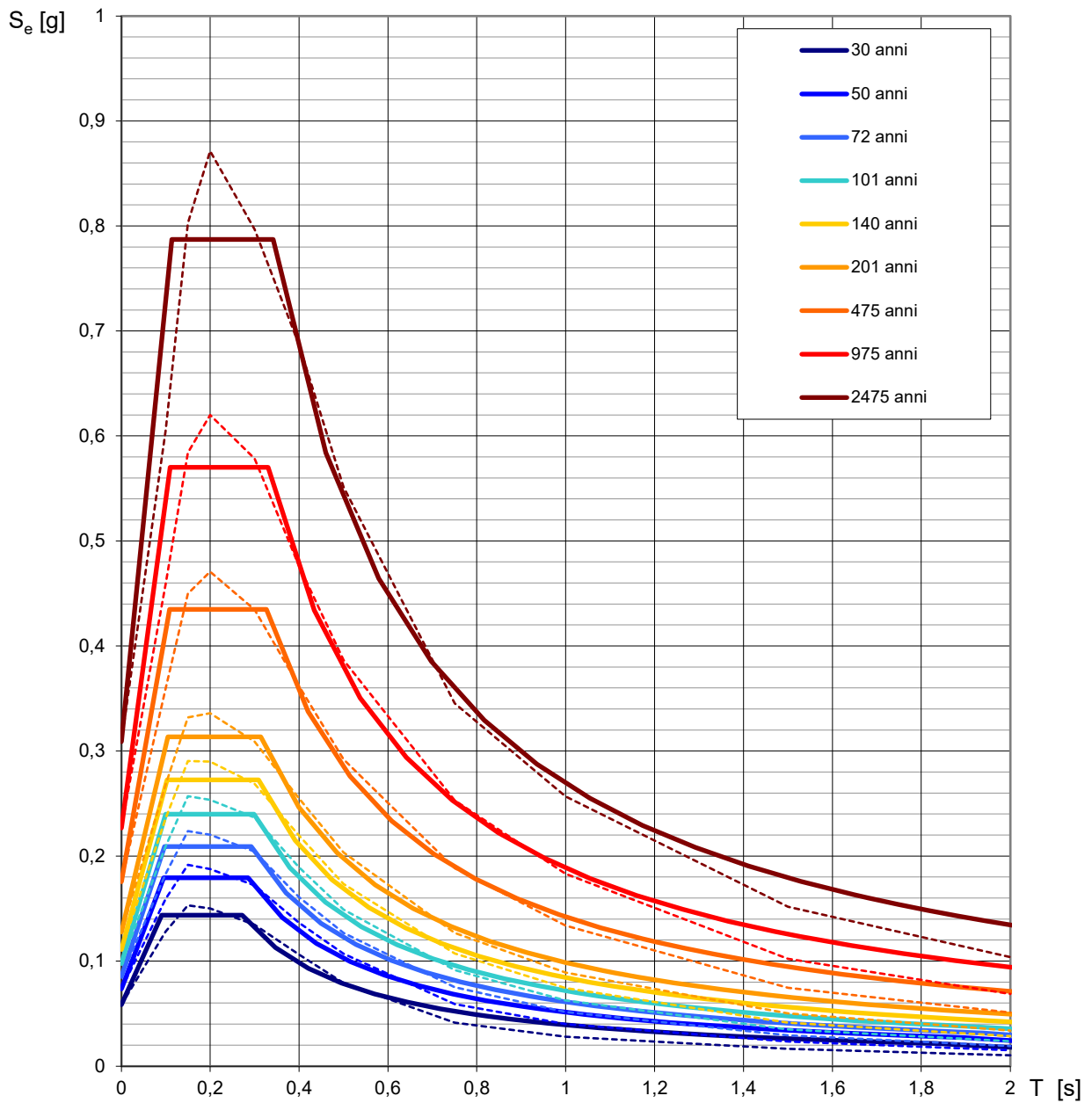
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

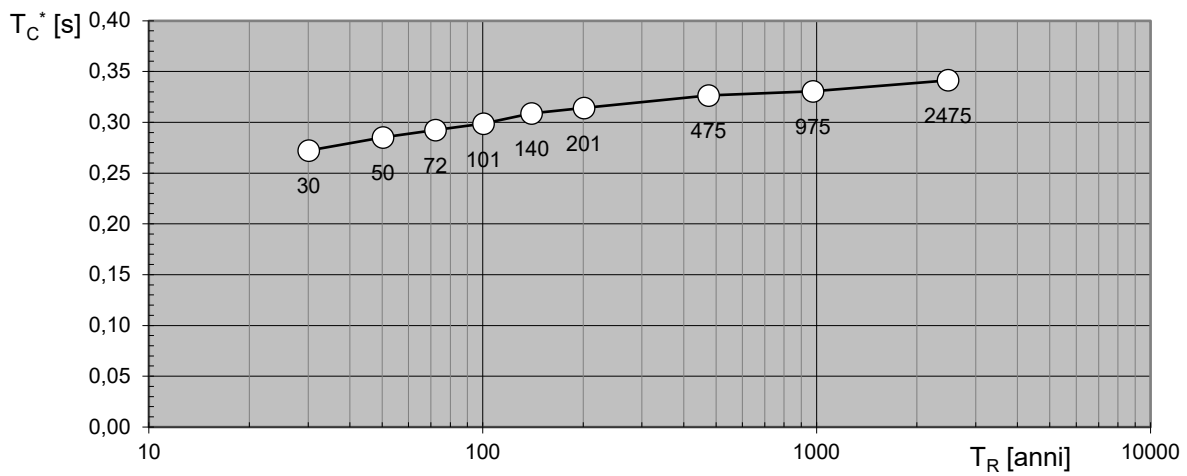
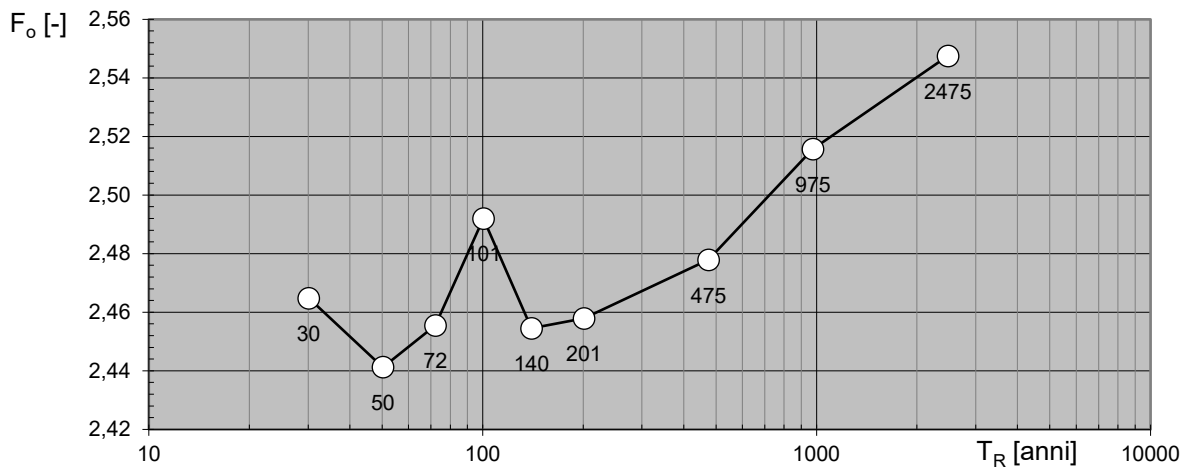
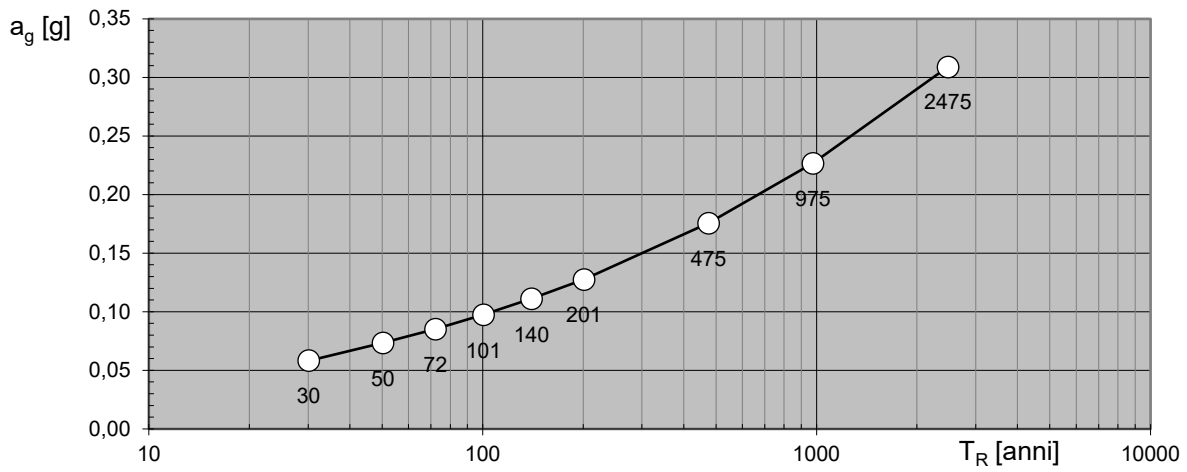
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

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

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



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

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,058	2,465	0,272
50	0,074	2,441	0,285
72	0,085	2,455	0,292
101	0,097	2,492	0,299
140	0,111	2,455	0,309
201	0,128	2,458	0,314
475	0,176	2,478	0,326
975	0,227	2,516	0,331
2475	0,309	2,548	0,342

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$
 SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$
 SLC - $P_{VR} = 5\%$

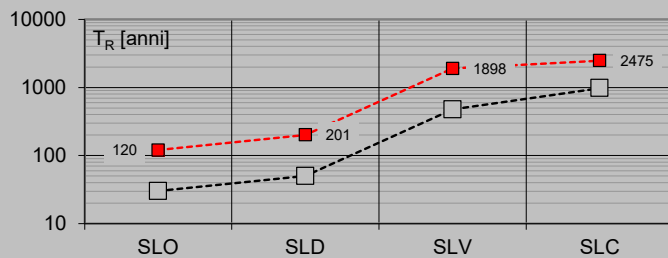
Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- - ■ - - Strategia scelta

Strategia di progettazione



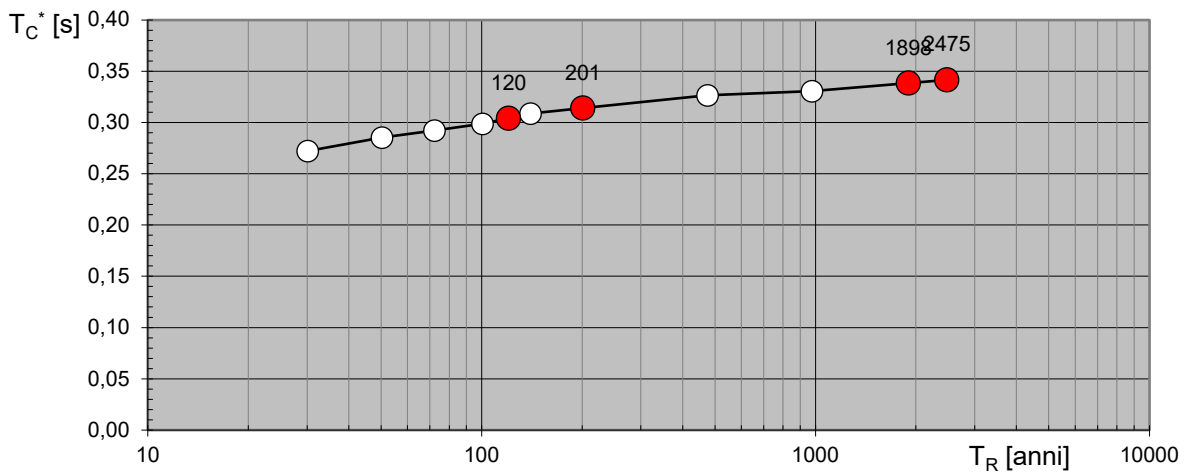
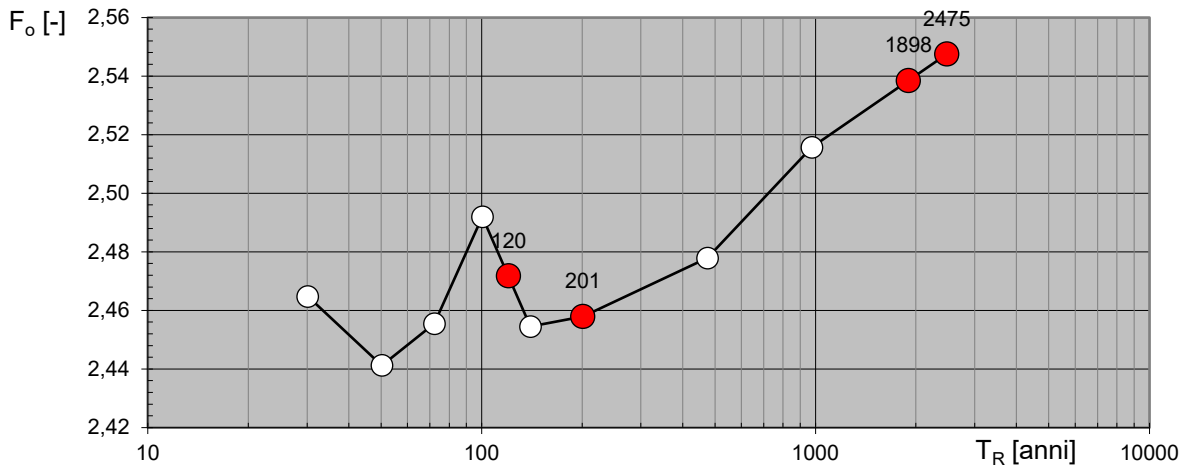
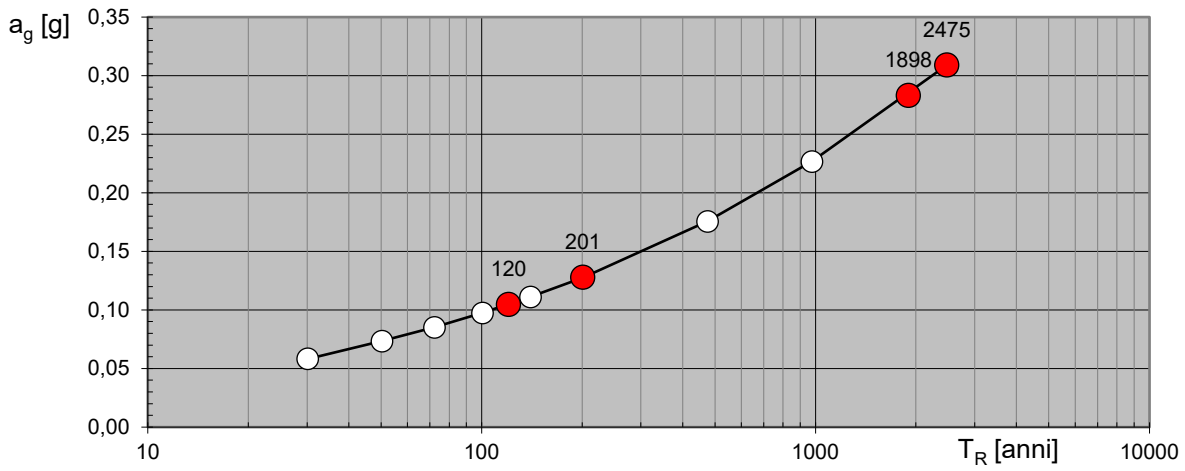
INTRO

FASE 1

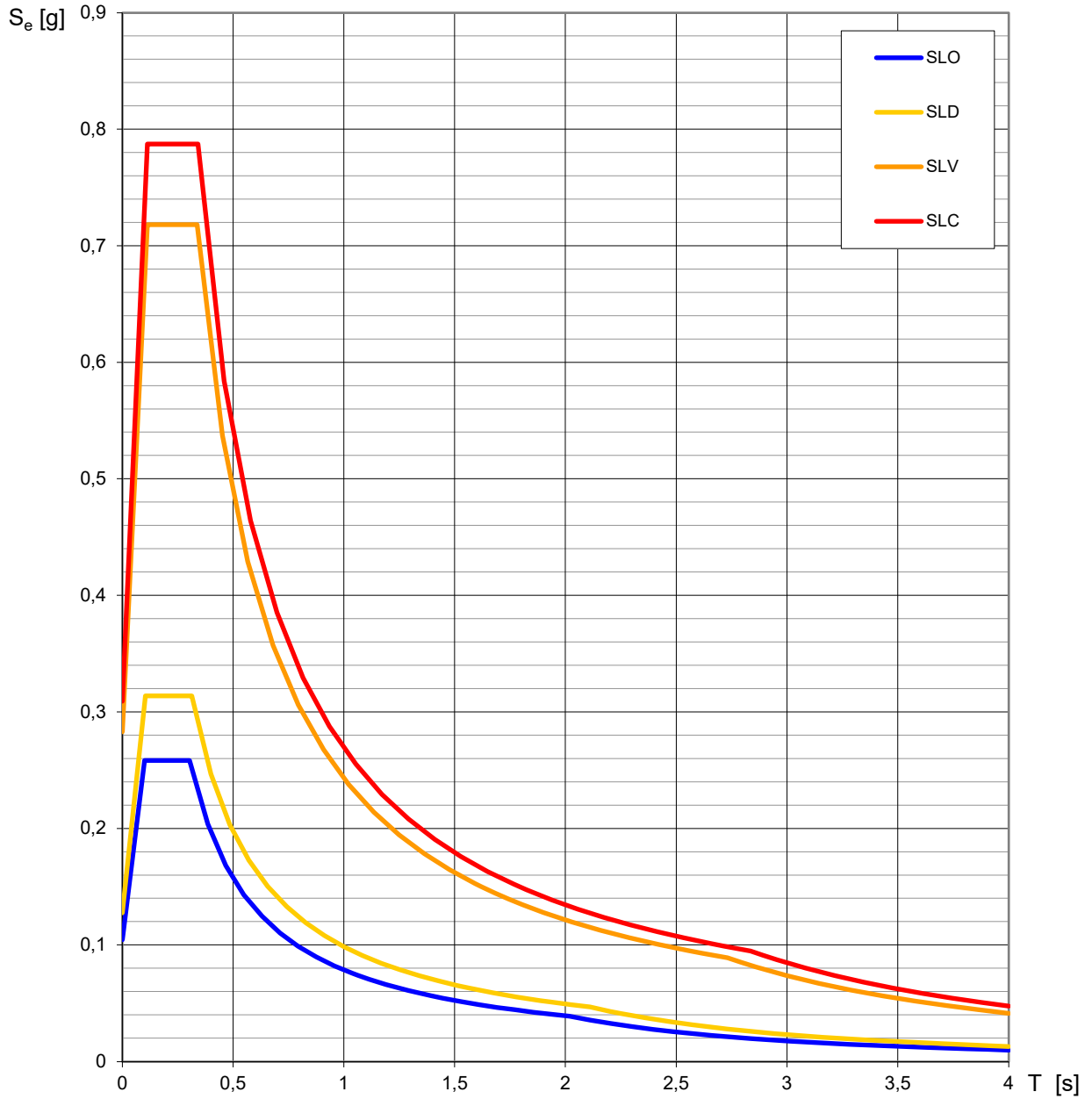
FASE 2

FASE 3

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,105	2,472	0,304
SLD	201	0,128	2,458	0,314
SLV	1898	0,283	2,538	0,338
SLC	2475	0,309	2,547	0,342

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **B** info

$S_S =$

$C_C =$ info

Categoria topografica **T1** info

$h/H =$

$S_T =$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%)

$\eta =$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0

Regol. in altezza **sì** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

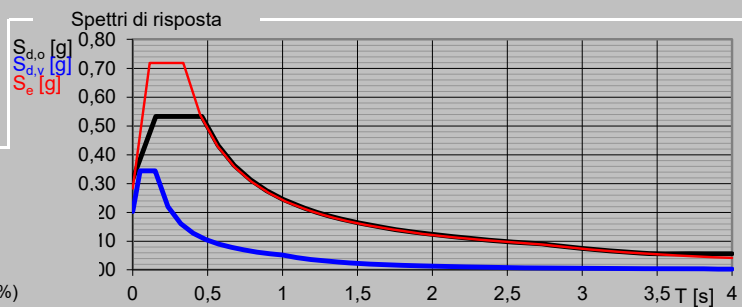
Fattore q

$\eta =$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta



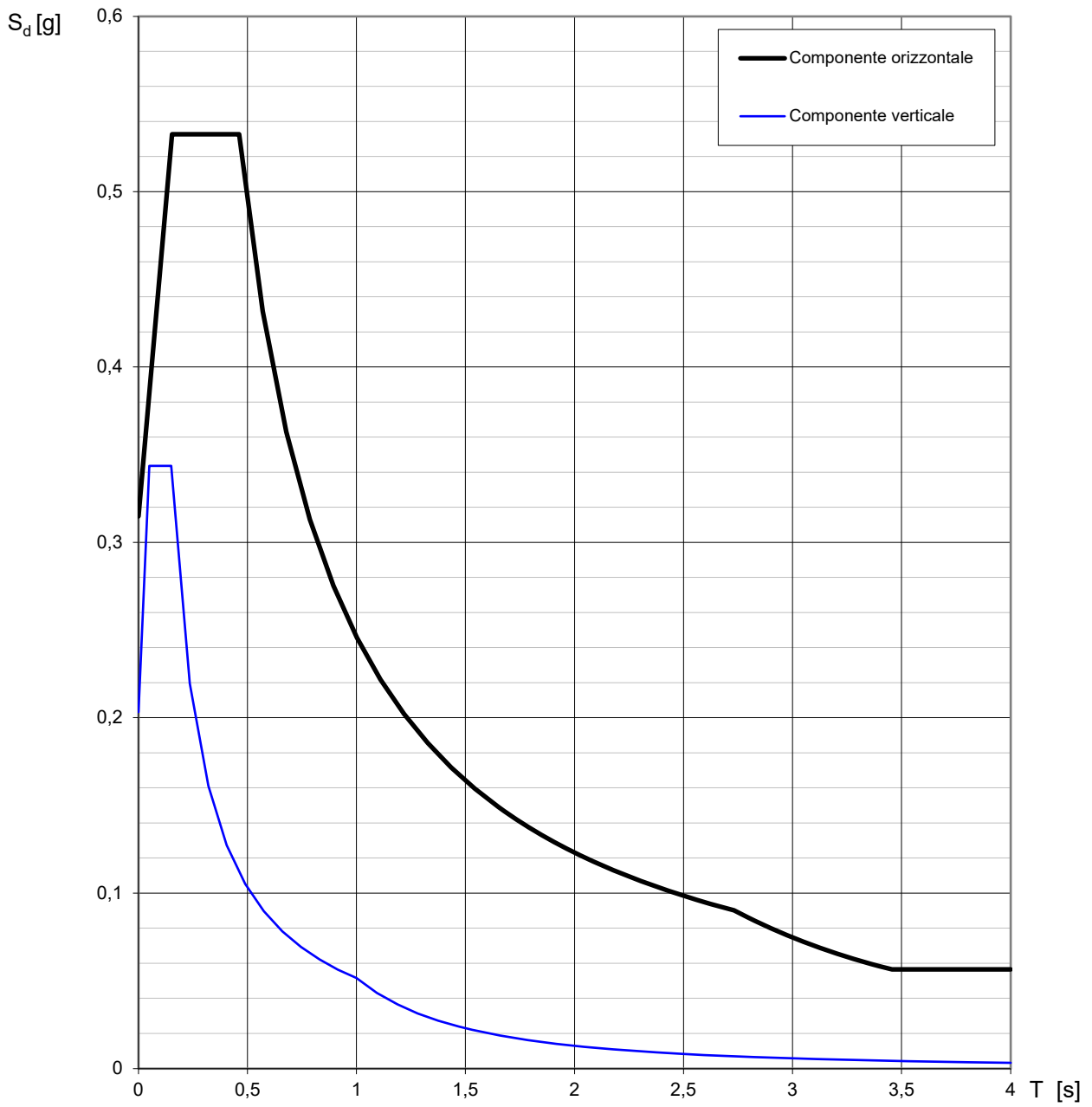
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

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



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,283 g
F_o	2,538
T_C	0,338 s
S_S	1,113
C_C	1,366
S_T	1,000
q	1,500

Parametri dipendenti

S	1,113
η	0,667
T_B	0,154 s
T_C	0,462 s
T_D	2,732 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,315
T_B ←	0,154	0,533
T_C ←	0,462	0,533
	0,570	0,432
	0,678	0,363
	0,786	0,313
	0,895	0,275
	1,003	0,246
	1,111	0,222
	1,219	0,202
	1,327	0,186
	1,435	0,172
	1,543	0,160
	1,651	0,149
	1,759	0,140
	1,867	0,132
	1,975	0,125
	2,083	0,118
	2,191	0,112
	2,299	0,107
	2,407	0,102
	2,515	0,098
	2,624	0,094
T_D ←	2,732	0,090
	2,792	0,086
	2,852	0,083
	2,913	0,079
	2,973	0,076
	3,034	0,073
	3,094	0,070
	3,154	0,068
	3,215	0,065
	3,275	0,063
	3,336	0,060
	3,396	0,058
	3,456	0,057
	3,517	0,057
	3,577	0,057
	3,638	0,057
	3,698	0,057
	3,758	0,057
	3,819	0,057
	3,879	0,057
	3,940	0,057
	4,000	0,057

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0,203 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,823
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,203
$T_B \leftarrow$	0,050	0,344
$T_C \leftarrow$	0,150	0,344
	0,235	0,219
	0,320	0,161
	0,405	0,127
	0,490	0,105
	0,575	0,090
	0,660	0,078
	0,745	0,069
	0,830	0,062
	0,915	0,056
$T_D \leftarrow$	1,000	0,052
	1,094	0,043
	1,188	0,037
	1,281	0,031
	1,375	0,027
	1,469	0,024
	1,563	0,021
	1,656	0,019
	1,750	0,017
	1,844	0,015
	1,938	0,014
	2,031	0,012
	2,125	0,011
	2,219	0,010
	2,313	0,010
	2,406	0,009
	2,500	0,008
	2,594	0,008
	2,688	0,007
	2,781	0,007
	2,875	0,006
	2,969	0,006
	3,063	0,005
	3,156	0,005
	3,250	0,005
	3,344	0,005
	3,438	0,004
	3,531	0,004
	3,625	0,004
	3,719	0,004
	3,813	0,004
	3,906	0,003
	4,000	0,003

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **B** info

$S_S = 1,113$

$C_C = 1,366$ info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 0,522$

$S_T = 1,000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta = 1,000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0 **1,5**

Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

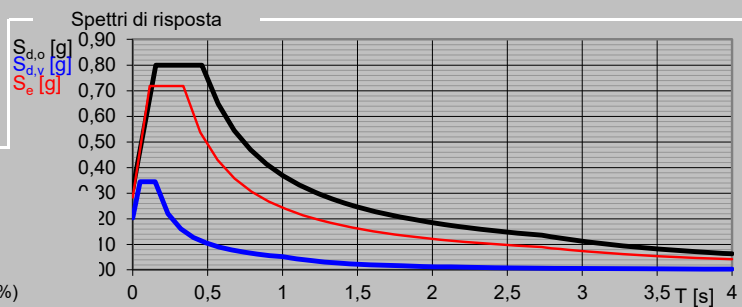
Fattore q **1,5**

$\eta = 0,667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

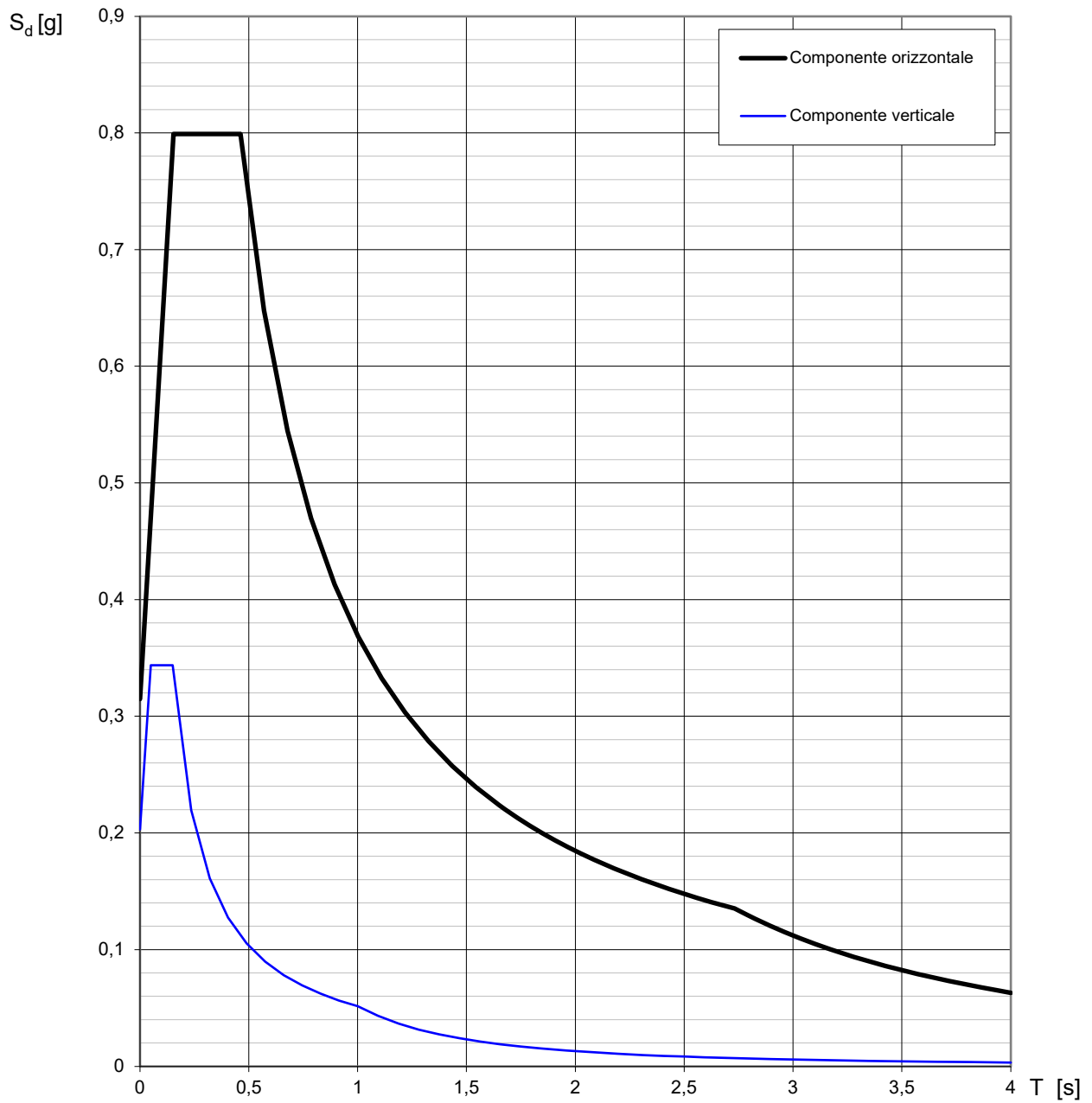


INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

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

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,283 g
F_o	2,538
T_C	0,338 s
S_S	1,113
C_C	1,366
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,113
η	1,000
T_B	0,154 s
T_C	0,462 s
T_D	2,732 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,315
T_B ←	0,154	0,799
T_C ←	0,462	0,799
	0,570	0,648
	0,678	0,545
	0,786	0,470
	0,895	0,413
	1,003	0,368
	1,111	0,333
	1,219	0,303
	1,327	0,278
	1,435	0,257
	1,543	0,239
	1,651	0,224
	1,759	0,210
	1,867	0,198
	1,975	0,187
	2,083	0,177
	2,191	0,169
	2,299	0,161
	2,407	0,153
	2,515	0,147
	2,624	0,141
T_D ←	2,732	0,135
	2,792	0,129
	2,852	0,124
	2,913	0,119
	2,973	0,114
	3,034	0,110
	3,094	0,105
	3,154	0,101
	3,215	0,098
	3,275	0,094
	3,336	0,091
	3,396	0,087
	3,456	0,084
	3,517	0,082
	3,577	0,079
	3,638	0,076
	3,698	0,074
	3,758	0,071
	3,819	0,069
	3,879	0,067
	3,940	0,065
	4,000	0,063

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0,203 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,823
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,203
$T_B \leftarrow$	0,050	0,344
$T_C \leftarrow$	0,150	0,344
	0,235	0,219
	0,320	0,161
	0,405	0,127
	0,490	0,105
	0,575	0,090
	0,660	0,078
	0,745	0,069
	0,830	0,062
	0,915	0,056
$T_D \leftarrow$	1,000	0,052
	1,094	0,043
	1,188	0,037
	1,281	0,031
	1,375	0,027
	1,469	0,024
	1,563	0,021
	1,656	0,019
	1,750	0,017
	1,844	0,015
	1,938	0,014
	2,031	0,012
	2,125	0,011
	2,219	0,010
	2,313	0,010
	2,406	0,009
	2,500	0,008
	2,594	0,008
	2,688	0,007
	2,781	0,007
	2,875	0,006
	2,969	0,006
	3,063	0,005
	3,156	0,005
	3,250	0,005
	3,344	0,005
	3,438	0,004
	3,531	0,004
	3,625	0,004
	3,719	0,004
	3,813	0,004
	3,906	0,003
	4,000	0,003

VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE NR. 1 – SEZ. A-A'

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

```

=====
Lat./Long.                43.564694/12.661745 °
Calcolo eseguito secondo  NTC 2018
Numero di strati          3.0
Numero dei conci          25.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile  1.3
Coefficiente parziale resistenza  1.1
AnalisiCondizione        drenata
Superficie di forma circolare
=====

```

Maglia dei Centri

```

=====
Ascissa vertice sinistro inferiore xi    109.42   m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi   185.14   m
Ascissa vertice destro superiore xs     205.64   m
Ordinata vertice destro superiore ys    272.65   m
Passo di ricerca                        10.0
Numero di celle lungo x                 10.0
Numero di celle lungo y                 10.0
=====

```

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

```

=====
Tipo opera:                2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:              Classe IV
Vita nominale:            100.0   [anni]
Vita di riferimento:      200.0   [anni]
=====

```

Parametri sismici su sito di riferimento

```

=====
Categoria sottosuolo:      B
Categoria topografica:     T1
=====

```

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	120.0	1.02	2.458	0.304
S.L.D.	201.0	1.245	2.457	0.314
S.L.V.	1898.0	2.775	2.534	0.339
S.L.C.	2475.0	3.03	2.544	0.342

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1.224	0.24	0.03	0.015
S.L.D.	1.494	0.24	0.0366	0.0183
S.L.V.	3.089	0.28	0.0882	0.0441
S.L.C.	3.2893	0.28	0.0939	0.047

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.088

Coefficiente azione sismica verticale 0.044

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	50.0
3	55.96	52.01
4	62.96	55.01
5	78.96	57.01
6	78.96	63.01
7	133.0	63.01
8	133.0	58.46
9	193.48	58.46
10	193.48	63.01
11	199.65	63.01
12	199.65	64.01
13	212.62	64.98
14	220.06	67.01
15	232.71	68.01
16	244.46	71.01
17	298.0	71.01

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	46.72
3	49.96	49.59
4	80.36	52.24
5	111.48	51.93
6	143.44	52.97
7	193.48	58.46

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	45.79
3	80.36	51.24
4	122.67	50.51
5	139.08	51.78
6	162.36	53.21
7	184.73	56.67
8	247.32	62.76
9	298.0	62.82

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	33.51
3	49.96	33.51
4	73.03	32.71
5	106.29	35.82

6	134.79	32.87
7	177.78	36.8
8	193.15	35.96
9	236.04	41.74
10	248.0	40.74
11	298.0	40.74

Coefficients parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficients parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0,1	31	1900	2200.00	Depositi alluvionali terrazzati
2	0,12	30	2000	2300	F. miocenica alterata e decompressa
3	0,2	35	2550	2850	F. miocenica in facies inalterata

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	133	58.45	193.48	58.45	2

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	2.77
Ascissa centro superficie	117.45 m
Ordinata centro superficie	277.07 m
Raggio superficie	233.07 m

Numero di superfici esaminate....(190)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	117.4	277.1	233.1	2.77
2	126.1	171.4	138.0	3.05
3	117.4	277.1	233.1	2.77
4	126.1	171.4	138.0	3.05
5	117.4	277.1	233.1	2.77
6	126.1	171.4	138.0	3.05

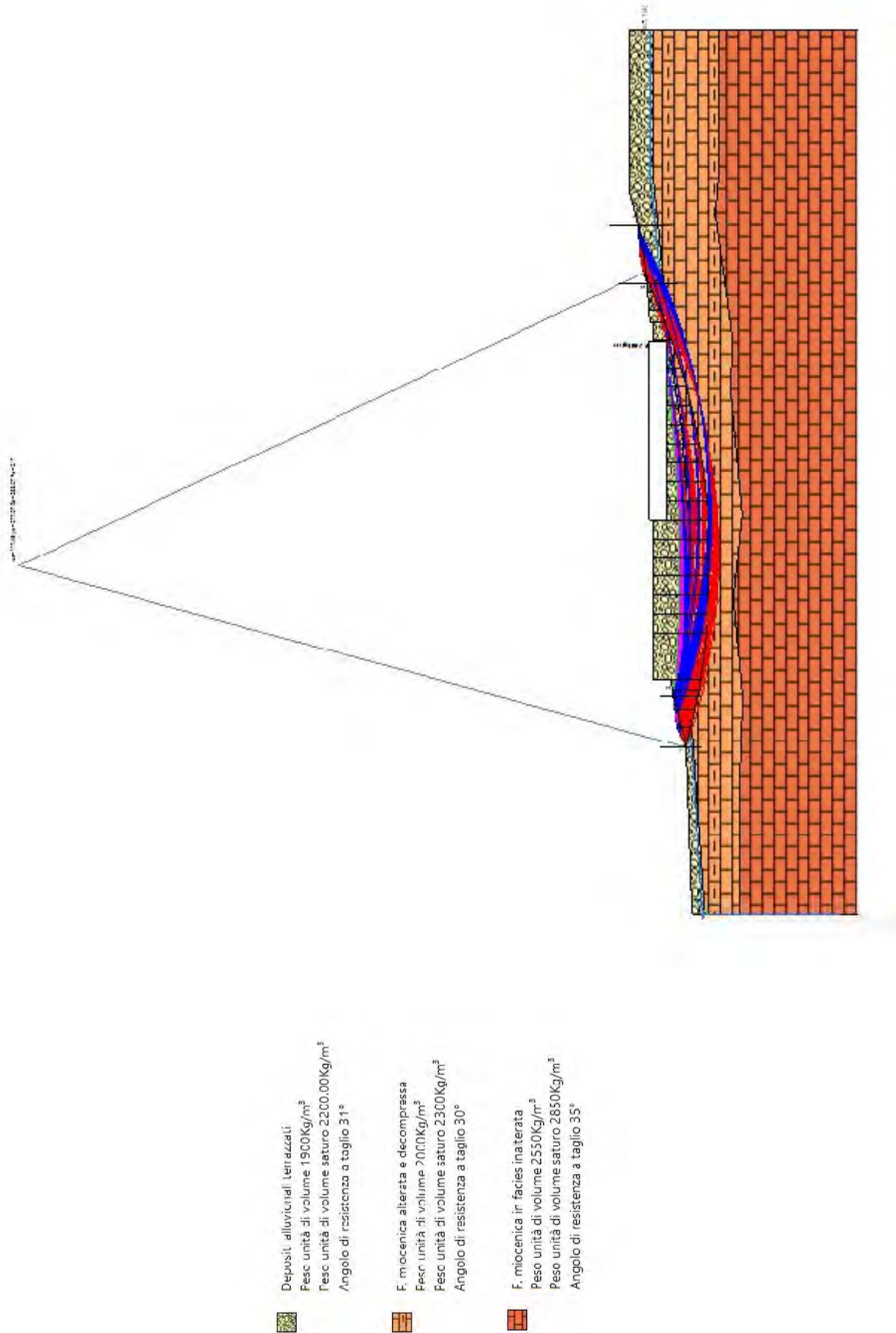
7	119.4	278.3	233.8	2.83
8	127.9	172.1	138.2	3.10
9	117.4	277.1	233.1	2.77
10	126.1	171.4	138.0	3.05
11	119.4	278.3	233.8	2.83
12	127.9	172.1	138.2	3.10
13	128.8	172.5	138.4	3.06
14	117.4	277.1	233.1	2.77
15	126.1	171.4	138.0	3.05
16	119.4	278.3	233.8	2.83
17	127.9	172.1	138.2	3.10
18	128.8	172.5	138.4	3.06
19	129.8	172.8	138.5	3.02
20	117.4	277.1	233.1	2.77
21	126.1	171.4	138.0	3.05
22	119.4	278.3	233.8	2.83
23	127.9	172.1	138.2	3.10
24	128.8	172.5	138.4	3.06
25	129.8	172.8	138.5	3.02
26	130.7	173.1	138.6	3.05
27	117.4	277.1	233.1	2.77
28	126.1	171.4	138.0	3.05
29	119.4	278.3	233.8	2.83
30	127.9	172.1	138.2	3.10
31	128.8	172.5	138.4	3.06
32	129.8	172.8	138.5	3.02
33	130.7	173.1	138.6	3.05
34	123.2	280.6	235.4	2.93
35	117.4	277.1	233.1	2.77
36	126.1	171.4	138.0	3.05
37	119.4	278.3	233.8	2.83
38	127.9	172.1	138.2	3.10
39	128.8	172.5	138.4	3.06
40	129.8	172.8	138.5	3.02
41	130.7	173.1	138.6	3.05
42	123.2	280.6	235.4	2.93
43	117.4	277.1	233.1	2.77
44	126.1	171.4	138.0	3.05
45	119.4	278.3	233.8	2.83
46	127.9	172.1	138.2	3.10
47	128.8	172.5	138.4	3.06
48	129.8	172.8	138.5	3.02
49	130.7	173.1	138.6	3.05
50	123.2	280.6	235.4	2.93
51	117.4	277.1	233.1	2.77
52	126.1	171.4	138.0	3.05
53	119.4	278.3	233.8	2.83
54	127.9	172.1	138.2	3.10
55	128.8	172.5	138.4	3.06
56	129.8	172.8	138.5	3.02
57	130.7	173.1	138.6	3.05
58	123.2	280.6	235.4	2.93
59	126.1	282.4	236.5	3.01
60	134.3	174.4	139.0	3.15

61	117.4	277.1	233.1	2.77
62	126.1	171.4	138.0	3.05
63	119.4	278.3	233.8	2.83
64	127.9	172.1	138.2	3.10
65	128.8	172.5	138.4	3.06
66	129.8	172.8	138.5	3.02
67	130.7	173.1	138.6	3.05
68	123.2	280.6	235.4	2.93
69	126.1	282.4	236.5	3.01
70	134.3	174.4	139.0	3.15
71	117.4	277.1	233.1	2.77
72	126.1	171.4	138.0	3.05
73	119.4	278.3	233.8	2.83
74	127.9	172.1	138.2	3.10
75	128.8	172.5	138.4	3.06
76	129.8	172.8	138.5	3.02
77	130.7	173.1	138.6	3.05
78	123.2	280.6	235.4	2.93
79	126.1	282.4	236.5	3.01
80	134.3	174.4	139.0	3.15
81	128.0	283.7	237.3	3.07
82	117.4	277.1	233.1	2.77
83	126.1	171.4	138.0	3.05
84	119.4	278.3	233.8	2.83
85	127.9	172.1	138.2	3.10
86	128.8	172.5	138.4	3.06
87	129.8	172.8	138.5	3.02
88	130.7	173.1	138.6	3.05
89	123.2	280.6	235.4	2.93
90	126.1	282.4	236.5	3.01
91	134.3	174.4	139.0	3.15
92	128.0	283.7	237.3	3.07
93	137.1	175.3	139.3	3.23
94	117.4	277.1	233.1	2.77
95	126.1	171.4	138.0	3.05
96	119.4	278.3	233.8	2.83
97	127.9	172.1	138.2	3.10
98	128.8	172.5	138.4	3.06
99	129.8	172.8	138.5	3.02
100	130.7	173.1	138.6	3.05
101	123.2	280.6	235.4	2.93
102	126.1	282.4	236.5	3.01
103	134.3	174.4	139.0	3.15
104	128.0	283.7	237.3	3.07
105	137.1	175.3	139.3	3.23
106	117.4	277.1	233.1	2.77
107	126.1	171.4	138.0	3.05
108	119.4	278.3	233.8	2.83
109	127.9	172.1	138.2	3.10
110	128.8	172.5	138.4	3.06
111	129.8	172.8	138.5	3.02
112	130.7	173.1	138.6	3.05
113	123.2	280.6	235.4	2.93
114	126.1	282.4	236.5	3.01

115	134.3	174.4	139.0	3.15
116	128.0	283.7	237.3	3.07
117	137.1	175.3	139.3	3.23
118	138.9	176.0	139.6	3.29
119	117.4	277.1	233.1	2.77
120	126.1	171.4	138.0	3.05
121	119.4	278.3	233.8	2.83
122	127.9	172.1	138.2	3.10
123	128.8	172.5	138.4	3.06
124	129.8	172.8	138.5	3.02
125	130.7	173.1	138.6	3.05
126	123.2	280.6	235.4	2.93
127	126.1	282.4	236.5	3.01
128	134.3	174.4	139.0	3.15
129	128.0	283.7	237.3	3.07
130	137.1	175.3	139.3	3.23
131	138.9	176.0	139.6	3.29
132	117.4	277.1	233.1	2.77
133	126.1	171.4	138.0	3.05
134	119.4	278.3	233.8	2.83
135	127.9	172.1	138.2	3.10
136	128.8	172.5	138.4	3.06
137	129.8	172.8	138.5	3.02
138	130.7	173.1	138.6	3.05
139	123.2	280.6	235.4	2.93
140	126.1	282.4	236.5	3.01
141	134.3	174.4	139.0	3.15
142	128.0	283.7	237.3	3.07
143	137.1	175.3	139.3	3.23
144	138.9	176.0	139.6	3.29
145	117.4	277.1	233.1	2.77
146	126.1	171.4	138.0	3.05
147	119.4	278.3	233.8	2.83
148	127.9	172.1	138.2	3.10
149	128.8	172.5	138.4	3.06
150	129.8	172.8	138.5	3.02
151	130.7	173.1	138.6	3.05
152	123.2	280.6	235.4	2.93
153	126.1	282.4	236.5	3.01
154	134.3	174.4	139.0	3.15
155	128.0	283.7	237.3	3.07
156	137.1	175.3	139.3	3.23
157	138.9	176.0	139.6	3.29
158	133.7	287.2	239.7	3.24
159	141.7	176.9	139.9	3.38
160	117.4	277.1	233.1	2.77
161	126.1	171.4	138.0	3.05
162	119.4	278.3	233.8	2.83
163	127.9	172.1	138.2	3.10
164	128.8	172.5	138.4	3.06
165	129.8	172.8	138.5	3.02
166	130.7	173.1	138.6	3.05
167	123.2	280.6	235.4	2.93
168	126.1	282.4	236.5	3.01

169	134.3	174.4	139.0	3.15
170	128.0	283.7	237.3	3.07
171	137.1	175.3	139.3	3.23
172	138.9	176.0	139.6	3.29
173	133.7	287.2	239.7	3.24
174	141.7	176.9	139.9	3.38
175	117.4	277.1	233.1	2.77
176	126.1	171.4	138.0	3.05
177	119.4	278.3	233.8	2.83
178	127.9	172.1	138.2	3.10
179	128.8	172.5	138.4	3.06
180	129.8	172.8	138.5	3.02
181	130.7	173.1	138.6	3.05
182	123.2	280.6	235.4	2.93
183	126.1	282.4	236.5	3.01
184	134.3	174.4	139.0	3.15
185	128.0	283.7	237.3	3.07
186	137.1	175.3	139.3	3.23
187	138.9	176.0	139.6	3.29
188	133.7	287.2	239.7	3.24
189	141.7	176.9	139.9	3.38
190	135.7	288.6	240.6	3.31

=====



VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE NR. 2 – SEZ. A-A'

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

```

=====
Lat./Long.                43.564694/12.661745 °
Calcolo eseguito secondo  NTC 2018
Numero di strati          3.0
Numero dei conci          25.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile  1.3
Coefficiente parziale resistenza  1.1
AnalisiCondizione        drenata
Superficie di forma circolare
=====

```

Maglia dei Centri

```

=====
Ascissa vertice sinistro inferiore xi    109.42   m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi    185.14   m
Ascissa vertice destro superiore xs      205.64   m
Ordinata vertice destro superiore ys     272.65   m
Passo di ricerca                        10.0
Numero di celle lungo x                  10.0
Numero di celle lungo y                  10.0
=====

```

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

```

=====
Tipo opera:                2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:              Classe IV
Vita nominale:             100.0   [anni]
Vita di riferimento:      200.0   [anni]
=====

```

Parametri sismici su sito di riferimento

```

=====
Categoria sottosuolo:      B
Categoria topografica:    T1
=====

```

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	120.0	1.02	2.458	0.304
S.L.D.	201.0	1.245	2.457	0.314
S.L.V.	1898.0	2.775	2.534	0.339
S.L.C.	2475.0	3.03	2.544	0.342

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1.224	0.24	0.03	0.015
S.L.D.	1.494	0.24	0.0366	0.0183
S.L.V.	3.089	0.28	0.0882	0.0441
S.L.C.	3.2893	0.28	0.0939	0.047

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.088

Coefficiente azione sismica verticale 0.044

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	50.0
3	55.96	52.01
4	62.96	55.01
5	78.96	57.01
6	78.96	63.01
7	133.0	63.01
8	133.0	58.46
9	193.48	58.46
10	193.48	63.01
11	199.65	63.01
12	199.65	64.01
13	212.62	64.98
14	220.06	67.01
15	232.71	68.01
16	244.46	71.01
17	298.0	71.01

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	-1.01
2	0.0	48.99
3	55.96	51.0
4	62.96	54.0
5	78.96	56.0
6	78.96	56.0
7	133.0	57.45
8	133.0	57.45
9	193.48	57.45
10	193.48	62.0
11	199.65	62.0
12	199.65	63.0
13	212.62	63.97
14	220.06	66.0
15	232.71	67.0
16	244.46	70.0
17	298.0	70.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	45.79
3	80.36	51.24
4	122.67	50.51
5	139.08	51.78
6	162.36	53.21
7	184.73	56.67
8	247.32	62.76
9	298.0	62.82

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	33.51
3	49.96	33.51
4	73.03	32.71
5	106.29	35.82
6	134.79	32.87
7	177.78	36.8
8	193.15	35.96
9	236.04	41.74
10	248.0	40.74
11	298.0	40.74

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

=====

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25
Coesione efficace 1.25
Coesione non drenata 1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno Si

=====

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0,1	31	1900	2200.00	Depositi alluvionali terrazzati
2	0,12	30	2000	2300	F. miocenica alterata e decompressa
3	0,2	35	2550	2850	F. miocenica in facies inalterata

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	133	58.45	193.48	58.45	2

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

=====

Fs minimo individuato 2.63
Ascissa centro superficie 101.8m
Ordinata centro superficie 523.94 m
Raggio superficie 472.91
m=====

Numero di superfici esaminate....(573)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs	
1		97.8	516.5	466.4	2.70
2		117.4	277.1	233.1	2.77
3		121.4	228.6	188.0	2.81
4		97.8	516.5	466.4	2.70
5		117.4	277.1	233.1	2.77
6		121.4	228.6	188.0	2.81
7		98.8	518.3	468.0	2.68
8		111.9	357.8	310.4	2.76
9		97.8	516.5	466.4	2.70
10		117.4	277.1	233.1	2.77
11		121.4	228.6	188.0	2.81
12		98.8	518.3	468.0	2.68
13		111.9	357.8	310.4	2.76
14		99.8	520.2	469.6	2.69
15		112.9	358.7	311.0	2.79
16		119.4	278.3	233.8	2.81
17		123.3	229.5	188.5	2.86
18		97.8	516.5	466.4	2.70
19		117.4	277.1	233.1	2.77
20		121.4	228.6	188.0	2.81
21		98.8	518.3	468.0	2.68
22		111.9	357.8	310.4	2.76
23		99.8	520.2	469.6	2.69
24		112.9	358.7	311.0	2.79
25		119.4	278.3	233.8	2.81
26		123.3	229.5	188.5	2.86
27		100.8	522.1	471.3	2.70
28		113.8	359.6	311.7	2.81
29		124.2	229.9	188.7	2.91
30		97.8	516.5	466.4	2.70
31		117.4	277.1	233.1	2.77
32		121.4	228.6	188.0	2.81
33		98.8	518.3	468.0	2.68
34		111.9	357.8	310.4	2.76
35		99.8	520.2	469.6	2.69
36		112.9	358.7	311.0	2.79
37		119.4	278.3	233.8	2.81
38		123.3	229.5	188.5	2.86
39		100.8	522.1	471.3	2.70
40		113.8	359.6	311.7	2.81
41		124.2	229.9	188.7	2.91
42		101.8	523.9	472.9	2.63
43		125.2	230.4	188.9	2.91
44		97.8	516.5	466.4	2.70
45		117.4	277.1	233.1	2.77
46		121.4	228.6	188.0	2.81
47		98.8	518.3	468.0	2.68
48		111.9	357.8	310.4	2.76
49		99.8	520.2	469.6	2.69
50		112.9	358.7	311.0	2.79

51	119.4	278.3	233.8	2.81
52	123.3	229.5	188.5	2.86
53	100.8	522.1	471.3	2.70
54	113.8	359.6	311.7	2.81
55	124.2	229.9	188.7	2.91
56	101.8	523.9	472.9	2.63
57	125.2	230.4	188.9	2.91
58	102.8	525.8	474.5	2.67
59	126.1	230.8	189.2	2.94
60	97.8	516.5	466.4	2.70
61	117.4	277.1	233.1	2.77
62	121.4	228.6	188.0	2.81
63	98.8	518.3	468.0	2.68
64	111.9	357.8	310.4	2.76
65	99.8	520.2	469.6	2.69
66	112.9	358.7	311.0	2.79
67	119.4	278.3	233.8	2.81
68	123.3	229.5	188.5	2.86
69	100.8	522.1	471.3	2.70
70	113.8	359.6	311.7	2.81
71	124.2	229.9	188.7	2.91
72	101.8	523.9	472.9	2.63
73	125.2	230.4	188.9	2.91
74	102.8	525.8	474.5	2.67
75	126.1	230.8	189.2	2.94
76	103.8	527.6	476.1	2.72
77	116.8	362.3	313.8	2.86
78	123.2	280.6	235.4	2.91
79	127.1	231.3	189.4	2.97
80	97.8	516.5	466.4	2.70
81	117.4	277.1	233.1	2.77
82	121.4	228.6	188.0	2.81
83	98.8	518.3	468.0	2.68
84	111.9	357.8	310.4	2.76
85	99.8	520.2	469.6	2.69
86	112.9	358.7	311.0	2.79
87	119.4	278.3	233.8	2.81
88	123.3	229.5	188.5	2.86
89	100.8	522.1	471.3	2.70
90	113.8	359.6	311.7	2.81
91	124.2	229.9	188.7	2.91
92	101.8	523.9	472.9	2.63
93	125.2	230.4	188.9	2.91
94	102.8	525.8	474.5	2.67
95	126.1	230.8	189.2	2.94
96	103.8	527.6	476.1	2.72
97	116.8	362.3	313.8	2.86
98	123.2	280.6	235.4	2.91
99	127.1	231.3	189.4	2.97
100	117.8	363.3	314.5	2.89
101	128.0	231.7	189.7	2.97
102	97.8	516.5	466.4	2.70
103	117.4	277.1	233.1	2.77
104	121.4	228.6	188.0	2.81

105	98.8	518.3	468.0	2.68
106	111.9	357.8	310.4	2.76
107	99.8	520.2	469.6	2.69
108	112.9	358.7	311.0	2.79
109	119.4	278.3	233.8	2.81
110	123.3	229.5	188.5	2.86
111	100.8	522.1	471.3	2.70
112	113.8	359.6	311.7	2.81
113	124.2	229.9	188.7	2.91
114	101.8	523.9	472.9	2.63
115	125.2	230.4	188.9	2.91
116	102.8	525.8	474.5	2.67
117	126.1	230.8	189.2	2.94
118	103.8	527.6	476.1	2.72
119	116.8	362.3	313.8	2.86
120	123.2	280.6	235.4	2.91
121	127.1	231.3	189.4	2.97
122	117.8	363.3	314.5	2.89
123	128.0	231.7	189.7	2.97
124	105.8	531.4	479.5	2.81
125	128.9	232.1	189.9	3.00
126	97.8	516.5	466.4	2.70
127	117.4	277.1	233.1	2.77
128	121.4	228.6	188.0	2.81
129	98.8	518.3	468.0	2.68
130	111.9	357.8	310.4	2.76
131	99.8	520.2	469.6	2.69
132	112.9	358.7	311.0	2.79
133	119.4	278.3	233.8	2.81
134	123.3	229.5	188.5	2.86
135	100.8	522.1	471.3	2.70
136	113.8	359.6	311.7	2.81
137	124.2	229.9	188.7	2.91
138	101.8	523.9	472.9	2.63
139	125.2	230.4	188.9	2.91
140	102.8	525.8	474.5	2.67
141	126.1	230.8	189.2	2.94
142	103.8	527.6	476.1	2.72
143	116.8	362.3	313.8	2.86
144	123.2	280.6	235.4	2.91
145	127.1	231.3	189.4	2.97
146	117.8	363.3	314.5	2.89
147	128.0	231.7	189.7	2.97
148	105.8	531.4	479.5	2.81
149	128.9	232.1	189.9	3.00
150	106.8	533.3	481.2	2.86
151	126.1	282.4	236.5	2.98
152	97.8	516.5	466.4	2.70
153	117.4	277.1	233.1	2.77
154	121.4	228.6	188.0	2.81
155	98.8	518.3	468.0	2.68
156	111.9	357.8	310.4	2.76
157	99.8	520.2	469.6	2.69
158	112.9	358.7	311.0	2.79

159	119.4	278.3	233.8	2.81
160	123.3	229.5	188.5	2.86
161	100.8	522.1	471.3	2.70
162	113.8	359.6	311.7	2.81
163	124.2	229.9	188.7	2.91
164	101.8	523.9	472.9	2.63
165	125.2	230.4	188.9	2.91
166	102.8	525.8	474.5	2.67
167	126.1	230.8	189.2	2.94
168	103.8	527.6	476.1	2.72
169	116.8	362.3	313.8	2.86
170	123.2	280.6	235.4	2.91
171	127.1	231.3	189.4	2.97
172	117.8	363.3	314.5	2.89
173	128.0	231.7	189.7	2.97
174	105.8	531.4	479.5	2.81
175	128.9	232.1	189.9	3.00
176	106.8	533.3	481.2	2.86
177	126.1	282.4	236.5	2.98
178	107.8	535.2	482.8	2.91
179	120.7	366.0	316.6	2.92
180	130.8	233.1	190.4	3.04
181	97.8	516.5	466.4	2.70
182	117.4	277.1	233.1	2.77
183	121.4	228.6	188.0	2.81
184	98.8	518.3	468.0	2.68
185	111.9	357.8	310.4	2.76
186	99.8	520.2	469.6	2.69
187	112.9	358.7	311.0	2.79
188	119.4	278.3	233.8	2.81
189	123.3	229.5	188.5	2.86
190	100.8	522.1	471.3	2.70
191	113.8	359.6	311.7	2.81
192	124.2	229.9	188.7	2.91
193	101.8	523.9	472.9	2.63
194	125.2	230.4	188.9	2.91
195	102.8	525.8	474.5	2.67
196	126.1	230.8	189.2	2.94
197	103.8	527.6	476.1	2.72
198	116.8	362.3	313.8	2.86
199	123.2	280.6	235.4	2.91
200	127.1	231.3	189.4	2.97
201	117.8	363.3	314.5	2.89
202	128.0	231.7	189.7	2.97
203	105.8	531.4	479.5	2.81
204	128.9	232.1	189.9	3.00
205	106.8	533.3	481.2	2.86
206	126.1	282.4	236.5	2.98
207	107.8	535.2	482.8	2.91
208	120.7	366.0	316.6	2.92
209	130.8	233.1	190.4	3.04
210	108.8	537.4	484.8	2.97
211	121.7	366.9	317.3	2.97
212	128.0	283.7	237.3	3.03

213	131.8	233.5	190.6	3.07
214	97.8	516.5	466.4	2.70
215	117.4	277.1	233.1	2.77
216	121.4	228.6	188.0	2.81
217	98.8	518.3	468.0	2.68
218	111.9	357.8	310.4	2.76
219	99.8	520.2	469.6	2.69
220	112.9	358.7	311.0	2.79
221	119.4	278.3	233.8	2.81
222	123.3	229.5	188.5	2.86
223	100.8	522.1	471.3	2.70
224	113.8	359.6	311.7	2.81
225	124.2	229.9	188.7	2.91
226	101.8	523.9	472.9	2.63
227	125.2	230.4	188.9	2.91
228	102.8	525.8	474.5	2.67
229	126.1	230.8	189.2	2.94
230	103.8	527.6	476.1	2.72
231	116.8	362.3	313.8	2.86
232	123.2	280.6	235.4	2.91
233	127.1	231.3	189.4	2.97
234	117.8	363.3	314.5	2.89
235	128.0	231.7	189.7	2.97
236	105.8	531.4	479.5	2.81
237	128.9	232.1	189.9	3.00
238	106.8	533.3	481.2	2.86
239	126.1	282.4	236.5	2.98
240	107.8	535.2	482.8	2.91
241	120.7	366.0	316.6	2.92
242	130.8	233.1	190.4	3.04
243	108.8	537.4	484.8	2.97
244	121.7	366.9	317.3	2.97
245	128.0	283.7	237.3	3.03
246	131.8	233.5	190.6	3.07
247	109.8	539.2	486.4	3.02
248	122.7	367.9	318.1	2.97
249	132.7	233.9	190.8	3.10
250	97.8	516.5	466.4	2.70
251	117.4	277.1	233.1	2.77
252	121.4	228.6	188.0	2.81
253	98.8	518.3	468.0	2.68
254	111.9	357.8	310.4	2.76
255	99.8	520.2	469.6	2.69
256	112.9	358.7	311.0	2.79
257	119.4	278.3	233.8	2.81
258	123.3	229.5	188.5	2.86
259	100.8	522.1	471.3	2.70
260	113.8	359.6	311.7	2.81
261	124.2	229.9	188.7	2.91
262	101.8	523.9	472.9	2.63
263	125.2	230.4	188.9	2.91
264	102.8	525.8	474.5	2.67
265	126.1	230.8	189.2	2.94
266	103.8	527.6	476.1	2.72

267	116.8	362.3	313.8	2.86
268	123.2	280.6	235.4	2.91
269	127.1	231.3	189.4	2.97
270	117.8	363.3	314.5	2.89
271	128.0	231.7	189.7	2.97
272	105.8	531.4	479.5	2.81
273	128.9	232.1	189.9	3.00
274	106.8	533.3	481.2	2.86
275	126.1	282.4	236.5	2.98
276	107.8	535.2	482.8	2.91
277	120.7	366.0	316.6	2.92
278	130.8	233.1	190.4	3.04
279	108.8	537.4	484.8	2.97
280	121.7	366.9	317.3	2.97
281	128.0	283.7	237.3	3.03
282	131.8	233.5	190.6	3.07
283	109.8	539.2	486.4	3.02
284	122.7	367.9	318.1	2.97
285	132.7	233.9	190.8	3.10
286	110.9	541.1	488.2	3.08
287	133.6	234.5	191.2	3.13
288	97.8	516.5	466.4	2.70
289	117.4	277.1	233.1	2.77
290	121.4	228.6	188.0	2.81
291	98.8	518.3	468.0	2.68
292	111.9	357.8	310.4	2.76
293	99.8	520.2	469.6	2.69
294	112.9	358.7	311.0	2.79
295	119.4	278.3	233.8	2.81
296	123.3	229.5	188.5	2.86
297	100.8	522.1	471.3	2.70
298	113.8	359.6	311.7	2.81
299	124.2	229.9	188.7	2.91
300	101.8	523.9	472.9	2.63
301	125.2	230.4	188.9	2.91
302	102.8	525.8	474.5	2.67
303	126.1	230.8	189.2	2.94
304	103.8	527.6	476.1	2.72
305	116.8	362.3	313.8	2.86
306	123.2	280.6	235.4	2.91
307	127.1	231.3	189.4	2.97
308	117.8	363.3	314.5	2.89
309	128.0	231.7	189.7	2.97
310	105.8	531.4	479.5	2.81
311	128.9	232.1	189.9	3.00
312	106.8	533.3	481.2	2.86
313	126.1	282.4	236.5	2.98
314	107.8	535.2	482.8	2.91
315	120.7	366.0	316.6	2.92
316	130.8	233.1	190.4	3.04
317	108.8	537.4	484.8	2.97
318	121.7	366.9	317.3	2.97
319	128.0	283.7	237.3	3.03
320	131.8	233.5	190.6	3.07

321	109.8	539.2	486.4	3.02
322	122.7	367.9	318.1	2.97
323	132.7	233.9	190.8	3.10
324	110.9	541.1	488.2	3.08
325	133.6	234.5	191.2	3.13
326	111.9	543.1	489.9	3.14
327	134.6	234.9	191.3	3.16
328	97.8	516.5	466.4	2.70
329	117.4	277.1	233.1	2.77
330	121.4	228.6	188.0	2.81
331	98.8	518.3	468.0	2.68
332	111.9	357.8	310.4	2.76
333	99.8	520.2	469.6	2.69
334	112.9	358.7	311.0	2.79
335	119.4	278.3	233.8	2.81
336	123.3	229.5	188.5	2.86
337	100.8	522.1	471.3	2.70
338	113.8	359.6	311.7	2.81
339	124.2	229.9	188.7	2.91
340	101.8	523.9	472.9	2.63
341	125.2	230.4	188.9	2.91
342	102.8	525.8	474.5	2.67
343	126.1	230.8	189.2	2.94
344	103.8	527.6	476.1	2.72
345	116.8	362.3	313.8	2.86
346	123.2	280.6	235.4	2.91
347	127.1	231.3	189.4	2.97
348	117.8	363.3	314.5	2.89
349	128.0	231.7	189.7	2.97
350	105.8	531.4	479.5	2.81
351	128.9	232.1	189.9	3.00
352	106.8	533.3	481.2	2.86
353	126.1	282.4	236.5	2.98
354	107.8	535.2	482.8	2.91
355	120.7	366.0	316.6	2.92
356	130.8	233.1	190.4	3.04
357	108.8	537.4	484.8	2.97
358	121.7	366.9	317.3	2.97
359	128.0	283.7	237.3	3.03
360	131.8	233.5	190.6	3.07
361	109.8	539.2	486.4	3.02
362	122.7	367.9	318.1	2.97
363	132.7	233.9	190.8	3.10
364	110.9	541.1	488.2	3.08
365	133.6	234.5	191.2	3.13
366	111.9	543.1	489.9	3.14
367	134.6	234.9	191.3	3.16
368	112.9	545.2	491.8	3.20
369	125.6	370.7	320.3	2.99
370	135.5	235.3	191.6	3.20
371	97.8	516.5	466.4	2.70
372	117.4	277.1	233.1	2.77
373	121.4	228.6	188.0	2.81
374	98.8	518.3	468.0	2.68

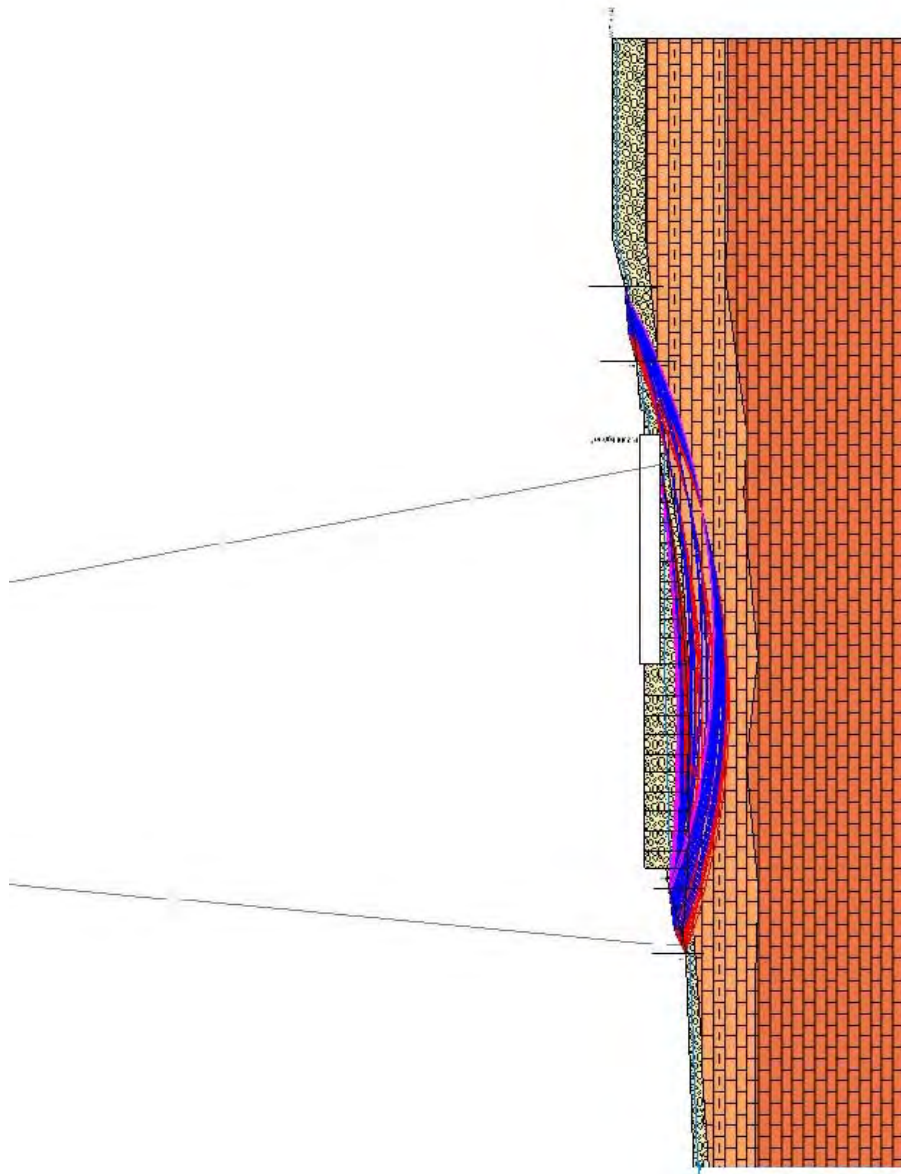
375	111.9	357.8	310.4	2.76
376	99.8	520.2	469.6	2.69
377	112.9	358.7	311.0	2.79
378	119.4	278.3	233.8	2.81
379	123.3	229.5	188.5	2.86
380	100.8	522.1	471.3	2.70
381	113.8	359.6	311.7	2.81
382	124.2	229.9	188.7	2.91
383	101.8	523.9	472.9	2.63
384	125.2	230.4	188.9	2.91
385	102.8	525.8	474.5	2.67
386	126.1	230.8	189.2	2.94
387	103.8	527.6	476.1	2.72
388	116.8	362.3	313.8	2.86
389	123.2	280.6	235.4	2.91
390	127.1	231.3	189.4	2.97
391	117.8	363.3	314.5	2.89
392	128.0	231.7	189.7	2.97
393	105.8	531.4	479.5	2.81
394	128.9	232.1	189.9	3.00
395	106.8	533.3	481.2	2.86
396	126.1	282.4	236.5	2.98
397	107.8	535.2	482.8	2.91
398	120.7	366.0	316.6	2.92
399	130.8	233.1	190.4	3.04
400	108.8	537.4	484.8	2.97
401	121.7	366.9	317.3	2.97
402	128.0	283.7	237.3	3.03
403	131.8	233.5	190.6	3.07
404	109.8	539.2	486.4	3.02
405	122.7	367.9	318.1	2.97
406	132.7	233.9	190.8	3.10
407	110.9	541.1	488.2	3.08
408	133.6	234.5	191.2	3.13
409	111.9	543.1	489.9	3.14
410	134.6	234.9	191.3	3.16
411	112.9	545.2	491.8	3.20
412	125.6	370.7	320.3	2.99
413	135.5	235.3	191.6	3.20
414	113.9	547.1	493.5	3.27
415	126.6	371.7	321.1	2.95
416	136.5	235.8	191.8	3.22
417	97.8	516.5	466.4	2.70
418	117.4	277.1	233.1	2.77
419	121.4	228.6	188.0	2.81
420	98.8	518.3	468.0	2.68
421	111.9	357.8	310.4	2.76
422	99.8	520.2	469.6	2.69
423	112.9	358.7	311.0	2.79
424	119.4	278.3	233.8	2.81
425	123.3	229.5	188.5	2.86
426	100.8	522.1	471.3	2.70
427	113.8	359.6	311.7	2.81
428	124.2	229.9	188.7	2.91

429	101.8	523.9	472.9	2.63
430	125.2	230.4	188.9	2.91
431	102.8	525.8	474.5	2.67
432	126.1	230.8	189.2	2.94
433	103.8	527.6	476.1	2.72
434	116.8	362.3	313.8	2.86
435	123.2	280.6	235.4	2.91
436	127.1	231.3	189.4	2.97
437	117.8	363.3	314.5	2.89
438	128.0	231.7	189.7	2.97
439	105.8	531.4	479.5	2.81
440	128.9	232.1	189.9	3.00
441	106.8	533.3	481.2	2.86
442	126.1	282.4	236.5	2.98
443	107.8	535.2	482.8	2.91
444	120.7	366.0	316.6	2.92
445	130.8	233.1	190.4	3.04
446	108.8	537.4	484.8	2.97
447	121.7	366.9	317.3	2.97
448	128.0	283.7	237.3	3.03
449	131.8	233.5	190.6	3.07
450	109.8	539.2	486.4	3.02
451	122.7	367.9	318.1	2.97
452	132.7	233.9	190.8	3.10
453	110.9	541.1	488.2	3.08
454	133.6	234.5	191.2	3.13
455	111.9	543.1	489.9	3.14
456	134.6	234.9	191.3	3.16
457	112.9	545.2	491.8	3.20
458	125.6	370.7	320.3	2.99
459	135.5	235.3	191.6	3.20
460	113.9	547.1	493.5	3.27
461	126.6	371.7	321.1	2.95
462	136.5	235.8	191.8	3.22
463	114.9	549.1	495.2	3.34
464	127.6	372.7	321.9	2.98
465	133.7	287.2	239.7	3.16
466	137.4	236.2	192.1	3.25
467	97.8	516.5	466.4	2.70
468	117.4	277.1	233.1	2.77
469	121.4	228.6	188.0	2.81
470	98.8	518.3	468.0	2.68
471	111.9	357.8	310.4	2.76
472	99.8	520.2	469.6	2.69
473	112.9	358.7	311.0	2.79
474	119.4	278.3	233.8	2.81
475	123.3	229.5	188.5	2.86
476	100.8	522.1	471.3	2.70
477	113.8	359.6	311.7	2.81
478	124.2	229.9	188.7	2.91
479	101.8	523.9	472.9	2.63
480	125.2	230.4	188.9	2.91
481	102.8	525.8	474.5	2.67
482	126.1	230.8	189.2	2.94

483	103.8	527.6	476.1	2.72
484	116.8	362.3	313.8	2.86
485	123.2	280.6	235.4	2.91
486	127.1	231.3	189.4	2.97
487	117.8	363.3	314.5	2.89
488	128.0	231.7	189.7	2.97
489	105.8	531.4	479.5	2.81
490	128.9	232.1	189.9	3.00
491	106.8	533.3	481.2	2.86
492	126.1	282.4	236.5	2.98
493	107.8	535.2	482.8	2.91
494	120.7	366.0	316.6	2.92
495	130.8	233.1	190.4	3.04
496	108.8	537.4	484.8	2.97
497	121.7	366.9	317.3	2.97
498	128.0	283.7	237.3	3.03
499	131.8	233.5	190.6	3.07
500	109.8	539.2	486.4	3.02
501	122.7	367.9	318.1	2.97
502	132.7	233.9	190.8	3.10
503	110.9	541.1	488.2	3.08
504	133.6	234.5	191.2	3.13
505	111.9	543.1	489.9	3.14
506	134.6	234.9	191.3	3.16
507	112.9	545.2	491.8	3.20
508	125.6	370.7	320.3	2.99
509	135.5	235.3	191.6	3.20
510	113.9	547.1	493.5	3.27
511	126.6	371.7	321.1	2.95
512	136.5	235.8	191.8	3.22
513	114.9	549.1	495.2	3.34
514	127.6	372.7	321.9	2.98
515	133.7	287.2	239.7	3.16
516	137.4	236.2	192.1	3.25
517	115.9	551.2	497.1	3.41
518	138.3	236.7	192.3	3.27
519	97.8	516.5	466.4	2.70
520	117.4	277.1	233.1	2.77
521	121.4	228.6	188.0	2.81
522	98.8	518.3	468.0	2.68
523	111.9	357.8	310.4	2.76
524	99.8	520.2	469.6	2.69
525	112.9	358.7	311.0	2.79
526	119.4	278.3	233.8	2.81
527	123.3	229.5	188.5	2.86
528	100.8	522.1	471.3	2.70
529	113.8	359.6	311.7	2.81
530	124.2	229.9	188.7	2.91
531	101.8	523.9	472.9	2.63
532	125.2	230.4	188.9	2.91
533	102.8	525.8	474.5	2.67
534	126.1	230.8	189.2	2.94
535	103.8	527.6	476.1	2.72
536	116.8	362.3	313.8	2.86

537	123.2	280.6	235.4	2.91
538	127.1	231.3	189.4	2.97
539	117.8	363.3	314.5	2.89
540	128.0	231.7	189.7	2.97
541	105.8	531.4	479.5	2.81
542	128.9	232.1	189.9	3.00
543	106.8	533.3	481.2	2.86
544	126.1	282.4	236.5	2.98
545	107.8	535.2	482.8	2.91
546	120.7	366.0	316.6	2.92
547	130.8	233.1	190.4	3.04
548	108.8	537.4	484.8	2.97
549	121.7	366.9	317.3	2.97
550	128.0	283.7	237.3	3.03
551	131.8	233.5	190.6	3.07
552	109.8	539.2	486.4	3.02
553	122.7	367.9	318.1	2.97
554	132.7	233.9	190.8	3.10
555	110.9	541.1	488.2	3.08
556	133.6	234.5	191.2	3.13
557	111.9	543.1	489.9	3.14
558	134.6	234.9	191.3	3.16
559	112.9	545.2	491.8	3.20
560	125.6	370.7	320.3	2.99
561	135.5	235.3	191.6	3.20
562	113.9	547.1	493.5	3.27
563	126.6	371.7	321.1	2.95
564	136.5	235.8	191.8	3.22
565	114.9	549.1	495.2	3.34
566	127.6	372.7	321.9	2.98
567	133.7	287.2	239.7	3.16
568	137.4	236.2	192.1	3.25
569	115.9	551.2	497.1	3.41
570	138.3	236.7	192.3	3.27
571	116.9	553.5	499.2	3.49
572	135.7	288.6	240.6	3.22
573	139.3	237.1	192.5	3.29

=====



Depositi alluvionali terrazzati
Peso unità di volume 1900Kg/m³
Peso unità di volume saturo 2200.00Kg/m³
Angolo di resistenza a taglio 31°

F. miocenica alterata e decompressa
Peso unità di volume 2000Kg/m³
Peso unità di volume saturo 2200Kg/m³
Angolo di resistenza a taglio 30°

F. miocenica in facies inalterata
Peso unità di volume 2550Kg/m³
Peso unità di volume saturo 2850Kg/m³
Angolo di resistenza a taglio 35°



Dott. Geol. **Maurizio Mainiero**
Geologia ambientale
Geologia tecnica
Idrogeologia

COMUNE DI CAGLI PU



Lavoro:

REALIZZAZIONE NUOVA STRUTTURA SANITARIA DA ADIBIRE A CASA DELLA COMUNITÀ E OSPEDALE DI COMUNITÀ DI CAGLI

Redazione: Ing. G. Lovascio Ing. P. Clementi Geol. M. Mainiero	Collaboratori:	Elaborato: RELAZIONE GEOTECNICA	
Commessa: 05-23	Rev: 0	Ns. Riferimento: P2\E\2023\05	Committente: REGIONE MARCHE
Data: MAGGIO 2023	Timbro e firma: Ordine degli Ingegneri della provincia di ANCONA Dott. Ing. Paolo CLEMENTI A 1549 Ingegneria civile e ambientale, Industriale e dell'Informazione  Ordine degli Ingegneri della provincia di ANCONA Ing. Giorgio LOVASCIO A 1606 Ingegneria Civile e Ambientale, Industriale e dell'Informazione  		

Proprietà riservata. Riproduzione anche parziale consentita solo previa autorizzazione scritta.

INDICE

1 – DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	2
2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	2
3 - INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	2
3.1 – AREA DI SEDIME.....	2
3.2 PROVE EFFETTUATE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	2
3.3 IDROGEOLOGIA.....	4
3.4 PROBLEMATICHE RISCONTRATE.....	4
4 - MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.....	4
4.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	4
4.2 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	4
5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE.....	6
6 - VERIFICHE DI SICUREZZA.....	6
6.1 CARICO LIMITE PER I PALI.....	7

1 – DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del “*volume significativo*” per l'opera in esame e valuta l'interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento delle relative fondazioni.

Questa relazione è stata redatta sulla base dei dati risultanti dalle prove di campagna e/o di laboratorio.

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

“*Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica*”.

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

“*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*”

Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

“*Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni*”.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Eurocodice 7 - “Progettazione geotecnica” - EN 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”.

3 - INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base di quanto dettagliato nella relazione geologica dell'area di sito, si è proceduto alla progettazione della campagna di indagini geognostiche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal “*volume significativo*” dell'opera in esame.

3.1 – Area di sedime

Il sito è ubicato in località Ponte Rosso, a NE dell'abitato di Cagli su di un terrazzo alluvionale posto in sinistra idrografica del Fiume Burano. La zona oggetto dell'intervento è ubicata tra le quote 243 e 238 m sul lmm e non rientra in alcuna area a rischio idrogeologico per frana o inondazione, così come individuate dal Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Marche.

3.2 Prove effettuate e Caratterizzazione geotecnica

Al fine della determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti nel “*volume significativo*” dell'opera in esame, sono state condotte delle prove geotecniche, riassunte nella relazione geologica.

Le indagini realizzate hanno permesso di ricostruire le seguenti stratigrafie per ognuna delle quali sono state definite le proprietà geotecniche dei singoli terreni coinvolti.

TERRENI

N _{TRN}	g _T [N/m ³]	K ₁			f [°]	c _u [N/mm ²]	c' [N/mm ²]	E _d [N/mm ²]	E _{cu} [N/mm ²]	A _{S-B}	ST_P
		K _{1X} [N/cm ³]	K _{1Y} [N/cm ³]	K _{1Z} [N/cm ³]							
Terreno di riporto											
T001	18 600	2	2	10	27	0,196	0,010	2	157	0,750	NO
Depositi alluvionali terrazzati											
T002	18 600	8	8	39	31	0,090	0,010	10	72	0,750	NO
Formazione miocenica alterata											
T003	19 450	20	20	98	30	0,300	0,012	18	150	0,350	NO

LEGENDA:

N_{TRN}	Numero identificativo del terreno.
g_T	Peso specifico del terreno.
K₁	Valori della costante di Winkler riferita alla piastra Standard di lato b = 30 cm nelle direzioni degli assi del riferimento globale X (K _{1X}), Y (K _{1Y}), e Z (K _{1Z}).
f	Angolo di attrito del terreno.
c_u	Coesione non drenata.
c'	Coesione efficace.
E_d	Modulo edometrico.
E_{cu}	Modulo elastico in condizione non drenate.
A_{S-B}	Parametro "A" di Skempton-Bjerrum per pressioni interstiziali.
ST_P	[S]: Il terreno è usato nella valutazione delle spinte a tergo delle pareti/muri controterra; [NO]: Il terreno NON è usato nella valutazione delle spinte a tergo delle pareti/muri controterra.

STRATIGRAFIE

N _{TRN}	Q _i [m]	Q _f [m]	Cmp. S.	Add	Stratigrafie
					DEd
[S001]-Stratigrafia Cagliari					
T001	0,00	-5,50	coerente	sciolto	nulla
T002	-5,50	-12,00	coerente	denso	nulla
T003	-12,00	INF	coerente	denso	nulla

LEGENDA:

N_{TRN}	Numero identificativo della stratigrafia.
Q_i	Quota iniziale dello strato (riferito alla quota iniziale della stratigrafia).
Q_f	Quota finale dello strato (riferito alla quota iniziale della stratigrafia). INF = infinito (profondità dello strato finale).
Cmp. S.	Comportamento dello strato.
Add	Addensamento dello strato.
DEd	Variazione con la profondità del modulo edometrico.

NB: Nel caso di fondazioni dirette con stratigrafia, il calcolo del carico limite (q_{lim}) viene fatto su un terreno "equivalente" con parametri geotecnici calcolati come media pesata degli strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità "significativa" (stabilita come "Multiplo della dimensione Significativa della fondazione").

$$\text{Parametro "J"} = \frac{\sum_i^n [\text{Parametro "J"} (\text{strato}, i) \cdot \text{Spessore} (\text{strato}, i)]}{\text{Profondità significativa}}$$

con i = 1, ..., n (numero di strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità significativa).

3.3 Idrogeologia

Tipologia di falda	Quota Piezometrica
Falda a pelo libero (o freatica)	11 m

3.4 Problematiche riscontrate

Durante l'esecuzione delle prove e dall'elaborazione dei dati non sono emerse problematiche rilevanti alla realizzazione delle opere di fondazione.

4 - MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Le indagini effettuate, permettono di classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, di categoria:

B [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.

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati nei successivi paragrafi.

4.1 Modellazione geotecnica

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidità offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state introdotte direttamente nel modello strutturale per tener conto dell'interazione opera/terreno.

4.2 Pericolosità sismica

Ai fini della pericolosità sismica sono stati analizzati i dati relativi alla sismicità dell'area di interesse e ad eventuali effetti di amplificazione stratigrafica e topografica. Si sono tenute in considerazione anche la classe dell'edificio e la vita nominale.

Per tale caratterizzazione si riportano di seguito i dati di pericolosità come da normativa:

DATI GENERALI ANALISI SISMICA

Ang [°]	NV	CD	MP	Dir		TS	EcA	I _{rT_{mp}}	C.S.T.	Dati generali analisi sismica		x [%]	
				X	Y					RP	RH		
0	15	B	ca	X	Y	[T +C]	[T +C]	S	N	B	NO	SI	5

LEGENDA:

- Ang** Direzione di una componente dell'azione sismica rispetto all'asse X (sistema di riferimento globale); la seconda componente dell'azione sismica e' assunta con direzione ruotata di 90 gradi rispetto alla prima.
- NV** Nel caso di analisi dinamica, indica il numero di modi di vibrazione considerati.
- CD** Classe di duttilità: [A] = Alta - [B] = Media - [ND] = Non Dissipativa - [-] = Nessuna.
- MP** Tipo di struttura sismo-resistente prevalente: [ca] = calcestruzzo armato - [caOld] = calcestruzzo armato esistente - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.
- Dir** Direzione del sisma.

- TS** Tipologia della struttura:
 Cemento armato: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [P] = Pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti - [2P NC] = Due pareti per direzione non accoppiate - [P NC] = Pareti non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso - [PM] = Pendolo inverso intelaiate monopiano;
 Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano - [C-P/MP] = muratura in pietra e/o mattoni pieni - [C-BAS] = muratura in blocchi artificiali con percentuale di foratura > 15%;
 Acciaio: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo inverso - [TT] = telaio con tamponature.
- EcA** Eccentricità accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.
- Ir_{Temp}** Per piani con distribuzione dei tamponamenti in pianta fortemente irregolare, l'eccentricità accidentale è stata incrementata di un fattore pari a 2: [SI] = Distribuzione tamponamenti irregolare fortemente - [NO] = Distribuzione tamponamenti regolare.
- C.S.T.** Categoria di sottosuolo: [A] = Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - [B] = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti - [C] = Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti - [D] = Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti - [E] = Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D.
- RP** Regolarità in pianta: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- RH** Regolarità in altezza: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- x** Coefficiente viscoso equivalente.
- NOTE** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

DATI GENERALI ANALISI SISMICA - FATTORI DI COMPORTAMENTO

Dir	q'	q	q ₀	K _R	Fattori di comportamento	
					a _w /a ₁	k _w
X	-	3,150	3,15	1,00	1,05	-
Y	-	3,150	3,15	1,00	1,05	-
Z	-	1,500	-	-	-	-

LEGENDA:

- q'** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU ridotto (Fattore di comportamento ridotto - relazione C7.3.1 circolare NTC)
- q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di comportamento).
- q₀** Valore di base (comprensivo di k_w).
- K_R** Fattore riduttivo funzione della regolarità in altezza: pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza, 0,8 per costruzioni non regolari in altezza, e 0,75 per costruzioni in muratura esistenti non regolari in altezza (§ C8.5.5.1).
- a_w/a₁** Rapporto di sovraresistenza.
- k_w** Fattore di riduzione di q₀.

Stato Limite	T _r	a _g /g	Amplif. Stratigrafica		F ₀	F _v	T _c	T _B	T _C	T _D
			S _s	C _c						
	[t]						[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	120	0,1040	1,200	1,395	2,455	1,069	0,305	0,142	0,426	2,016
SLD	201	0,1272	1,200	1,388	2,459	1,184	0,312	0,145	0,434	2,109
SLV	1898	0,2826	1,113	1,367	2,534	1,819	0,337	0,154	0,461	2,731
SLC	2475	0,3088	1,086	1,365	2,544	1,908	0,340	0,155	0,464	2,835

LEGENDA:

- T_r** Periodo di ritorno dell'azione sismica. [t] = anni.
- a_g/g** Coefficiente di accelerazione al suolo.
- S_s** Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO/SLD/SLV/SLC.
- C_c** Coefficienti di Amplificazione di T_c allo SLO/SLD/SLV/SLC.
- F₀** Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- F_v** Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale.
- T_c** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_B** Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto.
- T_C** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto.
- T_D** Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.

CI Ed	V _N	V _R	Lat.	Long.	Q _g	C _{Top}	S _T
	[t]	[t]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
4	100	200	43.566339	12.662971	241	T1	1,00

LEGENDA:

- CI Ed** Classe dell'edificio
V_N Vita nominale ([t] = anni).
V_R Periodo di riferimento. [t] = anni.
Lat. Latitudine geografica del sito.
Long. Longitudine geografica del sito.
Q_g Altitudine geografica del sito.
C_{Top} Categoria topografica (Vedi NOTE).
S_T Coefficiente di amplificazione topografica.
NOTE [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.
 Categoria 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 $i > 30^\circ$.

5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La tipologia delle opere di fondazione è consona alle caratteristiche meccaniche del terreno definite in base ai risultati delle indagini geognostiche.

Nel caso in esame, la struttura di fondazione è costituita da: fondazioni indirette di tipo a pali trivellati gettati in opera ($\varnothing = 0,8$ m; L = 10m).

6 - VERIFICHE DI SICUREZZA

Nelle verifiche allo stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
 R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'**Approccio 2** come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del D.M. 2018.

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [cfr. D.M. 2018]

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale g _F (o g _E)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti G ₁	Favorevole	g _{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Carichi permanenti G ₂ ⁽¹⁾	Favorevole	g _{G2}	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30
Azioni variabili Q	Favorevole	g _{Qi}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G₂ si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti g_{G1}

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella 6.2.II del D.M. 2018.

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno [cfr. D.M. 2018]

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale g _M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan j_k$	g_j	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	g_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	g_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	g_q	g_q	1,00	1,00

Per le fondazioni su pali, i valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.II del D.M. 2018.

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito elencate le metodologie ed i modelli usati per il calcolo del carico limite ed i risultati di tale calcolo.

6.1 Carico limite per i pali

Calcolo del carico limite verticale in compressione

Per il calcolo del carico limite verticale viene adottato il metodo dell'equilibrio limite in base al quale il carico limite verticale q_{lim} è dato dalla somma della resistenza laterale P_l e della resistenza alla punta P_p :

$$q_{lim} = P_p + P_l$$

Stimando il carico limite sia in condizione drenate che non drenate è fondamentale nella stratigrafia il comportamento del singolo strato (coerente/incoerente).

In particolare se uno strato è stato dichiarato incoerente il suo contributo al carico limite viene sempre valutato in condizioni drenate a prescindere dal metodo di calcolo richiesto (drenato/non drenato).

La **resistenza alla punta (P_p)** si calcola con la seguente formula:

$$P_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (c \cdot N_c + q \cdot N_q)$$

dove:

- per la determinazione dei valori di N_q vengono usati i grafici di Berezantzev $N_q = N_q(L/D; f)$ in cui L è la lunghezza del palo, D è il diametro e f è l'angolo di attrito;
- $N_c = (N_q - 1) \cdot \text{coff}$;
- c è la coesione;

q è la pressione litostatica alla punta del palo.

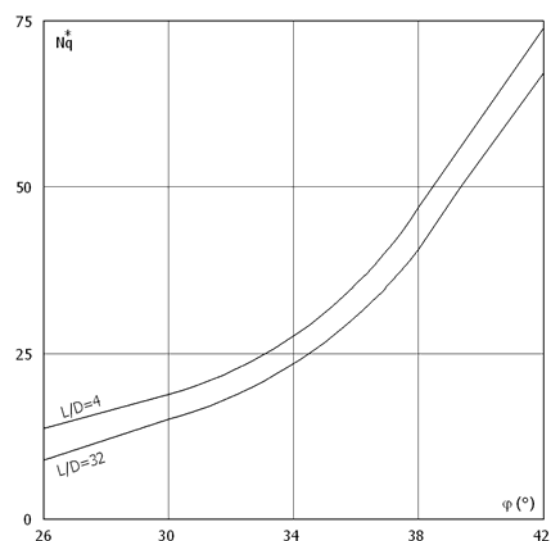
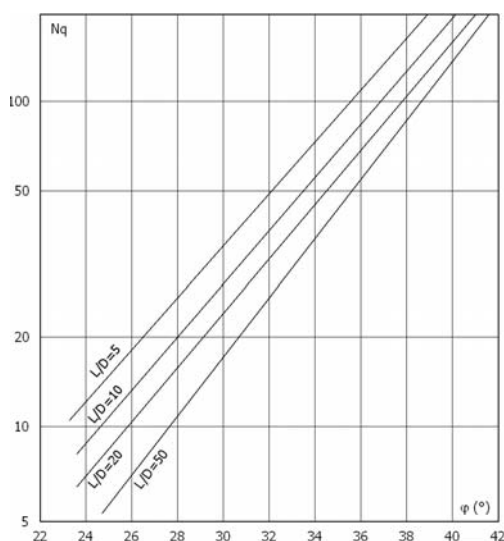
Nel calcolo della resistenza alla punta si fa distinzione tra condizioni drenate e non drenate.

In caso di condizioni:

- **drenate** si assume $c = c'$ (coesione efficace) e q calcolata per pressioni effettive.
- **non drenate** si assume $q = q_{tot}$ (pressione totale), $c = c_u$ (coesione non drenata), $f = 0$ e $N_c = 9$.

Se lo strato in cui arriva il palo è stato dichiarato coerente la stima della resistenza alla punta viene fatta in condizioni drenate o non drenate a seconda del metodo di calcolo richiesto. Viceversa, se lo strato in cui arriva il palo è stato dichiarato incoerente la stima della resistenza alla punta viene fatta sempre in condizioni drenate indipendentemente dal tipo di calcolo richiesto (drenato o non drenato).

Vengono distinti i casi di pali di medio diametro e di grande diametro (> 80 cm). Per questi ultimi, visto che la resistenza alla punta viene mobilitata dopo un cedimento che può essere anche significativo, si utilizza un valore di N_q^* ridotto rispetto a N_q .



Per il calcolo della **resistenza laterale (P)** si usa invece la formula:

$$P_l = p \cdot D \cdot L \cdot s,$$

in cui **s** è la somma di un termine di adesione **a** indipendente dalla tensione normale (orizzontale s_h) e da un termine attritivo dipendente da quest'ultima e dalla tecnologia con cui viene realizzato il palo (battuto, trivellato, ...):

$$s = a + s_h \cdot m,$$

con **m** dipendente dalla scabrezza dell'interfaccia palo/terreno.

Anche per il calcolo della resistenza laterale si distingue tra condizioni drenate e non drenate. In **condizioni drenate** si assume $a = 0$, pertanto, $s = s_h \cdot m$ [con $m = \tan(f \cdot A)$, dove A è il coefficiente riduttivo relativo all'attrito palo-terreno]. In **condizioni non drenate** si assume che l'adesione sia un'aliquota della coesione non drenata, per cui $a = a \cdot c_u$ con a dipendente dalla tecnologia esecutiva del palo stesso.

In caso di terreni stratificati la resistenza laterale è la somma delle resistenze offerte dai singoli strati, calcolate a seconda della tipologia del terreno (coerente/incoerente).

Pertanto, il calcolo del palo in condizioni non drenate, per gli strati coerenti il contributo alla portanza laterale del singolo strato viene stimato in funzione della coesione non drenata, mentre per gli strati incoerenti in funzione dell'attrito.

Invece, richiesto un calcolo del palo in condizioni drenate, sia per gli strati coerenti che per quelli incoerenti il contributo alla portanza laterale del singolo strato viene stimato in funzione dell'attrito.

Calcolo del carico limite verticale in trazione

Nel caso di pali sollecitati a trazione, la resistenza allo sfilamento (**T**) viene calcolata con le formulazioni di Das-Seeley (per terreni coesivi), oppure Das-Rozendal (per terreni incoerenti):

$$T = T_L + T_B + W$$

dove:

- T_L = resistenza allo sfilamento lungo il fusto;
- T_B = resistenza allo sfilamento dovuto allo svasamento della base;
- W = peso del palo.

Nel caso di *stratigrafie* di terreni, viene calcolato il contributo di ogni strato interessato dal palo, sia esso coesivo o incoerente. In caso di alternanza di terreni sciolti e terreni densi verrà fatta una media pesata della densità relativa di ogni strato.

Nel caso sia presente una *falda*, si procede nel seguente modo:

- *per terreni coesivi*: all'aumentare del livello della falda si ha un incremento dello sforzo normale di trazione dovuto alla sotto-spinta idrostatica (o effetto di *galleggiamento*) del palo immerso in acqua. La resistenza dovuta alla coesione invece, non risente di alcun effetto;

- *per terreni incoerenti*: all'aumentare del livello della falda, oltre ad avere un incremento dello sforzo normale di trazione dovuto alla sotto-spinta idrostatica, si ha anche una diminuzione della resistenza dovuta ad una minore pressione efficace lungo il fusto del palo, e di conseguenza una minore resistenza all'attrito.

Gli effetti delle *condizioni drenate oppure non drenate* dei terreni sono considerati nel seguente modo:

- *per terreni coesivi*: si considera il contributo della coesione non drenata in condizioni non drenate, mentre si considera il contributo dell'eventuale attrito in condizioni drenate;

- *per terreni incoerenti*: sono considerati sempre in condizioni drenate, quindi, ai fini della verifica a sfilamento, in condizioni drenate si fa riferimento solo al contributo dell'attrito, anche se il terreno ha una componente coesiva.

Infine, qualora i pali abbiano un comportamento di gruppo (es. plinti su pali), per terreni coesivi, viene applicata una riduzione della resistenza, dovuta all'effetto di gruppo dei pali, tramite un coefficiente tabellare che dipende dalla forma (es. quadrata, rettangolare, ecc..) e dal numero di pali. Maggiore sarà il numero di pali e maggiore sarà la riduzione (cfr. De Simone).

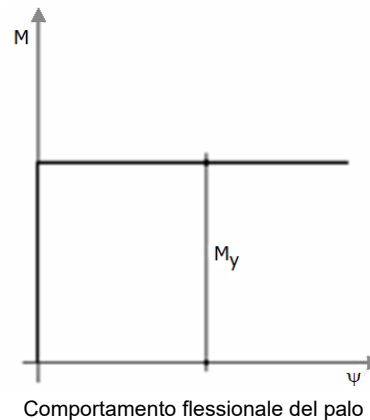
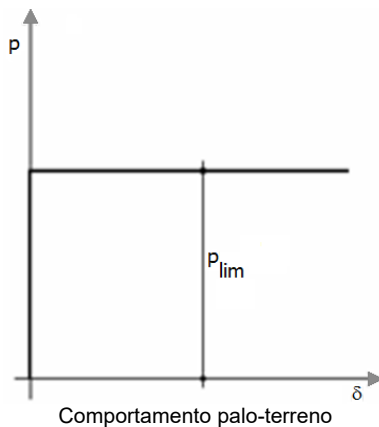
N° Pali	Forma	Coefficiente
1	Quadrato	1
2	Rettangolare	0,94
3	Triangolare	0,87
4	Triangolare	0,83
4	Quadrato	0,82
5	Quadrato	0,8
5	Pentagono	0,82
6	Rettangolare	0,77
6	Pentagono	0,78
6	Esagonale	0,8
7	Esagonale	0,75
8	Quadrato	0,75
9	Quadrato	0,72

Calcolo del Carico Limite Orizzontale per terreni monostrato

Per la valutazione del carico limite orizzontale si è fatto riferimento alla teoria di Broms e al caso di pali supposti vincolati in testa (rotazione impedita).

Le ipotesi assunte da Broms sono le seguenti:

- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico, cioè la resistenza del terreno si mobilita interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento e resta poi costante al crescere dello spostamento;
- forma del palo ininfluente rispetto al carico limite orizzontale il quale risulta influenzato solo dal diametro del palo stesso;
- in presenza di forze orizzontali la resistenza della sezione strutturale del palo può essere chiamata in causa poiché il regime di sollecitazione di flessione e taglio che consegue all'applicazione di forze orizzontali è molto più gravoso dello sforzo normale che consegue all'applicazione di carichi verticali;
- anche il comportamento flessionale del palo è assunto di tipo rigido-perfettamente plastico, cioè le rotazioni plastiche del palo sono trascurabili finché il momento flettente non attinge al valore M_{plast} ovvero Momento di plasticizzazione. A questo punto nella sezione si forma una cerniera plastica ovvero la rotazione continua indefinitamente sotto momento costante.



La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra:

- il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo;
- il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo.

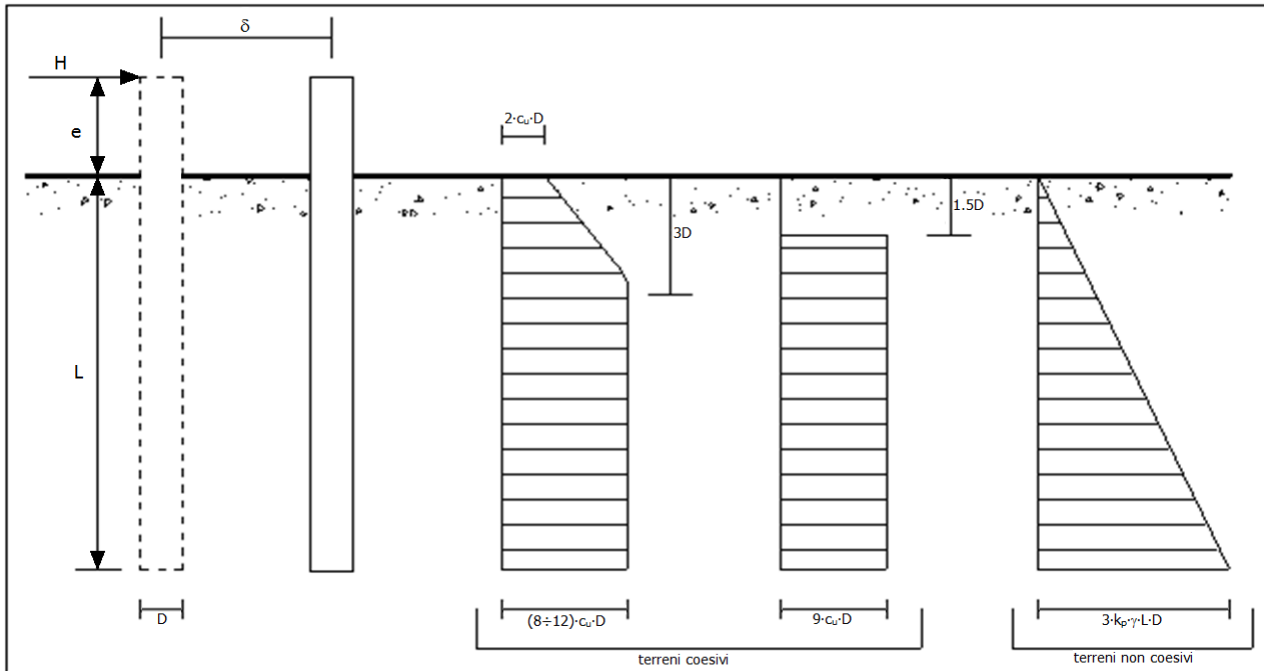
Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto).

Mentre, il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno d'infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio, con la formazione rispettivamente di due ed una cerniera plastica).

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che esso può esplicare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale e dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo.

Per quanto riguarda la resistenza del terreno, secondo la teoria di Broms, si considerano separatamente i casi di:

- terreni **coesivi** o **coerenti** (rottura non drenata);
- terreni **non coesivi** o **incoerenti** (rottura drenata).



Andamento della resistenza del terreno, secondo la teoria di Broms

Quindi, nella fase di calcolo, occorre verificare se il meccanismo di rottura del palo è per:

- **Palo corto** p (plasticizzazione terreno)
- **Palo intermedio** p (plasticizzazione palo)
- **Palo lungo**

Nel caso di **terreni non coesivi** ($c=0$), la teoria di **Broms** assume che la resistenza laterale sia variabile linearmente con la profondità dal valore $p = 0$ (in testa) fino al valore $p = 3 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot L \cdot D$ (alla base), essendo K_p il coefficiente di resistenza passiva. Nel calcolo della resistenza laterale si tiene conto dell'eventuale interrimento della testa del palo rispetto al piano campagna, il che comporta che la pressione litostatica in testa al palo sia non nulla. Inoltre, un ulteriore settaggio, presente nelle preferenze del software, consente di trascurare o meno la presenza della falda nella valutazione della pressione litostatica.

Per quanto riguarda i **terreni coesivi** la resistenza laterale parte in testa al palo con un valore di $p = 2 \cdot c_u \cdot D$, cresce linearmente fino alla profondità $3D$ per poi rimanere costante e pari a $p = (8+12) \cdot c_u \cdot D$ per tutta la lunghezza del palo. In alternativa, è possibile utilizzare un diagramma semplificato, di valore $p = 0$ fino alla profondità $1,5 \cdot D$ e con valore costante e pari a $9 \cdot c_u \cdot D$ per tutta la lunghezza del palo.

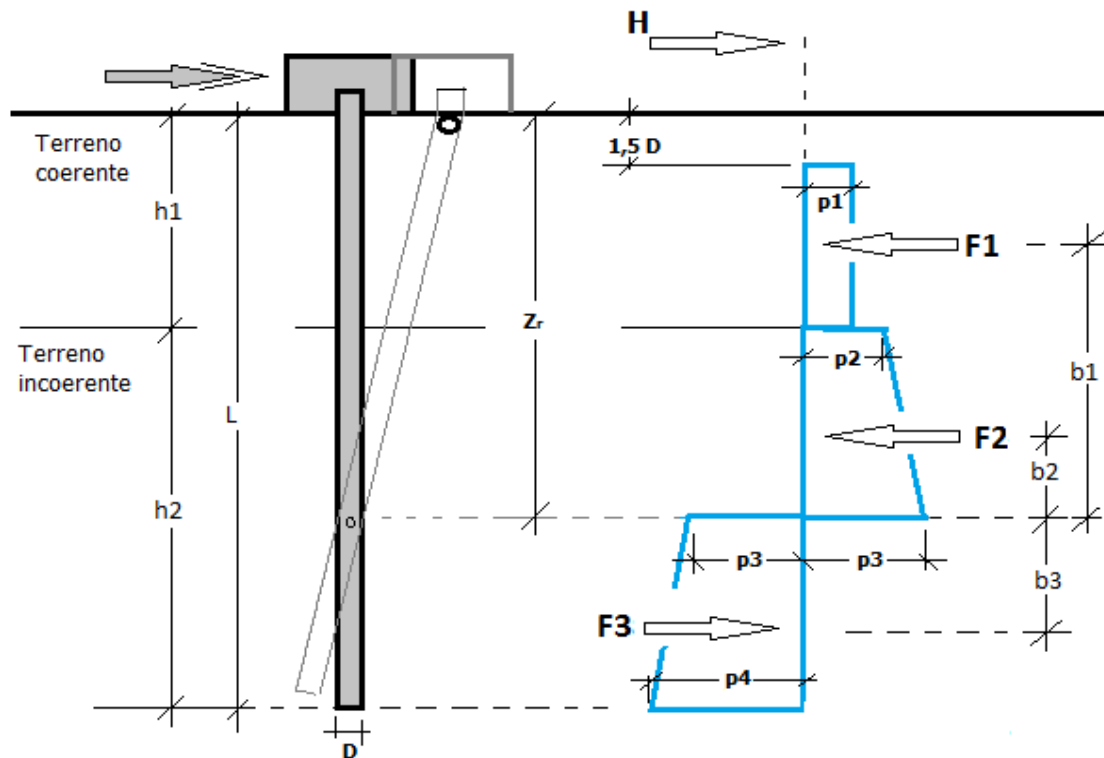
Oltre ai parametri meccanici del terreno viene considerato anche il Momento Ultimo M_p del palo che è funzione oltre che dell'armatura anche dello sforzo assiale agente. Se il comportamento è a palo lungo viene calcolata anche la profondità di formazione della seconda cerniera plastica.

Calcolo del Carico Limite Orizzontale per terreni stratificati

La teoria di **Broms** è formulata per terreni omogenei, di tipo coerente o incoerente; in caso di terreni stratificati, la teoria di Broms viene generalizzata formulando le seguenti ipotesi aggiuntive, rispetto al caso del terreno monostrato:

- **terreno coerente:** la resistenza laterale per unità di superficie p_i viene considerata costante, secondo l'ipotesi di Broms, a partire da una profondità pari ad $1,5 \cdot D$, ritenendo nulla la reazione per strati di altezza inferiore a $1,5 \cdot D$. La resistenza p_i è indipendente dalla pressione litostatica.
- **terreno incoerente:** la resistenza laterale per unità di superficie p_i varia con legge lineare lungo l'altezza, secondo l'ipotesi di Broms. La resistenza p_i è dipendente dalla pressione litostatica $\gamma \cdot z$, per cui nel calcolo di tali resistenze si tiene conto del peso degli eventuali strati sovrastanti. Un ulteriore settaggio, presente nelle preferenze del software, consente di trascurare o meno la presenza della falda nella valutazione della pressione litostatica.

Per un terreno di due strati lo schema considerato è il seguente:



Nella fase di calcolo, si verifica se il meccanismo di rottura del palo, ipotizzato vincolato in testa (rotazione alla testa impedita) sia di:

– **Palo CORTO**

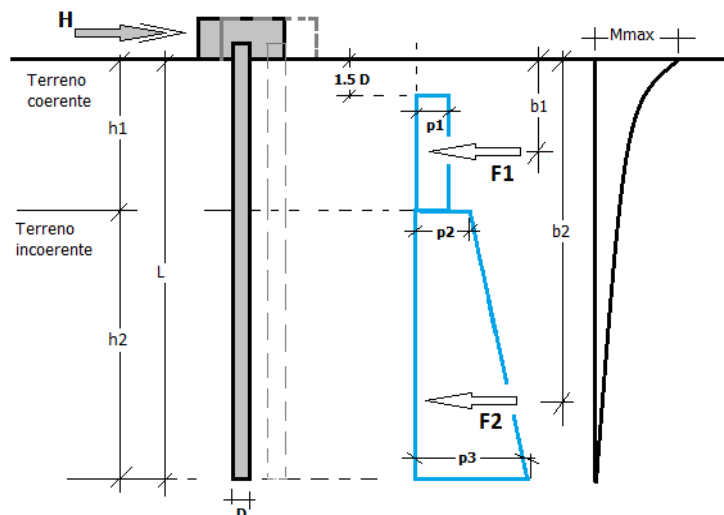
Si valuta il diagramma dei momenti, ipotizzando che il palo non subisca plasticizzazioni. Sotto l'azione della forza H il palo subisce una traslazione rigida. Nell'ipotesi di cui in figura seguente, le resistenze laterali valgono:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 9 \cdot c_u \cdot D; \\
 p_2 &= 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot g_1 \cdot h_1; \\
 p_3 &= 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot (g_1 \cdot h_1 + g_2 \cdot h_2).
 \end{aligned}$$

Da cui:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= p_1 \cdot (h_1 - 1,5 \cdot D); \\
 F_2 &= (p_1 + p_2) \cdot h_2 / 2.
 \end{aligned}$$

Indicando con M_p il momento resistente del palo, se risulta $M_{max} = F_1 \cdot b_1 + F_2 \cdot b_2 < M_p$ l'ipotesi di palo corto è soddisfatta, altrimenti occorre procedere con l'ipotesi di palo intermedio.



– **Palo INTERMEDIO**

Si valuta il diagramma dei momenti, ipotizzando che il palo subisca una plasticizzazione all'attacco con la fondazione e che al piede sia presente un vincolo alla traslazione orizzontale. Sotto l'azione della forza H il palo subisce una traslazione ed una rotazione rigida.

Nell'ipotesi di cui in figura seguente, le resistenze laterali valgono:

$$p_1 = 9 \cdot c_u \cdot D;$$

$$p_2 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot g_1 \cdot h_1;$$

$$p_3 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot (g_1 \cdot h_1 + g_2 \cdot h_2).$$

Da cui:

$$F_1 = p_1 \cdot (h_1 - 1,5 \cdot D);$$

$$F_2 = (p_1 + p_2) \cdot h_2 / 2.$$

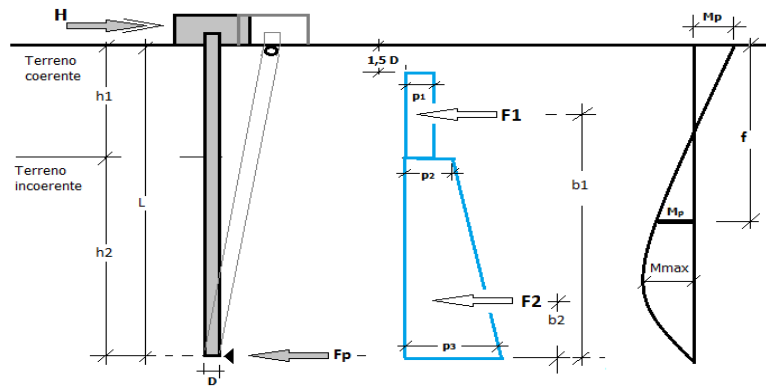
Applicando l'equilibrio alla rotazione intorno al piede del palo:

$$M_p + F_1 \cdot b_1 + F_2 \cdot b_2 - H \cdot L = 0$$

si determina il valore dell'azione H che sollecita il palo.

Una volta note tutte le forze in gioco, si determina il diagramma del momento lungo il fusto del palo.

Indicando con M_p il momento resistente del palo, se risulta $M_{max} < M_p$ l'ipotesi di palo intermedio è soddisfatta, altrimenti occorre procedere con l'ipotesi di palo lungo.



- Palo LUNGO

Si valuta il diagramma dei momenti, ipotizzando che il palo subisca una plasticizzazione all'attacco con la fondazione e lungo il fusto. Sotto l'azione della forza H il palo subisce una traslazione ed una rotazione rigida.

Nell'ipotesi di cui in figura seguente, le resistenze laterali valgono:

$$p_1 = 9 \cdot c_u \cdot D;$$

$$p_2 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot g_1 \cdot h_1;$$

$$p_3 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot (g_1 \cdot h_1 + g_2 \cdot h_2).$$

Da cui:

$$F_1 = p_1 \cdot (h_1 - 1,5 \cdot D);$$

$$F_2 = (p_1 + p_2) \cdot h_2 / 2.$$

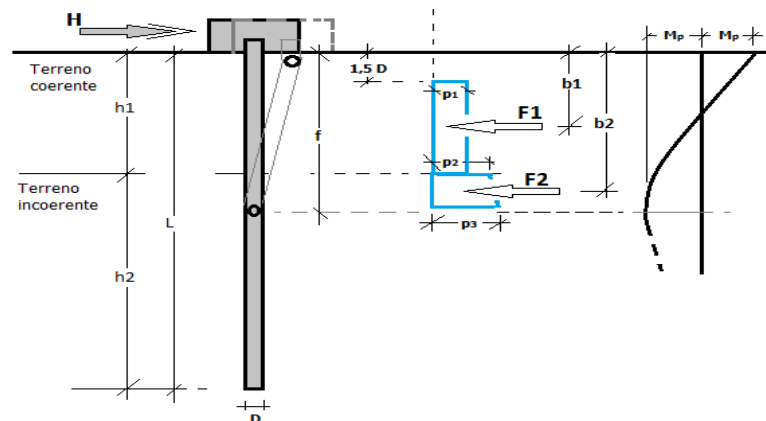
Applicando l'equilibrio alla traslazione si ha:

$$H = F_1 + F_2$$

Imponendo l'equilibrio alla rotazione intorno alla seconda cerniera plastica:

$$H \cdot f - F_1 \cdot (f - b_1) - F_2 \cdot (f - b_2) - 2M_p = 0$$

si determina la profondità f della seconda cerniera plastica.



Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa relativa alle verifiche delle fondazioni su pali eseguite per i seguenti stati limite:

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali.

Si precisa che i valori relativi alle colonne Q_{Rd} , di cui nella tabella relativa alle verifiche, sono da intendersi come il valore di progetto della resistenza R_d ossia il rapporto fra il carico limite q_{lim} (calcolato come sopra esposto) ed il valore del coefficiente parziale di sicurezza g_R , relativo all'approccio utilizzato.

Tabella 6.4.II - Coefficienti parziali g_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (cfr. D.M. 2018)

Resistenza	Simbolo	infissi	trivellati	ad elica continua
	g_R	R3	R3	R3
Base	g_b	1,15	1,35	1,30
Laterale in compressione	g_s	1,15	1,15	1,15
Totale ^(*)	g_t	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$g_{s,t}$	1,25	1,25	1,25

^(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Il coefficiente g_R da applicare alla resistenza dei pali soggetti a *carichi trasversali* è assunto pari a 1,30 (cfr. tabella 6.4.VI D.M. 2018).

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedono l'utilizzo dei parametri geotecnici, il valore caratteristico della resistenza R_k è dato dal valore ottenuto applicando alle resistenze calcolate R_{cal} i fattori di correlazione x riportati nella tabella 6.4.IV, in funzione del numero n di verticali di indagine:

$$R_k = R_{cal}/x_3.$$

Tabella 6.4.IV - Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate (cfr. D.M. 2018).

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	³ 10
x_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

Si precisa che, nella sottostante tabella, la coppia $Q_{Ed,V} - Q_{Rd,V}$ e $Q_{Ed,O} - Q_{Rd,O}$ è relativa alla combinazione di carico, fra tutte quelle esaminate, che da luogo al minimo coefficiente di sicurezza (CS).

N.B: il valore del $Q_{Ed,V}$ rappresenta l'azione agente sulla testa del palo a cui si sottrae la differenza fra il peso del palo ed quello del volume di terreno occupato dal palo.

PLINTI SU PALI - SOLLECITAZIONI E VERIFICHE ALLO SLU

		Plinti su pali - Sollecitazioni e verifiche allo SLU																	
IdPil	N _{Ed}	Dir A		Dir B		A _{s,s,A}	A _{s,s,B}	A _{s,i,A}	A _{s,i,B}	A _{sw,A}	A _{sw,B}	A _{s,pz}	CS _{pz}	CS _{v,A}	CS _{v,B}	CS _{f,A}	CS _{f,B}		
		M _{Ed,X}	V _{Ed,Y}	M _{Ed,X}	V _{Ed,Y}	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]		A	B				
001	0	0	0	-	-	0,00	-	0,00	-	NAN	-	0,00	NS	-	-	NS	-		
	Info Palo	Diam. 80		Lung. 10		Tipo. Trivellato		Tcnl. in opera		C.Attr. 0,80		C.Coes. 0,30							
	Car. Lim.	Q _{Ed,Max} .v.c	Q _{Rd,V,c}	Q _{Rd,V,P} t	Q _{Rd,V,Lt}	CS _{V,c}	Q _{Ed,Max} .v.t	Q _{Rd,V,t}	CS _{V,t}	Q _{Ed,O}	Q _{Rd,O}	M _{max,O}	T.R.	Z _{c,pls}	CS _O				
		1 260 728	1 349 580	694 517	655 063	1,07	0	403 619	-	119 678	147 338	22011 4	Palo Lungo	1,67	1,23				
	Pfr. Dev.	N _{Ed}		M _{Ed,X}		M _{Ed,Y}		CS		N _u		f _s		n _f		f _{Asw,s}			
		516 750		-101 222		337 407		1,04		6 336 571		14		11		8			
	Taglio	T _c		CS		V _{Rcd}		V _{Rsd,s}		V _{cd}		V _{Rsd,p}		A _{sw,A/B}		S _{Asw}			
		119 678		5,02		1 331 206		600 610		0		0		0,09		11		8	

LEGENDA Plinti su pali - Sollecitazioni e verifiche allo stato limite ultimo.

- IdPil** Identificativo della pilastrata cui il plinto è collegato.
- N_{Ed}** Sollecitazioni di progetto.
- M_{Ed,X}**
- V_{Ed,Y}**
- A_{s,s,A/B}** Armatura superiore esecutiva nella direzione A/B.
- A_{s,i,A/B}** Armatura inferiore esecutiva nella direzione A/B.
- A_{sw,A/B}** Area delle staffe per unità di lunghezza, nella direzione A/B.
- A_{s,pz}** Area di ferro per punzonamento.
- CS_{pz}** Coefficiente di sicurezza per punzonamento ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
- CS_{v,A/B}** Coefficienti di sicurezza relativi all'armatura a taglio, nella direzione A/B ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100).
- CS_{f,A/B}** Coefficiente di sicurezza relativo all'armatura a flessione nella direzione A/B ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100).

Verifiche palo a carico limite verticale ed orizzontale.

- Q_{Ed,Max}** Carico verticale di progetto massimo a compressione.
- V_c**
- Q_{Rd,V,c}** Resistenza di progetto verticale a compressione.
- Q_{Rd,V,Pt}** Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza alla punta.
- Q_{Rd,V,Lt}** Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza laterale.
- CS_{V,c}** Coefficiente di sicurezza per azioni verticali a compressione. ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
- Q_{Ed,Max}** Carico verticale di progetto massimo a trazione.
- V_t**
- Q_{Rd,V,t}** Resistenza di progetto verticale a trazione.
- CS_{V,t}** Coefficiente di sicurezza per azioni verticali a trazione. ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
- Q_{Ed,O}** Carico orizzontale di progetto.
- Q_{Rd,O}** Resistenza di progetto orizzontale.
- M_{max,O}** Momento massimo lungo il palo per carichi orizzontali.
- T.R.** Modalità di rottura per carico limite orizzontale (Palo Corto, Palo Medio, Palo Lungo).
- Z_{c,pls}** Profondità della seconda cerniera plastica.
- CS_O** Coefficiente di sicurezza per azioni orizzontali ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).

Verifiche palo a pressoflessione deviata allo SLU.

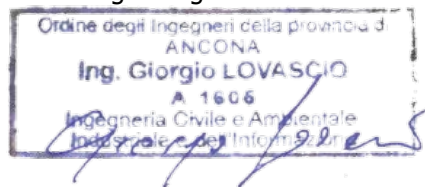
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se $CS \geq 100$; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
N_u	Sforzo Normale Ultimo per compressione semplice.
f_s	Diametro delle barre di acciaio.
n_f	Numero delle barre di acciaio.
f_{Asw,s}	Diametro delle staffe.
N_{Ed,r}	Sollecitazioni di progetto.
M_{Ed,X,r}	
M_{Ed,Y}	

Verifiche palo a taglio.

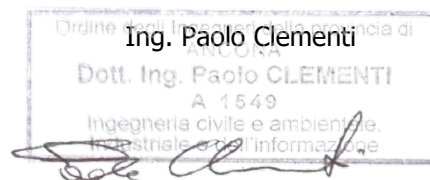
T_c	Valori della massima sollecitazione di taglio composta in funzione di T _x , T _y e dell'asse neutro.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se $CS \geq 100$; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
V_{Rcd}	Taglio ultimo per conglomerato compresso.
V_{Rsd,s}	Resistenza a taglio trazione delle staffe.
V_{cd}	Contributo del calcestruzzo al taglio ultimo.
V_{Rsd,p}	Resistenza a taglio trazione dei ferri piegati.
A_{sw,A/B}	Area delle staffe per unità di lunghezza, nella direzione A/B.
S_{Asw}	Passo delle staffe alle estremità.
f_{Asw,s}	Diametro delle staffe.

Ancona, maggio 2023

Ing. Giorgio Lovascio



Ing. Paolo Clementi



Geol. Maurizio Mainiero

