



# REGIONE BASILICATA COMUNE DI MATERA



## PARCO della MURCIA MATERANA

Ente di Gestione del Parco Storico Naturale  
delle Chiese Rupestri del Materano



## PROGETTO DI RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO DELL'EX CASELLO DI "PARCO DEI MONACI"

### -PROGETTO ESECUTIVO-

allegato

elaborato

# SE

## RELAZIONE GEOLOGICA

scala

codice progetto

cup

data

OTTOBRE 2019

IL PROGETTISTA

IL R.U.P.

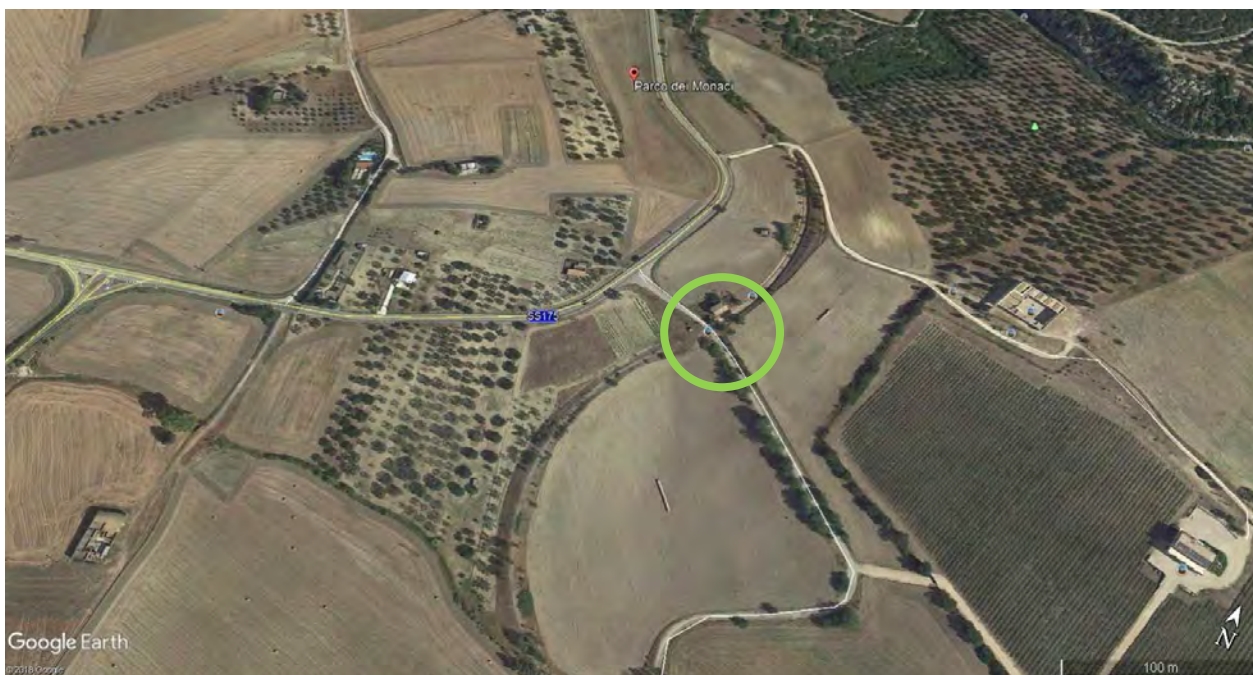
Arch. G. Caricati

IL CONSULENTE DELLE STRUTTURE:

Ing. E. Lunalbi

P.A. M. Virgintino





## COMUNE DI MATERA

### RELAZIONE GEOLOGICA

Progetto di ristrutturazione dell' ex Casello di "Parco dei Monaci" in agro di Matera

**Committente:**  
**Ente di Gestione del Parco Archeologico Storico Naturale delle Chiese Rupestri del Materano**

Data: Maggio 2019

**Dr. Geol. Angelo CAPODILUPO**  
**Via Dei Mestieri n° 16 - Zona PAIP 1**  
**75100 Matera**  
**Tel/Fax. 0835.38.76.41**



## **PREMESSA**

Il presente lavoro, commissionato dall' Ente Parco delle Chiese Rupestri del Materano, riguarda lo studio geologico, geotecnico e geofisico relativo ai terreni interessati dal Progetto di ristrutturazione dell' Ex Casello di "Parco dei Monaci", ubicato lungo la Strada Statale n° 175 "Matera – Montescaglioso" in agro di Matera, ai sensi della nuova normativa sulle costruzioni denominata "NTC 2018" ed entrata in vigore dal 22 Marzo 2018 (Rif. D.M. 17.01.2018).



Foto n° 1 – Ortofoto con ubicazione dell'area di indagine

Lo studio, pertanto, si avvale dei dati di indagine ottenuti da una campagna di indagini geognostiche effettuata tramite indagini dirette e indirette, per la definizione delle condizioni geologiche e geotecniche del sito, nonché, per verificare le condizioni di stabilità e pericolosità sismica dell'area interessata dal progetto.

A tale scopo, il piano di indagine si è realizzato tramite le seguenti fasi:

- rilievo geologico-geomorfologico di superficie alla scala 1:1000, integrato da ricerche bibliografiche e studi precedentemente condotti dallo scrivente nell'agro di Matera e Montescaglioso (MT);
- esecuzione di n° 3 prove penetrometriche dinamiche continue del tipo DP mediante penetrometro leggero DL-30 Marca Tecnotest, fino ad una profondità variabile da 6.20 a 6.50 m dal piano di campagna, per la conoscenza dello stato di consistenza dei terreni e la parametrizzazione geotecnica delle unità litologiche attraversate dalle aste di perforazione;
- esecuzione di n° 1 rilievo sismico in onda S del tipo MASW per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , con conseguente attribuzione della categoria del suolo di fondazione ai sensi del D.M. 17.01.2018, in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$ .

Tale studio ha consentito comunque di chiarire gli aspetti geologico-tecnici utili ai fini progettuali, indicando:

- la natura dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area indagata;
- i parametri geotecnici dei terreni di fondazione del fabbricato da ristrutturare;
- la pericolosità sismica del sito e la categoria di suolo sismico;
- le caratteristiche idrogeologiche dei terreni indagati;

Gli elaborati grafici prodotti e riportati in allegato, riguardano la seguente documentazione:

- Planimetria con ubicazione delle indagini geologiche e geofisiche;
- Carta geologica generale dell'area oggetto di studio in scala 1 : 100.000;
- Report delle prove penetrometriche;

- Documentazione Fotografica.

La presente relazione, infine, è stata redatta in ottemperanza con quanto previsto da:

- *D.M. 11.3.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione....."*;
- *Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*;
- *Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008; Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP, istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*
- *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018 entrate in vigore il 22 Marzo 2018;*
- *Prescrizioni del vigente piano dell'autorità di bacino della Basilicata AdB agg. 2016.*

## **1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE**

### **1.1 Ubicazione e Morfologia**

L'area oggetto di indagine è situata in agro di Matera (MT), in località "Parco dei Monaci", a SE dell'abitato di Matera lungo la SS 175 Matera – Montescaglioso, ad una quota sul livello del mare di circa 148 m.

Essa si trova lungo un versante che degrada con debole pendenza da Nord verso Sud, limitato a Est dall'incisione del Torrente Gravina posto ad una distanza di circa 400 m.

Le coordinate geografiche del sito in parola sono le seguenti:

Latitudine: 40°36'20.72" N

Longitudine: 16°38'51.93" E

L'area appartiene al Foglio Geologico n° 201 "Matera" in scala 1:100.000 e ricade all'interno del Parco Archeologico Storico Naturale delle Chiese Rupestri del Materano ai sensi della L.R. n° 11 del 3/04/1990.

Inoltre, l'area ricade in area protetta istituita secondo quanto previsto dalla Legge n° 394/'91 e appartiene ai siti afferenti alla "Rete Natura 2000", di cui alle direttive 92/43/CE (S.I.C. - Sito di Importanza Comunitaria) e 79/409/CE (Z.P.S. Zona a Protezione Speciale).

I terreni su cui poggia l'ex casello ferroviario da ristrutturare, appartengono alla formazione geologica dei Depositi Alluvionali Terrazzati che qui sono presenti fino ad una profondità massima di circa 4.00 m mentre, al di sotto, si rinvencono terreni limo-argillosi appartenenti alla formazione geologica delle Argille Subappennine.

Dal punto di vista geomorfologico l'area appartiene all'unità dell'Avanfossa Bradanica: si tratta di una serie di rilievi collinari costituiti da argille-sabbiose disposti

in circolo a Sud-Ovest del Torrente Gravina a delimitare un territorio ondulato coperto in prevalenza da seminativi semplici o arborati.

## **1.2 Geologia e litologia**

Sulla base delle informazioni ricavate dal rilevamento geologico, dalla interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche e dalle misure geofisiche indirette, è stato possibile individuare in normale sovrapposizione stratigrafica, dall'alto verso il basso le seguenti unità litologiche :

- *DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI*

- *ARGILLE SUBAPPENNINE*

### ***DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI***

Tali litotipi affiorano, a luoghi, nell'area oggetto di studio e rappresentano i depositi dei bacini terrazzati del Fiume Bradano. Sono costituiti da ciottoli e ghiaie di natura calcarea e calcarenitica e limi di natura argilloso-sabbiosa.

Le dimensioni dei ciottoli e lo spessore di questi depositi risulta alquanto variabile, da pochi metri, come nel nostro caso, fino a massimo una decina di metri. L'età è riferita all'olocene.

### ***ARGILLE SUBAPPENNINE***

Questa formazione è costituita da argille marnose e siltose grigio- azzurre, con lenti argilloso-sabbiose e a luoghi sabbioso-argillose, al passaggio con le formazioni sovrastanti.

Affiorano direttamente ed estesamente, soprattutto lungo il *Torrente Gravina*, in continuità stratigrafica con il tetto delle *Calcareniti di Gravina*, con un piano di contatto generalmente orizzontale e/o leggermente inclinato. Inoltre, nell'area in oggetto costituiscono il substrato su cui si sono successivamente sedimentati i *depositi marini terrazzati*.

A luoghi sono state rinvenute direttamente sui *Calcari di Altamura*. Lo spessore di questa formazione nell'area studiata non è definibile.

Dal punto di vista del contenuto fossilifero, le macroforme risultano essere quelle delle sottostanti *Calcareniti di Gravina* (*Pecten opercularis* e *dentalium*), la parte bassa inoltre risulta essere la più ricca di fossili a differenza di quella alta. Molto abbondante risulta essere invece la microfauna, costituita soprattutto da Foraminiferi, Radina B. (1967).

L'ambiente di formazione è costituito da fondali marini più o meno profondi. L'età attribuita alle *Argille subappennine* è calabriana.



### 1.3 Stratigrafia

L'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche, effettuate intorno al fabbricato da ristrutturare, ha consentito di ricostruire la successione stratigrafica dei terreni presenti in loco.

In dettaglio ogni prova ha intercettato i seguenti terreni:

Prova penetrometrica PP1

<b>Profondità m</b>	<b>Descrizione litologica</b>	<b>Formazione geologica</b>
<b>0.00 - 1.70</b>	<b>Sabbia limosa debolmente ghiaiosa di colore marrone rossastro a consistenza sciolta</b>	<b>Depositi alluvionali</b>
<b>1.70 - 4.90</b>	<b>Limo argilloso di colore nocciola – verdastro, a media consistenza</b>	<b>Limi argillosi di natura alluvionale</b>
<b>4.90 - 6.30</b>	<b>Argilla di colore grigio-azzurro ad elevata consistenza e medio-alta plasticità</b>	<b>Argille</b>

Prova penetrometrica PP2

<b>Profondità m</b>	<b>Descrizione litologica</b>	<b>Formazione geologica</b>
<b>0.00 - 1.90</b>	<b>Sabbia limosa debolmente ghiaiosa di colore marrone rossastro a consistenza sciolta</b>	<b>Depositi alluvionali</b>
<b>1.90 - 5.30</b>	<b>Limo argilloso di colore nocciola – verdastro, a media consistenza</b>	<b>Limi argillosi di natura alluvionale</b>
<b>5.30 - 6.20</b>	<b>Argilla di colore grigio-azzurro ad elevata consistenza e medio-alta plasticità</b>	<b>Argille</b>

Prova penetrometrica PP3

<b>Profondità m</b>	<b>Descrizione litologica</b>	<b>Formazione geologica</b>
<b>0.00 - 1.70</b>	<b>Sabbia limo debolmente ghiaiosa di colore marrone rossastro a consistenza sciolta</b>	<b>Depositi alluvionali</b>
<b>1.70 - 5.40</b>	<b>Limo argilloso di colore nocciola – verdastro, a media consistenza</b>	<b>Limi argillosi di natura alluvionale</b>
<b>5.40 - 6.50</b>	<b>Argilla di colore grigio-azzurro ad elevata consistenza e medio-alta plasticità</b>	<b>Argille</b>



Foto n° 2 – Postazione prova penetrometrica PP.1



Foto n° 3 – Postazione prova penetrometrica PP.2



Foto n° 4 – Postazione prova penetrometrica PP.3

## **1.4 Tettonica**

In generale l'area in esame, si trova al margine sud-occidentale dell'Avampaese Apulo, un'importante struttura tettonica corrispondente per lo più alla piattaforma carbonatica murgiana della regione pugliese, nella sua zona di transizione verso la Fossa Bradanica (ampia depressione allungata da Nord-Ovest a Sud-Est, originatasi nel plio-quadernario, fra la catena appenninica e l'avampaese murgiano).

L'Avampaese Apulo corrisponde a gran parte dell'area regionale pugliese e si identifica nelle regioni del Gargano, delle Murge e del Salento. Queste aree sono caratterizzate prevalentemente da affioramenti di rocce calcaree mesozoiche, la cui origine viene riferita allo sviluppo di una cosiddetta "piattaforma carbonatica", la Piattaforma Apula.

Quest'ultima era un vasto altofondo oceanico (un altopiano sommerso ampio migliaia di km<sup>2</sup>) di bassissima profondità, caratterizzato esclusivamente da sedimentazione carbonatica intra-bacinal, cioè da un tipo di accumulo sedimentario non derivante da apporti esterni ma ricco di particelle costituite da carbonato di calcio che si deponevano sul fondo o per precipitazione diretta dalla colonna d'acqua o, in maniera preponderante, attraverso l'accumulo di resti di organismi marini (microscopici e macroscopici) a guscio o costituzione calcarei.

La graduale trasformazione in roccia calcarea di questi sedimenti carbonatici (prevalentemente fangosi) ha portato alla crescita di una imponente successione sedimentaria il cui spessore è valutato in alcuni chilometri.

Al termine del Mesozoico (circa 65 milioni di anni fa) la Piattaforma Apula emerge definitivamente e diventa un'ampia area continentale.



I processi prevalenti sono stati di tipo carsico, con parziale dissoluzione delle aree esposte.

Durante la fase di emersione la Piattaforma Apula subisce vistosi effetti di tettonica distensiva e viene dislocata in blocchi che subiscono abbassamenti e sollevamenti relativi.

Le aree più sollevate corrispondono al Gargano, alle Murge ed al Salento, mentre le aree ribassate formano ampie aree depresse o "graben", come quelle presenti fra il Gargano e le Murge (graben dell'Ofanto) o fra le Murge e il Salento (Soglia Messapica), oppure imponenti sistemi a gradinata che immergono verso oriente nel Mar Adriatico e verso occidente al disotto della catena appenninica.

Quest'ultimo sistema costituisce il substrato della Fossa Bradanica.

Durante il Pliocene la migrazione del sistema subappenninico ha portato le aree occidentali dell'Avampaese Apulo (quella che poi sarebbe diventata la gradinata immergente verso l'Appennino) a subire una progressiva subsidenza ed a formare un ampio bacino marino (Fossa Bradanica) limitato ad occidente dalla catena Campano-Lucana e a oriente dagli alti del Gargano e delle Murge.

Lungo il bordo della catena, gli apporti provenienti dallo smantellamento della catena costituivano sistemi a sedimentazione sabbioso-ghiaiosa, mentre a distanza prevaleva una sedimentazione di tipo argilloso.

Dall'altra parte del bacino le aree subsidenti dell'Avampaese Apulo, formavano un vasto arcipelago in via di annegamento, costituito da isole rocciose calcaree di diversa ampiezza. Tale arcipelago era la conseguenza diretta della tettonica distensiva che aveva dislocato in blocchi l'antica Piattaforma Apula.



I blocchi più sollevati corrispondevano alle isole (horst di Matera), mentre quelli ribassati corrispondevano a bracci di mare di profondità non elevata (Graben di Viglione).

Geologicamente la Murgia di Matera è costituita da calcari cretacici, che, nella fase di passaggio tra Cretaceo e Terziario, emergono dislocandosi in una serie di blocchi del tipo "horst" ('pilastro') dei quali la Murgia di Matera-Castellaneta è un esempio.

Fra Pliocene e Pleistocene la Murgia in oggetto inizia a sommergersi nuovamente: la linea di costa si attesta dapprima lungo la scarpata sommitale, per poi sommergere sia pure per un breve periodo, l'intero rilievo.

In questo mare *plio-pleistocenico* si sedimentano le formazioni che oggi affiorano nell'Avanfossa Bradanica, secondo la seguente stratigrafia:

- Calcareni di Gravina (deposito litorale e di piattaforma lungo i bordi dell'altopiano calcareo);
- Argille subappennine (colline dell'Avanfossa Bradanica);
- Sabbie di Monte Marano (depositi sommitali a Timmari, ecc..)
- Conglomerati di Irsina (depositi sommitali a Timmari, ecc..)

Questi ultimi due sedimenti segnano il graduale ritiro del mare e quindi la riemersione della regione.

Resti fossili inglobati nei sedimenti testimoniano delle tipiche forme di ambiente continentale carsico che si erano prodotte prima dell'immersione.

L'evoluzione della catena subappenninica ha avuto termine circa 1 milione di anni fa, quando sia l'Avanfossa Bradanica che l'Avampaese Apulo hanno cominciato a sollevarsi.

Per questo motivo l'avanfossa corrisponde oggi ad un'area emersa collinare prevalentemente argillosa e non ad un bacino marino subsidente così come nei suoi prolungamenti a Nord (Mare Adriatico) e a Sud (Golfo di Taranto).

Il sollevamento dapprima ha favorito il riempimento della Fossa Bradanica avvenuto da parte di sedimenti argillosi e poi sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero e/o alluvionale.

Successivamente lo stesso sollevamento ha esposto precocemente sia la Fossa Bradanica che le Murge, elevandole fino a quote localmente superiori a 600 metri.

Via via che il mare regredisce si formano terrazzi marini (e/o si rimodellano quelli tettonici preesistenti) con le relative scarpate, mentre sul blocco calcareo murgiano si comincia a stabilire un reticolo idrografico.

Detto reticolo si approfondisce man mano per il sollevamento della piattaforme regionale e per erosione delle calcareniti prima e dei calcari poi, favorita, in quest'ultima fase, della presenza di cavità ipogee di origine carsica, relitti di circolazione idrica sotterranea.

A questa fase di erosione sono dovuti gli elementi più 'spettacolari' della morfologia murgiana e che connotano fortemente il suo paesaggio:

- le "forre" della Gravina, ampiamente presenti in tutto l'arco murgiano materano-tarantino;
- i rilievi isolati (fianchi di meandri catturati).

Un ultimo modellamento geo-morfologico avviene con le glaciazioni del Pleistocene sup. (Wurm), con l'addolcimento di scarpate e la formazione di depositi detritici stratificati.

### **1.5 Idrogeologia e aspetti climatici**

Lo studio idrogeologico dell' area in esame, evidenzia che la suddivisione delle acque di precipitazione è direttamente influenzata dalla permeabilità dei terreni affioranti, dalla intensità delle precipitazioni locali, e dalla morfologia e acclività dei versanti.

Un esame idrografico ad ampio raggio, mostra un reticolo superficiale abbastanza sviluppato, ed una buona permeabilità di insieme dei complessi sabbiosi affioranti nell'area di interesse.

L'accumulo di acque meteoriche nei livelli superficiali nello stretto intorno dell'area di interesse, come evidenziato dalle manifestazioni sorgentizie presenti in loco, è legata alla presenza di terreni superficiali piuttosto areati e permeabili per porosità.

Tali terreni costituiscono una discreta roccia serbatoio per accumuli più o meno copiosi di acque di precipitazione, formando falde che in genere hanno come limite inferiore (definito e fisso) il tetto dell'unità argillosa impermeabile delle Argille subappennine.

Tali falde o livelli d'acqua scorrono a pelo libero nei livelli superficiali delle unità permeabili sommitali, con portate piuttosto variabili e direttamente legate all'entità degli apporti pluviometrici nell'area di alimentazione.

Nell'area esterna al Casello, in prossimità della prova penetrometrica PP3, si trova un pozzo di raccolta delle acque superficiali che interessa i depositi sabbioso-ghiaiosi presenti a partire dal piano di campagna, con livello di falda misurato a circa 2.00 m dall'attuale piano campagna; del resto la presenza di un orizzonte stratigrafico di natura limo-argillosa, sottostante le sabbie e ghiaie, costituisce una base impermeabile che non favorisce la percolazione verticale della acque di falda; mentre è possibile una circolazione areale delle stesse acque con fuoriuscita in prossimità di una sorgente, laddove, la superficie topografica interseca il livello di falda.

Per quanto concerne il rischio idrogeologico dell'area oggetto di studio dall'osservazione della cartografia relativa al Piano di Stralcio per la Difesa del rischio Idrogeologico dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata essa non appartiene a nessuna area pericolosa e/o a rischio idrogeologico.

Infine, il clima della zona è tipico dell'area mediterranea, caratterizzato da inverni temperati ed estati calde, con i venti che hanno direzione fondamentalmente meridionale.

Anche il regime pluviometrico è tipico delle zone mediterranee, con precipitazioni che sono concentrate in inverno e precisamente nel periodo che va da Ottobre ad Aprile, con diminuzioni considerevoli in estate.

Consultando gli annali Servizio Idrografico e Mareografico, di quest'area situata fra le regioni Basilicata e Puglia, si hanno delle precipitazioni meteoriche

medie annue di circa 560 mm, con un numero medio di 64 giorni piovosi in un anno.

Per quanto attiene le temperature medie della zona si hanno valori medi di circa 20,5 ° per le massime e di circa 10 ° per le minime.

## **2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

### **2.1 Prove Penetrometriche Dinamiche Continue**

Lo strumento utilizzato per eseguire la presente indagine è un penetrometro dinamico leggero Marca Tecnotest DL-30 (60°), costituito da un sistema d'infissione e da un gruppo motore; la prova consiste nell'infiggere nel terreno una batteria d'aste dotate di punta conica mediante un maglio battente del peso di 30 Kg.

In particolare le caratteristiche tecniche dello strumento sono le seguenti

- Maglio a caduta libera Kg 30;
- Aste in acciaio speciale  $\phi=20$  mm; L=100 cm;
- Punta conica a perdere avente superficie pari a 10 cm<sup>2</sup>;
- Altezza di caduta libera maglio 20 cm.

I dati ottenuti si riferiscono a tutta la sezione di terreno indagata e hanno consentito di caratterizzare geotecnicamente i materiali attraversati; il rapporto tra l'abbassamento della batteria d'aste sotto un certo numero di colpi ed il numero di colpi stesso definisce il rifiuto (R).

Mantenendo costanti tutti i parametri descritti, si ottiene un sistema di infissione standardizzato che permette di confrontare i dati ottenuti con i sondaggi di taratura.



La profondità massima raggiunta nella presente campagna di indagine è stata di 6.30 m; come si può vedere dalle tabelle e dai grafici allegati in appendice, i dati ottenuti risultano sotto l'aspetto meccanico molto simili all'interno della stessa litologia.

Sulla base delle risultanze delle prove eseguite è possibile ricavare indicazioni circa lo stato di consistenza dei terreni, attraverso la tabella comparativa di Terzaghi allegata:

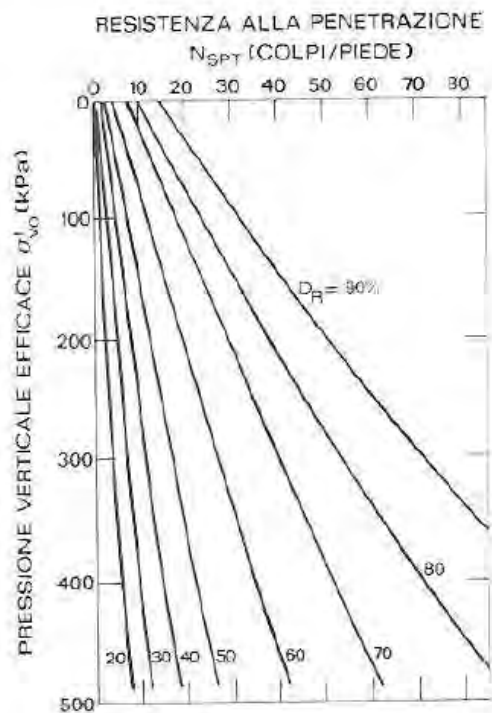
Prova Penetrometrica	Profondità m	NSPT	Densità relativa %	Angolo di attrito interno $\phi^\circ$	Stato e definizione del terreno (consistenza)
PP1	0.00 - 1.70	12.67	42.62	31.55	MODERATAMENTE ADDENSATO
	1.70 - 4.90	20.38	43.89	-	MOLTO CONSISTENTE
	4.90 - 6.30	30.82	46.49	-	ESTREMAMENTE CONSISTENTE

Prova Penetrometrica	Profondità m	NSPT	Densità relativa %	Angolo di attrito interno $\phi^\circ$	Stato e definizione del terreno (consistenza)
PP2	0.00 - 1.90	8.36	33.38	30.34	MODERATAMENTE ADDENSATO
	1.90 - 5.30	22.11	45.03	-	MOLTO CONSISTENTE
	5.30-6.20	29.84	45.54	-	ESTREMAMENTE CONSISTENTE

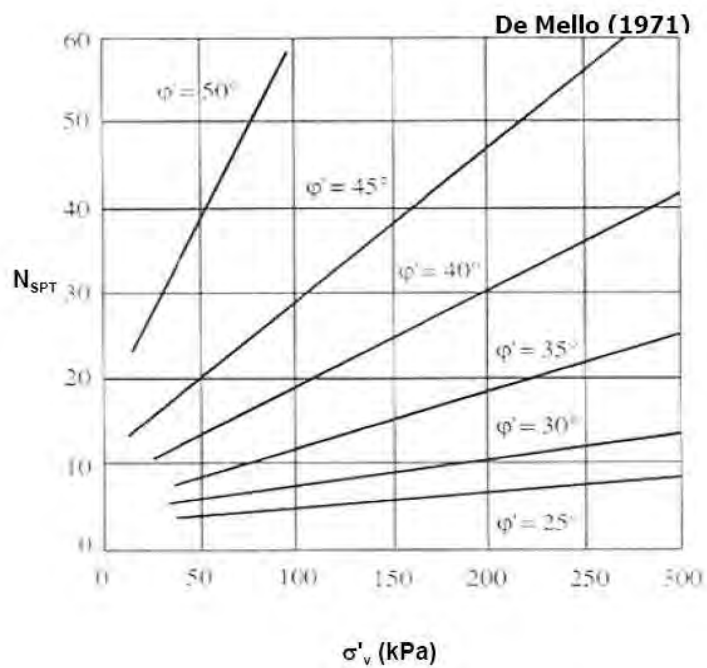
Prova Penetrometrica	Profondità m	NSPT	Densità relativa %	Angolo di attrito interno $\phi^\circ$	Stato e definizione del terreno (consistenza)
PP3	0.00 - 1.70	10.45	38.41	30.93	MODERATAMENTE ADDENSATO
	1.70 - 5.40	19.04	41.66	-	MOLTO CONSISTENTE
	5.40 - 6.50	25.98	41.91	-	ESTREMAMENTE CONSISTENTE

Esempi di correlazioni tra  $N_{SPT}$  e proprietà dei terreni attraversati

$N_{SPT}$	DENSITÀ RELATIVA	
	Terzaghi-Peck (1948)	Gibbs-Holtz (1957)
0-4	molto sciolta	0-15%
4-10	sciolta	15-35%
10-30	media	35-65%
30-50	densa	65-85%
> 50	molto densa	85-100%



Esempi di correlazioni tra  $N_{SPT}$  e proprietà dei terreni attraversati



### 2.3 Parametri geotecnici caratteristici

Attraverso l'elaborazione e l'interpretazione dei dati ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche eseguite in loco è stato possibile estrapolare informazioni utili sulle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati. I parametri geotecnici caratteristici ricavati nei vari strati per ciascuna prova, risultano quelli riportati di seguito:

Prova Penetrometrica PP1

Strato N°	Profondità	Nspt	Natura granulare					Natura coesiva			
			DR	$\phi$	$E'$	$\gamma_{sat}$	$\gamma$	Cu	$\gamma_{sat}$	$K_0$	Ed
1	0.00-1.70	12.67	42.62	31.55	138.35	1.93	1.81	-	2.10	2.66	53.49
2	1.70-4.90	20.38	43.89		176.90	2.40	2.00	1.38	2.40	4.12	93.50
3	4.90-6.30	30.82	46.49		229.10	2.50	2.14	2.08	2.50	5.72	141.40

Prova Penetrometrica PP2

Strato N°	Profondità	Nspt	Natura granulare					Natura coesiva			
			DR	$\phi$	$E'$	$\gamma_{sat}$	$\gamma$	Cu	$\gamma_{sat}$	$K_0$	Ed
1	0.00-1.90	8.36	33.38	31.55	-	1.91	1.67	-	1.91	1.75	44.64
2	1.90-5.30	22.11	45.03		185.55	2.44	2.03	1.49	2.44	4.41	101.44
3	5.30-6.20	29.84	45.54		224.2	2.50	2.13	2.01	2.50	5.59	130.91

Prova Penetrometrica PP3

Strato N°	Profondità	Nspt	Natura granulare					Natura coesiva			
			DR	$\phi$	$E'$	$\gamma_{sat}$	$\gamma$	Cu	$\gamma_{sat}$	$K_0$	Ed
1	0.00-1.70	10.45	38.41	30.93	127.25	1.92	1.75	-	1.92	2.20	48.93
2	1.70-5.40	19.04	41.66		170.20	1.97	1.97	1.29	1.97	3.88	87.36
3	5.40-6.50	25.98	41.91		204.90	2.50	2.09	1.75	2.50	5.03	119.20

dove:

Nspt=Numero di colpi spt

DR=Densità relativa secondo Meyerhof (1957);

$\Phi$ =Angolo di attrito interno secondo Meyerhof (1956);

E'=Modulo di Young ( $\text{kg/cm}^2$ ) secondo Schmertmann (1978);

$\gamma_{\text{sat}}$ =Peso di volume saturo ( $\text{t/m}^3$ );

$\gamma$ =Peso unità di volume ( $\text{t/m}^3$ );

$C_u$ =coesione non drenata ( $\text{kg/cm}^2$ ) secondo Terzaghi-Peck (1948);

$K_0$ =Modulo di reazione orizzontale ( $\text{kg/cm}^3$ );

$E_d$ =Modulo edometrico ( $\text{kg/cm}^2$ ) secondo Stroud e Butler (1975).

### **3. PROSPEZIONE SISMICA PER LA DETERMINAZIONE DELLA $V_{s,eq}$ MEDIANTE METODOLOGIA MASW**

La Normativa sismica nazionale (OPCM 3274 del 2003 e successive modifiche ed integrazioni, il DM 14/09/2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n. 29 del 04/02/2008 ed, infine, le nuove Norme Tecniche “NTC 2018” entrate in vigore il 22 Marzo 2018 a seguito del D.M. 17.01.2018), impone che ai fini della definizione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018. In alternativa, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . Nel caso in esame i valori di  $V_s$  sono stati ottenuti attraverso una prospezione sismica del tipo masw eseguita in loco; quindi, la classificazione del sottosuolo è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (m/s), attraverso l’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.

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di ottenere un modello verticale delle VS, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale.

In particolare osservando le caratteristiche dispersive del sito e applicando opportune tecniche di inversione è possibile stimare alcune proprietà meccaniche del sottosuolo in condizioni di sollecitazione sismica.

E' noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione, a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poichè sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie, si basano su modelli fisicomatematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie

di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari. Per ogni strato si devono definire quattro parametri: lo spessore, ad esclusione dell'ultimo considerato infinito; la densità; la velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  al suo interno; il coefficiente di Poisson.

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, per un determinato sito.

Quanto detto rappresenta il *problema diretto*: quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno ci permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh. Nella prospezione occorre invece affrontare il *problema inverso*: a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

1. Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
2. Elaborazione: trattamento dei dati finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza;
3. Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità. Tutto ciò è quindi possibile sfruttando le relazioni che legano le proprietà meccaniche alla dispersione frequenziale.

La metodologia MASW viene presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999).

L'acquisizione simultanea di molti canali, che aumentano la ridondanza statistica, insieme alla semplicità delle operazioni, permettono al MASW, di superare pienamente le limitazioni incontrate con precedenti metodi.

Normalmente si accetta l'approssimazione secondo cui la massima profondità di indagine MASW per la quale calcolare il valore VS, può essere paragonato alla metà della lunghezza d'onda  $\lambda_{max}$  misurata dai ricevitori (Park et al., 1999), quest'ultima in generale è considerata circa pari alla lunghezza L dello stendimento.

### **Acquisizione dati**

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali (Re.Mi., S.A.S.W., M.A.S.W.).



L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale: Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves).

Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

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

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP. Tutte le operazioni possono essere gestite in modo intuitivo toccando lo schermo con l'apposito stilo che sostituisce il mouse normalmente utilizzato sui PC desk.

Nel caso specifico sono stati impiegati 24 geofoni con frequenza di 4.5 Hz con distanza intergeofonica di 1.00 m.

Il tempo di acquisizione è stato impostato a 1 secondo.

Come energizzatore è stato adoperato un martello (Hammer blow) di massa 8.00 Kg.

Lo stendimento sismico realizzato ha avuto lunghezza massima 33.00 m, così suddivisa:

- 23.00 m stendimento geofonico;
- energizzazioni a 2.0 m, 5.00 e 10.00 m dal primo geofono.

Per migliorare la qualità del segnale per ogni offset si è proceduto con la tecnica di stacking, sommando cioè algebricamente i segnali di successive energizzazioni.



Foto n° 5 – Ubicazione prospezione sismica Masw (Laborgeo srl, 2019)

## **Elaborazione**

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna è stata effettuata con il software winMASW 4.1 della Eliosoft.

Il software *winMASW* consente di analizzare dati sismici per ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato viene ottenuto tramite modellazione o inversione delle curve di dispersione delle onde di superficie Rayleigh. Per quanto riguarda la determinazione del profilo verticale della VS la procedura *classica* si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità sul quale l'utente deve identificare la curva di dispersione (Picking);
- 2) inversione o modellazione della/e curva/e di dispersione.



### 3.1 Risultati MASW

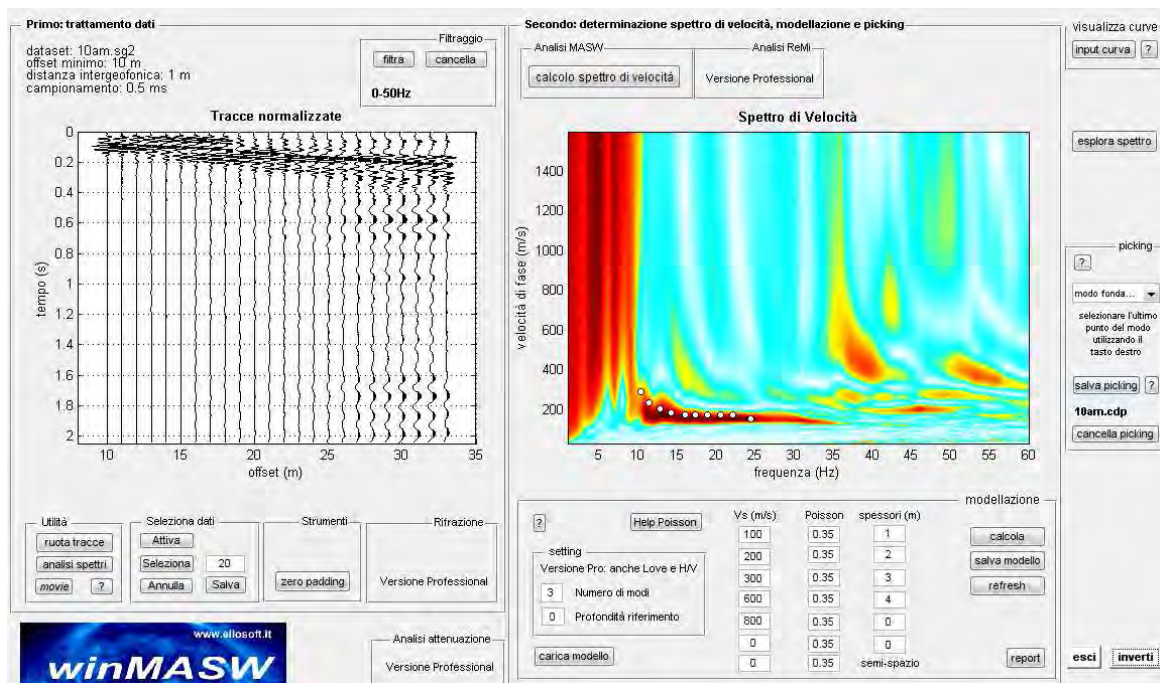


Fig. 1 – Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione

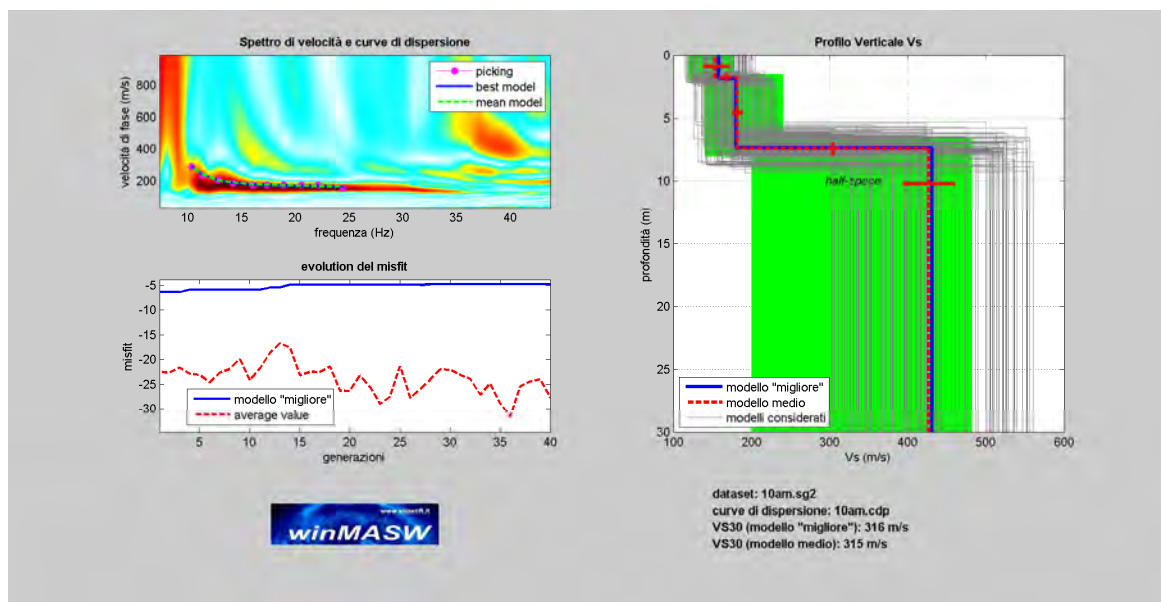
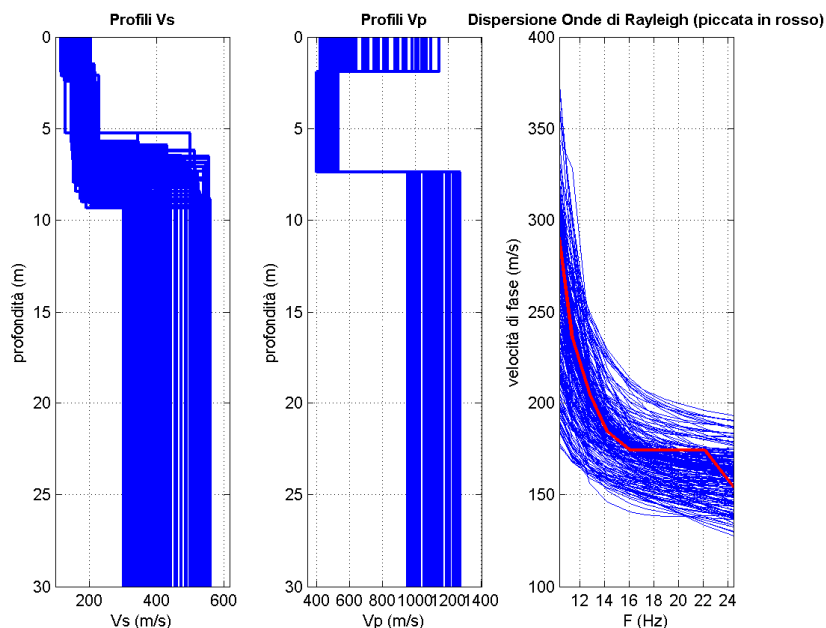


Fig. 2 - In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato



Vs (m/s)	Spessore (m)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio (MPa)
154	1.8	1.94	46
182	5.6	1.86	62
427	Semispazio	2.08	379

**Valori approssimativi di velocità delle onde P e dei moduli elastici**

Vp (m/s)	Coefficiente di Poisson	Modulo di compressione (MPa)	Modulo di Young (MPa)	Costante di Lamè (MPa)
625	0.47	697	135	666
445	0.40	286	172	245
1106	0.41	2037	1070	1784



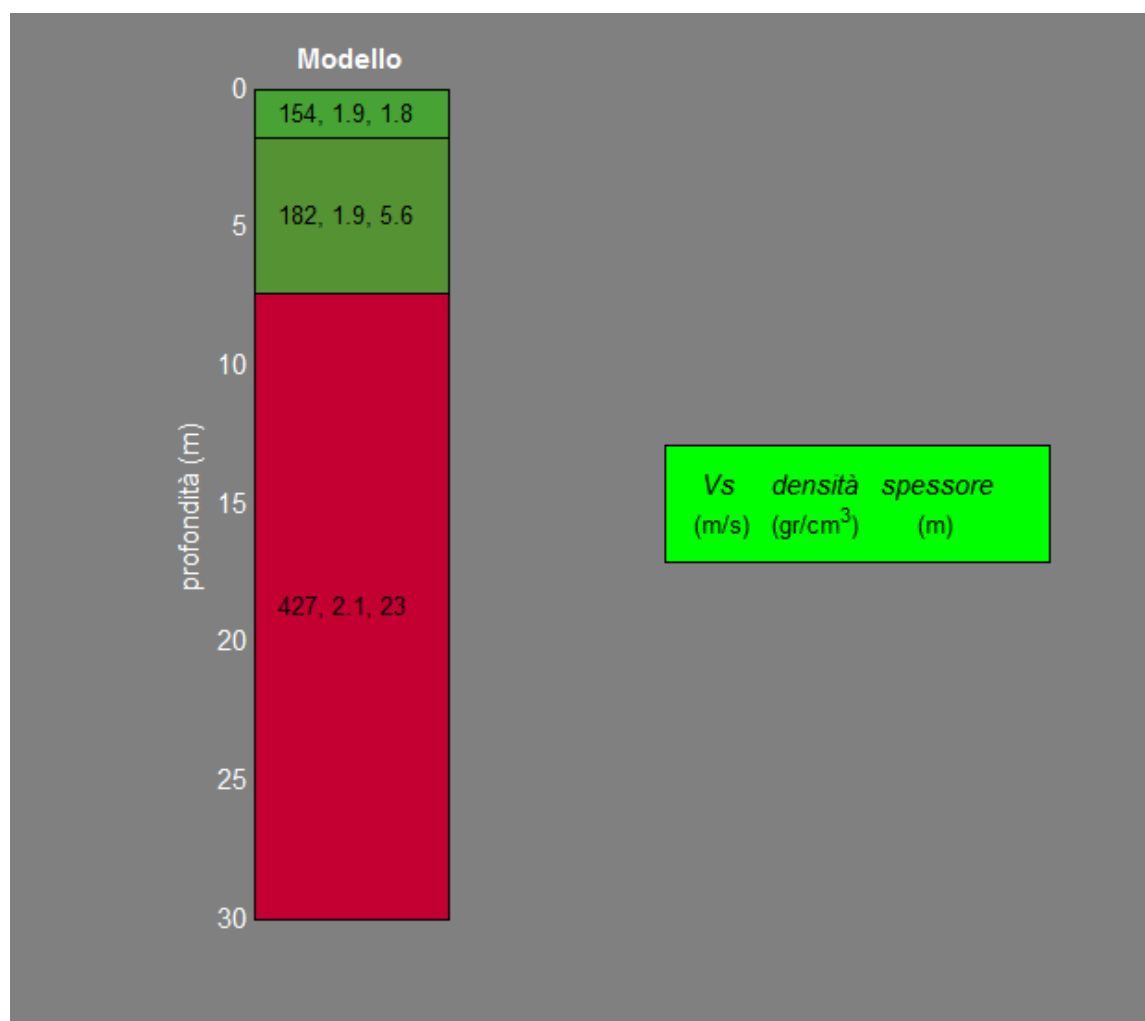


Fig. 3 Modello sismico del terreno fino a 30 m

Nel nostro caso la profondità del substrato è superiore a 30 m, pertanto, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è stata definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove:

$h_i$  è lo spessore dello strato  $i$ -esimo

Vi è la velocità dello strato iesimo

Il valore calcolato della Vs 30 (m/s) è pari a 315, cui corrisponde una categoria di suolo di fondazione di tipo C.

Tabella 3.2.II Categorie di sottosuolo NTC 2018 (approccio semplificato)

A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

#### 4. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

##### **PREMESSA**

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la ***pericolosità sismica di base*** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### **VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Nel DM 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

**$V_R$**  = periodo di riferimento

**$V_N$**  = vita nominale

**$C_U$**  = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 1 Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

**Tab. 1** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico  **$V_N = 50$  anni.**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $C_U = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $C_U = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe

d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.

Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $C_U = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $C_U = 2.0$ ;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso  **$C_U = 1.0$** .

Ricavati i valori di  $V_N$  e  $C_U$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1.0 = 50 \text{ anni.}$$



## **STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI**

### **RITORNO**

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali,

mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei 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;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento*  $P_{VR}$  (Tabella 2), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

**Tabella 2** - Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento  $V_R$

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

Fissati  $V_R$  e  $P_{VR}$  associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra  $P_{VR}$  (probabilità) e  $T_R$  (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è  **$V_R = 50$  anni**, il tempo di ritorno  $T_R$  sarà:

**Tabella 3** - *Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento  $V_R$*

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b><math>T_R = 30</math></b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b><math>T_R = 50</math></b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b><math>T_R = 475</math></b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b><math>T_R = 975</math></b>

### **DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC18:

**$a_g$**  = accelerazione orizzontale massima;

**$F_0$**  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

**$T_C^*$**  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

**$a_g$** , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

**$F_0$**  e  **$T_C^*$**  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4), contenuta nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

**Tabella 4** - Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

ID	LON	LAT	<b>T<sub>R</sub> = 30</b>			<b>T<sub>R</sub> = 50</b>			<b>T<sub>R</sub> = 72</b>			<b>T<sub>R</sub> = 101</b>		
			<b>a<sub>g</sub></b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>T*<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>g</sub></b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>T*<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>g</sub></b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>T*<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>g</sub></b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>T*<sub>c</sub></b>
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e  $P_{V_R}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC18:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_1$ ,  $p_2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.

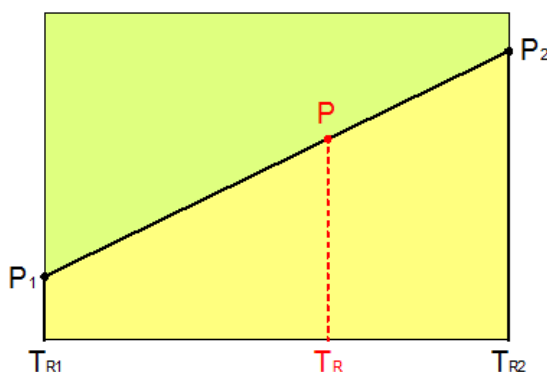


Fig. 4 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica



La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 5.

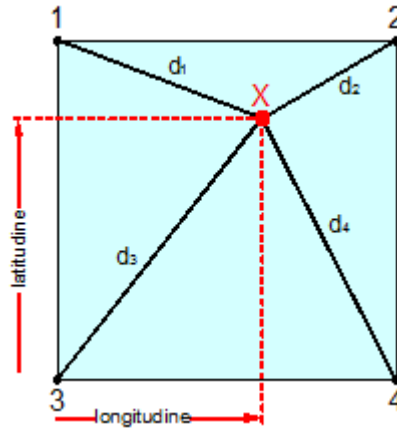


Fig. 5 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC18, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha$ ,  $\text{lon}\alpha$ ,  $\text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

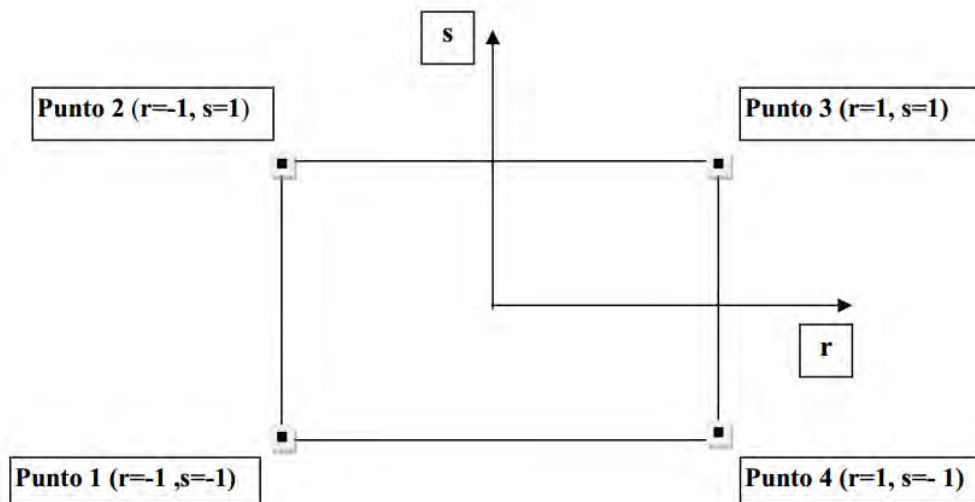


Fig. 6 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $a_g, F_0, T_c^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

## **PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO**

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. Per la singola opera o per il 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).

### **4.1 Coefficienti sismici**

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $P_{VR}$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

## 4.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella tabella 5

*Tabella 5 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_d(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_d(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_d(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

**$S_S$**  (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto  $a_g/g$ .  **$S_T$**  (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

**T1:**  $S_T = 1.0$ ; **T2:**  $S_T = 1.20$ ; **T3:**  $S_T = 1.20$ ; **T4:**  $S_T = 1.40$ .

#### 4.3 Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_H = k_H \cdot W \text{ ed } F_V = k_V \cdot W$$



con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e

adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$\beta_s = 0.38$  nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)

$\beta_s = 0.47$  nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a 1.2.

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

#### **4.4 Muri di sostegno**

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.6)$$

Con:

$\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

I valori del coefficiente  $\beta_m$  possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 9.

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

**S** è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e di amplificazione topografica  $S_T$ .

**$a_g$**  accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

#### **4.5 Paratie**

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \quad (5.8)$$

dove:

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva  $H$  della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 7:

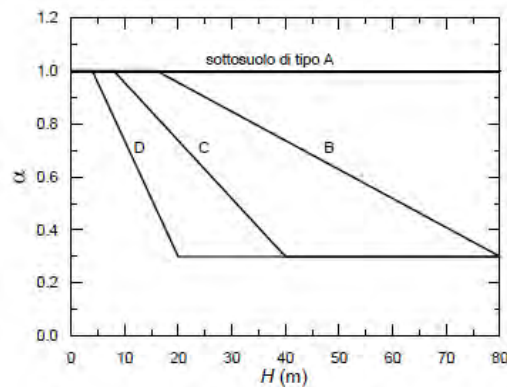


Fig. 7 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente  $V_s$ . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ .

Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 8, in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per  $u_s = 0$  si ha  $\beta = 1$ ;  $u_s \leq 0.005 \cdot H$

Se  $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$  deve assumersi  $k_h = 0.2 \cdot a_{\max}/g$

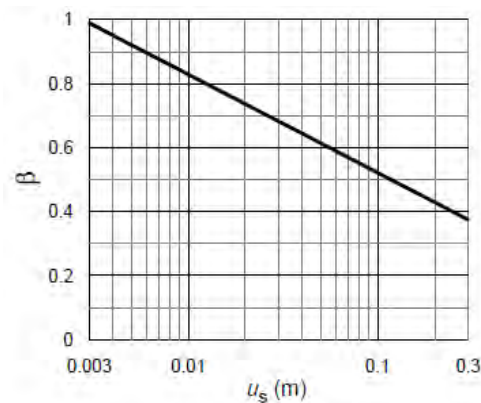


Fig. 8 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$

L'accelerazione di picco  $a_{\max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.9)$$

dove:

**S** è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;

**$a_g$**  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE



Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 40.6056023 [°]

Longitudine (WGS84): 16.6477642 [°]

Latitudine (ED50): 40.6065865 [°]

Longitudine (ED50): 16.6485786 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	34124	40.592510	16.584470	5634.43
2	34125	40.590680	16.650240	1774.38
3	33903	40.640640	16.652690	3802.32
4	33902	40.642470	16.586880	6560.08

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### **Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.040	2.458	0.289
SLD	50	0.054	2.508	0.294
	72	0.066	2.508	0.315
	101	0.079	2.482	0.320
	140	0.094	2.463	0.322
	201	0.110	2.479	0.321
SLV	475	0.159	2.476	0.329
SLC	975	0.205	2.497	0.332
	2475	0.275	2.511	0.336

### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.039	2.449	0.288
SLD	50	0.053	2.512	0.291
	72	0.065	2.512	0.313
	101	0.078	2.490	0.318
	140	0.092	2.467	0.319
	201	0.109	2.483	0.318
SLV	475	0.158	2.473	0.325
SLC	975	0.204	2.494	0.328
	2475	0.274	2.505	0.332

### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.038	2.460	0.285
SLD	50	0.051	2.525	0.293
	72	0.062	2.547	0.316
	101	0.075	2.472	0.322
	140	0.088	2.462	0.325
	201	0.104	2.488	0.325
SLV	475	0.150	2.484	0.331
SLC	975	0.194	2.504	0.333
	2475	0.261	2.517	0.336

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.039	2.472	0.286
SLD	50	0.052	2.523	0.296
	72	0.063	2.540	0.318
	101	0.077	2.458	0.324
	140	0.090	2.457	0.327
	201	0.106	2.481	0.329
SLV	475	0.151	2.482	0.335
SLC	975	0.195	2.507	0.336
	2475	0.262	2.523	0.340

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F <sub>0</sub> [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.039	2.456	0.287
SLD	50	0.053	2.516	0.393
<b>SLV</b>	<b>475</b>	<b>0.155</b>	<b>2.477</b>	<b>0.328</b>
SLC	975	0.201	2.498	0.331



## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}:1.000$

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°)

### Coefficienti sismici per muri di sostegno NTC 2008

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.014	0.055	0.087
kv	0.005	0.007	0.027	0.044
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.571	0.778	2.237	2.753
Beta	0.180	0.180	0.240	0.310

### Coefficienti sismici per muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.058	0.079	0.228	0.281
kv	0.029	0.040	0.114	0.140
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.571	0.778	2.237	2.753
Beta	1.000	1.000	1.000	1.000

### Coefficienti sismici per paratie

Altezza paratia (H): 3.0 [m]

Spostamento ammissibile us: 0.015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.038	0.052	0.148	0.182
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.571	0.778	2.237	2.753
Beta	0.650	0.650	0.650	0.650

### **Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.016	0.055	0.079
kv	0.006	0.008	0.027	0.039
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.571	0.778	2.237	2.753
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

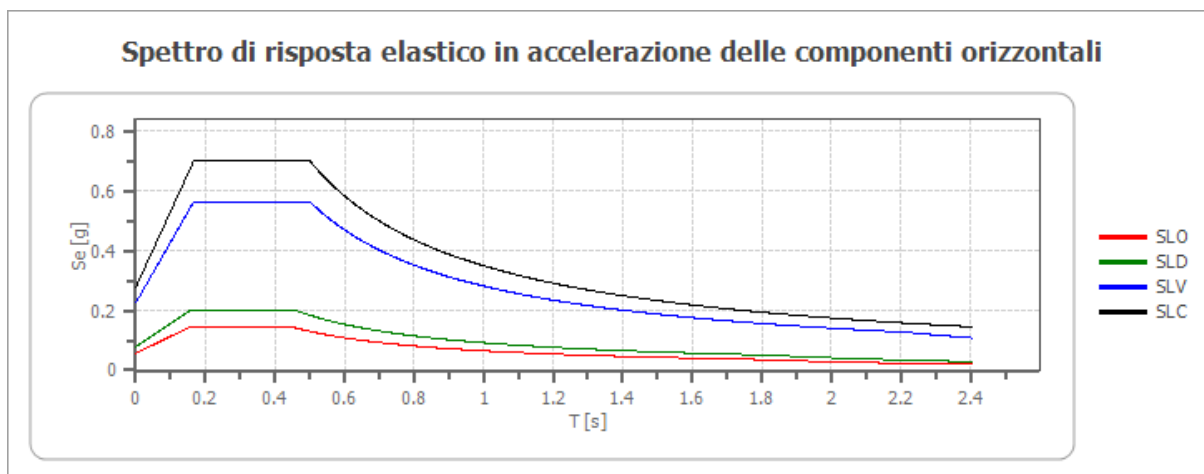
### **Muri di sostegno 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.037	0.087	--
kv	--	0.019	0.043	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.571	0.778	2.237	2.753
Beta	--	0.470	0.380	--

### **Fronti di cavo e rilevati**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.037	0.087	--
kv	--	0.019	0.043	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.571	0.778	2.237	2.753
Beta	--	0.470	0.380	--

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

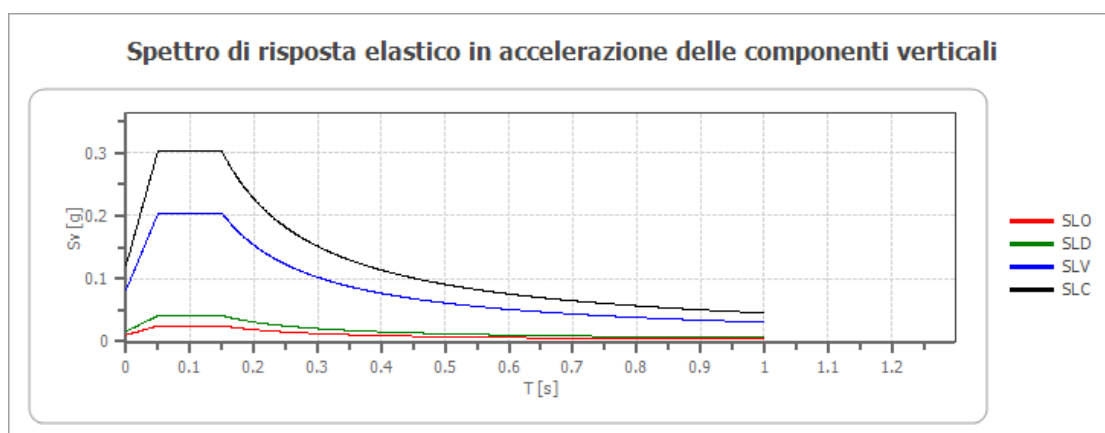


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.039	2.456	0.287	1.500	1.590	1.000	1.500	1.000	0.152	0.456	1.755	0.058	0.143
SLD	1.0	0.053	2.516	0.293	1.500	1.580	1.000	1.500	1.000	0.154	0.462	1.812	0.079	0.200
SLV	1.0	0.155	2.477	0.328	1.470	1.520	1.000	1.470	1.000	0.166	0.499	2.221	0.228	0.565
SLC	1.0	0.201	2.498	0.331	1.400	1.510	1.000	1.400	1.000	0.166	0.499	2.402	0.281	0.701

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}:1.000$



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1.0	0.039	2.456	0.287	1	1.590	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.010	0.025
SLD	1.0	0.053	2.516	0.293	1	1.580	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.016	0.041
SLV	1.0	0.155	2.477	0.328	1	1.520	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.083	0.204
SLC	1.0	0.201	2.498	0.331	1	1.510	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.121	0.303

## Spettro di progetto

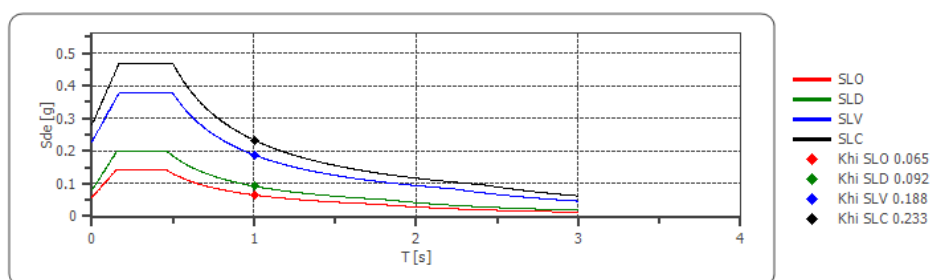
Fattore di struttura spettro orizzontale  $q$ : 1.50

Fattore di struttura spettro verticale  $q$ : 1.50

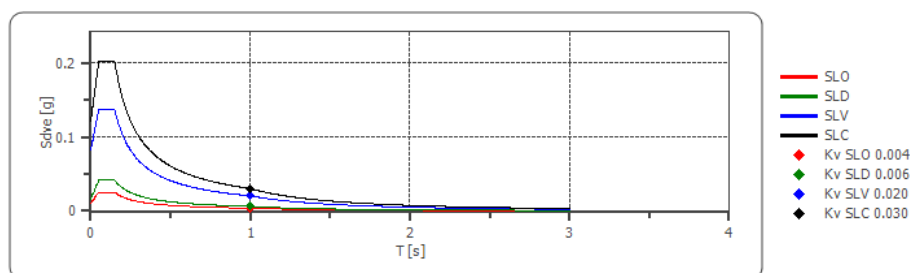
Periodo fondamentale  $T$ : 1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.065	0.092	0.188	0.233
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.004	0.006	0.020	0.030

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.039	2.456	0.287	1.500	1.590	1.000	1.500	1.000	0.152	0.456	1.755	0.058	0.143
SLO verticale	1.0	0.039	2.456	0.287	1.500	1.590	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.010	0.025
SLD orizzontale	1.0	0.053	2.516	0.293	1.500	1.580	1.000	1.500	1.000	0.154	0.462	1.812	0.079	0.200
SLD verticale	1.0	0.053	2.516	0.293	1.500	1.580	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.016	0.041
SLV orizzontale	1.0	0.155	2.477	0.328	1.470	1.520	1.000	1.470	1.500	0.166	0.499	2.221	0.228	0.377
SLV verticale	1.0	0.155	2.477	0.328	1.470	1.520	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.083	0.136
SLC orizzontale	1.0	0.201	2.498	0.331	1.400	1.510	1.000	1.400	1.500	0.166	0.499	2.402	0.281	0.468
SLC verticale	1.0	0.201	2.498	0.331	1.400	1.510	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.121	0.202

## **5. CONCLUSIONI**

Per il progetto di ristrutturazione dell' Ex Casello di "Parco dei Monaci", ubicato lungo la Strada Statale n° 175 "Matera – Montescaglioso" in agro di Matera, si è reso necessario effettuare uno studio di carattere geologico, geotecnico e geofisico in maniera tale da valutare eventuali criticità geologico-tecniche del sito in parola, in relazione alla nuova normativa sulle costruzioni emanata con D.M. del 17 Gennaio 2018 ed entrata in vigore il 22 Marzo 2018.

Pertanto, sono state programmate ed effettuate, una serie di indagini dirette e indirette, per avere una conoscenza accurata delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche dei terreni su cui poggia il casello da ristrutturare.

In particolare si è proceduto alla:

- esecuzione di n° 3 prove penetrometriche dinamiche continue del tipo DP mediante penetrometro leggero DL-30, fino ad una profondità variabile da 6.20 a 6.50 m dal piano di campagna;
- esecuzione di n° 1 rilievo sismico in onda S del tipo MASW per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , con conseguente attribuzione della categoria del suolo di fondazione ai sensi del D.M. 17.01.2018, in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$ .

L'indagine geologica ha evidenziato la presenza delle seguenti condizioni stratigrafiche locali:

<b><i>Profondità m</i></b>	<b><i>Descrizione litologica</i></b>	<b><i>Formazione geologica</i></b>
<b><i>0.00 - 1.90</i></b>	<b><i>Sabbia limo-ghiaiosa di colore marrone rossastro a consistenza sciolta</i></b>	<b><i>Depositi alluvionali</i></b>
<b><i>1.90 - 5.30</i></b>	<b><i>Limo argilloso di colore nocciola – verdastro, a media consistenza</i></b>	<b><i>Limi argillosi di natura alluvionale</i></b>
<b><i>5.30 - 6.00</i></b>	<b><i>Argilla di colore grigio-azzurro ad elevata consistenza e medio-alta plasticità</i></b>	<b><i>Argille subappennine</i></b>

Dal punto di vista geomorfologico l'area di indagine è ubicata lungo la S.S. 175 ad una quota sul livello del mare di circa 148 m, su di una zona pianeggiante che degrada dolcemente verso la valle alluvionale del Fiume Bradano con modesta acclività ed in situazione di equilibrio stabile. Non si segnalano nella zona fenomeni franosi o di dissesto generalizzato che possano aver compromesso le già precarie condizioni di equilibrio del fabbricato da ristrutturare.

A tal proposito la verifica in sito, delle condizioni di stabilità del fabbricato da ristrutturare, ha evidenziato una serie criticità legate:

- 1) alle precarie condizioni strutturali in cui si trova il fabbricato, praticamente abbandonato, da molto tempo;
- 2) alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni sabbioso-ghiaiosi superficiali, decisamente permeabili per porosità, in cui vi è una diffusa circolazione delle acque meteoriche, provenienti anche dai versanti posti

a Nord della zona; ciò determina un ristagno perenne delle acque gravifiche come testimoniato dalla presenza di un pozzo che raccoglie le stesse acque, ubicato nelle adiacenze del Casello ed in cui è stato misurato un livello di falda statico pari a circa 2.00 m dal piano di campagna;

- 3) alla presenza, a partire da circa 2.00 m di profondità, di terreni a maggiore componente limo-argillosa, praticamente impermeabili, che, non consentono una circolazione verticale delle acque meteoriche mentre favoriscono l'accumulo nello strato sabbioso-ghiaioso, sovrastante. Inoltre, l'elevata plasticità di questi sedimenti argillosi costituisce un pericolo per la stabilità del fabbricato, poiché, determina cedimenti differenziali del terreno di fondazione che si ripercuotono negativamente sulla stabilità della vecchia struttura.

Dal punto di vista geotecnico, l'interpretazione dei risultati ottenuti dalla prove penetrometriche dinamiche eseguite lungo il perimetro del vecchio fabbricato, ha consentito di ricavare tre orizzonti geotecnici, a partire dal piano di campagna, e i relativi parametri geotecnici riportati nelle successive tabelle:

Orizzonte geotecnico n° 1 – Sabbia limosa debolmente ghiaiosa – profondità:  
0.00 – 2.00 m

Orizzonte geotecnico n° 2 – Limo argilloso-sabbioso – profondità: 2.00 – 5.30 m

Orizzonte geotecnico n° 3 – Argilla limosa – profondità: 5.30 – 6.50 m



In particolare per il terreno di fondazione, nel caso di evento sismico, la capacità portante del terreno di fondazione diminuisce; S. OKAMOTO (1976) ne identifica l'effetto con una diminuzione temporanea dell'angolo di attrito interno secondo la relazione di SANO:

$$\varphi_K = \varphi - \arctg K_t / \sqrt{2}$$

dove :

$\varphi_K$  = valore dell'angolo di attrito interno in funzione di  $K_t$  (acceler. sismica locale= 0.25);

$\varphi$  = valore dell'angolo di attrito interno in condizioni statiche;

Ne consegue che durante un sisma, tenuto conto di un  $K_t = 0.22g$ , l'angolo di attrito interno si riduce da 31.34° (valore medio ottenuto dalle prove penetrometriche per lo strato superficiale sabbioso-limoso) a 22.5°.

Orizzonte geotecnico 1 - Parametri caratteristici (Sabbia limosa deb. ghiaiosa)

Parametri geotecnici	Valore medio	
Densità naturale $\gamma_K$	17.10	(KN/m <sup>3</sup> )
Densità naturale satura $\gamma_{Ksat}$	19.42	(KN/m <sup>3</sup> )
Indice di plasticità $I_p$	0.00	%
Coesione (Tensioni efficaci) $c'_K$	0.00	(KN/m <sup>2</sup> )
Angolo di attrito interno (tensioni efficaci) $\varphi'_K$	22.5	gradi
Coesione non drenata $c_uK$	15.69	(KN/m <sup>2</sup> )
Grado di sovraconsolidazione $OCR_K$	-	-
Coefficiente di spinta a riposo $K_0$ k	0.62	-
Modulo di Young non drenato $E_u$ secante	12.91	MPa
Coefficiente di Poisson $\nu$	0.45	-
Modulo di taglio $G$	4.30	MPa
Modulo di Young $E'$ drenato	12.48	MPa
Modulo edometrico $E_d$	4.80	MPa

Orizzonte geotecnico 2 - Parametri caratteristici (Limo argilloso-sabbioso)

Densità naturale $\gamma_K$	19.62	(KN/m <sup>3</sup> )
Densità naturale satura $\gamma_{Ksat}$	22.26	(KN/m <sup>3</sup> )
Indice di plasticità $I_p$	-	%
Coesione (Tensioni efficaci) $c'_K$	-	(KN/m <sup>2</sup> )
Angolo di attrito interno (tensioni efficaci) $\phi'_K$	-	gradi
Coesione non drenata $c_uK$	136.00	(KN/m <sup>2</sup> )
Grado di sovraconsolidazione $OCR_k$	1.00	-
Coefficiente di spinta a riposo $K_0 k$	-	-
Modulo di Young non drenato $E_u$ secante	21.54	MPa
Coefficiente di Poisson $\nu$	0.40	-
Modulo di taglio $G$	7.18	MPa
Modulo di Young $E'$ drenato	20.11	MPa
Modulo edometrico $E_d$	9.29	MPa

Orizzonte geotecnico 3 - Parametri caratteristici (Argille)

Densità naturale $\gamma_K$	20.80	(KN/m <sup>3</sup> )
Densità naturale satura $\gamma_{Ksat}$	24.52	(KN/m <sup>3</sup> )
Indice di plasticità $I_p$	-	%
Coesione (Tensioni efficaci) $c'_K$	-	(KN/m <sup>2</sup> )
Angolo di attrito interno (tensioni efficaci) $\phi'_K$	-	gradi
Coesione non drenata $c_uK$	202.00	(KN/m <sup>2</sup> )
Grado di sovraconsolidazione $OCR_k$	1.00	-
Coefficiente di spinta a riposo $K_0 k$	-	-
Modulo di Young non drenato $E_u$ secante	30.33	MPa
Coefficiente di Poisson $\nu$	0.40	-
Modulo di taglio $G$	10.11	MPa
Modulo di Young $E'$ drenato	28.32	MPa
Modulo edometrico $E_d$	12.80	MPa

Il coefficiente di sottofondazione, ricavato dalle prove penetrometriche dinamiche, per tenere conto della interazione terreno-struttura, ha un valore medio pari a 2.20 Kg/cm<sup>3</sup> e rientra nell'intervallo dei valori di riferimento riportati in letteratura per terreni sciolti di natura limo-sabbiosa, aventi  $q_{amm} < 2.00$  Kg/cm<sup>2</sup> ( $K_s$  compreso fra 1.2 e 2.4 Kg/cm<sup>3</sup>).

Infine, sulla base del valore di velocità del parametro  $V_{Seq}$  (315 m/s) ricavato attraverso l'indagine sismica  $masw$ , (tenendo presente che il substrato rigido con velocità delle onde  $S$  maggiore di 800 m/s è collocato ad una profondità superiore a 30 m dal piano di campagna), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è stato possibile classificare i terreni di sedime nella categoria **C**:

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

I parametri sismici:

- 1) accelerazione massima  $a_g/g$ ;
- 2) coefficiente sismico orizzontale  $k_h$ ;
- 3) coefficiente sismico orizzontale  $k_v$ ;

sono stati determinati facendo riferimento a un approccio semplificato basato sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$  e, per lo studio della risposta sismica locale, sono stati determinati tenendo in considerazione i seguenti parametri generali del sito in parola:

Sito in esame	Loc. Parco dei Monaci – Agro di Matera
Latitudine e Longitudine (ED50)	Latitudine: 40°36'20.72" N Longitudine: 16°38'51.93" E
Classe d'uso in presenza di azioni sismiche	II - Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$
Vita nominale calcolata in base al tipo di costruzione (VN)	50 anni
Categoria sismica sottosuolo	C
Categoria Topografica	T1
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50 anni (dato dal prodotto della Vita nominale per il Coefficiente d'uso)
Coefficiente d'uso $C_u$	1.0

I valori dei coefficienti sismici per stabilità dei pendii e fondazioni, risultano pertanto, quelli riportati nella tabella che segue:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.028	0.063	--
kv	--	0.014	0.032	--
$a_{max} [m/s^2]$	0.438	0.584	1.633	2.131
Beta	--	0.470	0.380	--

Matera, Maggio 2019

Dr. Geol. Angelo Capodilupo

## BIBLIOGRAFIA

**Boenzi F., Radina B., Ricchetti G., Valduga A. (1971)** – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 201 Matera*. Nuova Tecnica Grafica, Roma

**Ciaranfi N., Pieri P. & Ricchetti G. (1988)** - *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)*. - Memorie della Società Geologica Italiana, 41, 449-460.

**Pieri P. (1980)** - *Principali caratteri geologici e morfologici delle Murge*. Murgia sotterranea, Bollettino Gruppo Speleo Martinense, 2, 13-19.

**Pieri P., Sabato L. & Tropeano (1996)** - *Significato Geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa Bradanica nel Pleistocene*. Memorie della Società Geologica Italiana, 51, 501-515.

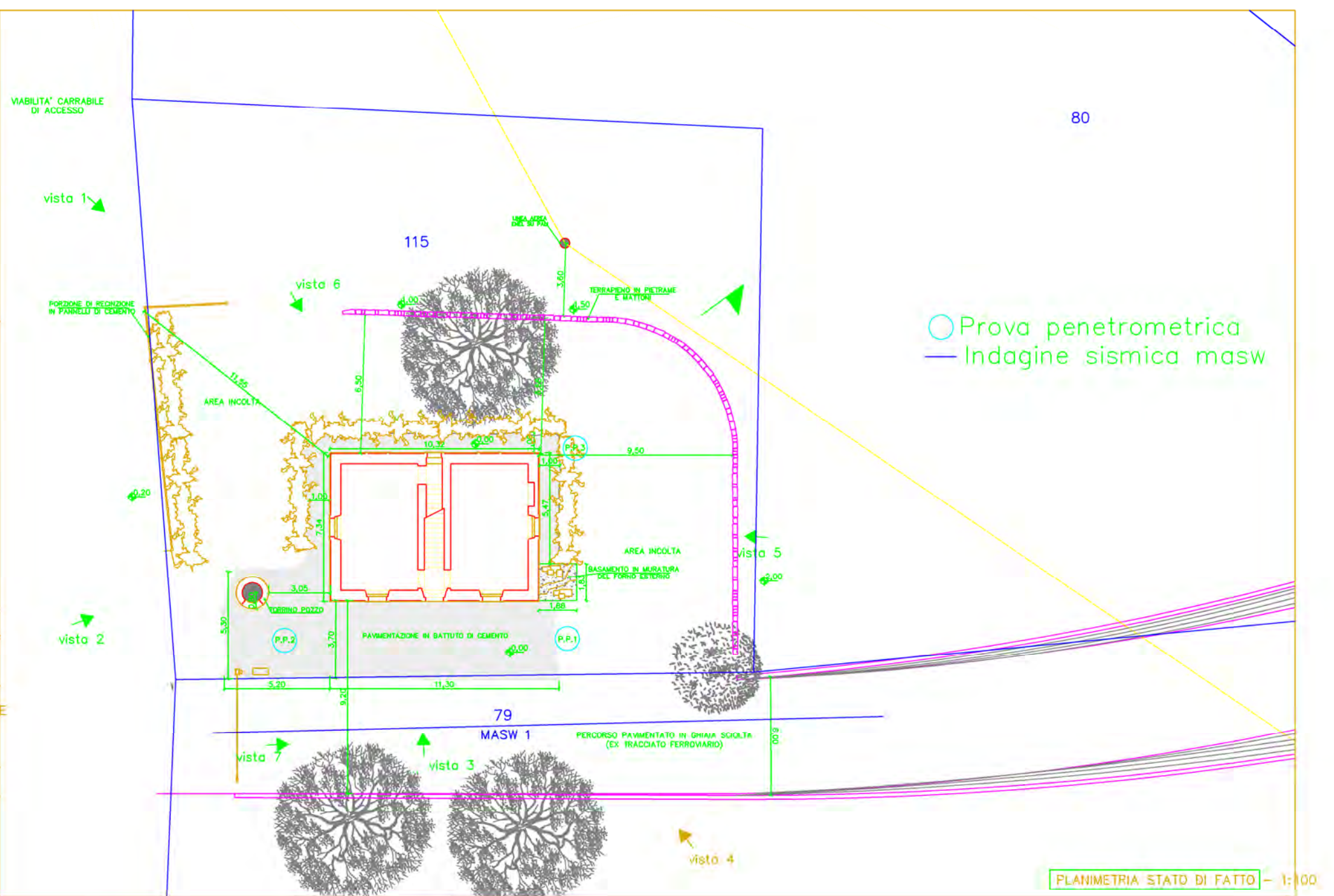
**Ricchetti G. (1975)** - *Nuovi dati stratigrafici sul Cretaceo delle Murge emersi da indagini nel sottosuolo*. Bollettino Società Geologica Italiana, 94, 1083-1108.

**Ricchetti G. (1980)** - *Contributo alla conoscenza strutturale della fossa Bradanica e delle Murge*. Bollettino Società Geologica Italiana, 99(4), 421-430.

**Ricchetti G., Ciaranfi N., Luperto Sinni E., Mongelli F. & Pieri P. (1988)** - *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'avampese apulo*. Memorie della Società Geologica Italiana, 41, 57-82.

**Tropeano M. (1994)** - *Caratteri deposizionali della Calcarenite di gravina (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore) sul bordo orientale della Fossa Bradanica nell'area di Matera*. In: Guida alle escursioni del 77° Congresso della Società Geologica Italiana, Bari, Quaderni della Biblioteca Provinciale di Matera, 15, 67-86.

Planimetria con ubicazione indagini  
Scala 1:100



Carta Geologica  
Scala 1:100.000





**Olocene**

- Depositi marini / Depositi continentali
- Coperture detritiche in parte rielaborate per dilavamento.
- Depositi alluvionali attuali
- Dune costiere e spiagge attuali
- Depositi alluvionali recenti: ciottolosi e sabbiosi; incisi dagli alvei attuali
- Depositi alluvionali terrazzati di bassa quota, ciottolosi e sabbiosi; terrazzi bassi del bacino del F. Bradano
- Depositi alluvionali terrazzati di quota intermedia, sabbiosi, con lenti di ciottolini; terrazzi di quota intermedia del bacino del F. Bradano
- Depositi alluvionali terrazzati di quota elevata, ciottolosi e sabbiosi, e luoghi cementati; terrazzi alti del bacino del F. Bradano
- Depositi alluvionali in terrazzi, non sicuramente correlabili con i depositi sopra indicati
- Depositi marini in terrazzi di varie quote (1-10m); sabbie grossolane giallastre con livelli cementati; calcareniti e molluschi di facies litorale; ghiaie e conglomerati con elementi di varia natura litologica

**Pleistocene sup. - Pleistocene inf.**

- CONGLOMERATO DI IRSINA - Conglomerati poligenici di chiusura del ciclo sedimentario pleistocenico, con intercalazioni sabbiose; grallo fossilifero per alterazione. Alla base, sabbie fini quarzose-micacee, con lenti di conglomerato poligenico. CALABRIANO.
- SABBIE DI MONTE MARANO (10m) - CALCARENITI DI MONTE CASTIGLIONE (10m) - Sabbie quarzose calcarenite a luochi cementate, a grana fine e media, di colore giallo o grigio-giallastro (10m), con fossili marini (*Ostrea*, *Anquiquetion*, *Chlamys*, ecc.); al letto, sabbie argillose con stretta idraulica (10m), depositi pecton sparsissimi (10m), *Venus* sp., *Turritella communis* (10m), *Dentalium rectum* (10m), in eresia (10m). Calcareniti grossolane di colore giallo-rosato, compatte e fossilifere (*Pecten*, *Ostrea*, *Lithothamnium*, ecc.). CALABRIANO.
- ARGILLE SUBAPPENNINE (10m) - CALCARENITI DI GRAVINA (10m) - Argille marnose, più o meno sitose grigio-azzurre o giallastre (10m), con fossili marini (*Nassa mutabilis* (10m), *N. semistriata* (10m), *Chamaea papilionacea papilionacea* (10m), *Turritella truncatula* (10m), *Natica* sp., *Triton* sp., *Anquiquetion sparsellus* (10m), *Dentalium* sp., *Gardium* sp., *Pentacrinus* sp., *Mactra* sp., *Ara* sp., *Fusus* sp., *Arctica islandica* (10m), *Microgona* con *Hyalina haitiana* (10m), *Purga depressa* (10m), *Bulinus slava* (10m); in parziale eresia con (10m). CALABRIANO.
- Calcareniti ("Tudo") bianco-giallastre più o meno cementate, con conglomerato alla base, trasgressive su (C<sup>2</sup>) Macrofauna a *Pecten* sp., *Ostrea* sp., Brachiopodi, Coralli, frammenti di Echini, microfauna con *Hyalina haitiana* (10m), *Ephedim* sp., *Pyrgo depressa* (10m), *Discorbis adamsi* (10m). CALABRIANO (in PLEISTOCENE SUP.).

**Cretaceo**

- CALCARE DI ALTAMURA - Calcare stratigrafici bianchi granulari, e luoghi poroidi, con Rudiste (*Durania murdelli* (10m), *Radiolites* sp.), *Surogonia* sp., *Microgona* con *Dicelasma schubertii* (10m), *Margella lata* (10m), *Acordella* (10m), *Murchisonia lobata* (10m), *M. conca* (10m), *Dicoryphe* (10m), *Murchisonia* sp., *Complicidura debouriei* (10m), *Nasutella joazeiroi* (10m), *Asiatoceras kotari* (10m), *Thaumastopora parvovolutaria* (10m); al letto e verso il letto, prevalenza di calce dolomitici stratigrafici grigio-scuri. SENO-MILANO.

**Pliocene**

**FORMAZIONI ALLOCTONE**

- ARGILLE SUBAPPENNINE (P<sup>1</sup>) - Argille e argille marnose grigio-azzurre o giallastre con fossili marini (*Globorotalia crassiformis* (10m), *Anomalina haitiana* (10m), e, nei livelli più alti, *Globorotalia inflata* (10m) e *Bullina marginata* (10m). PLEISTOCENE MEDIO E SUPERIORE.
- CONGLOMERATO DI TEMPA S. IRENO - Conglomerati ed elementi menso-sensibili con lenti di sabbie o di argille marnose giallo-grigie e con sabbie gialle poco cementate. Nelle parti argilloso-sabbiose, microfauna con abbondanza di forme mioceniche rimangiate. PLEISTOCENE INFERIORE.
- COMPLESSO ALLOCTONO INDIFFERENZIATO - Scisti argillosi policromi scaglianti, in genere inglobanti in giacitura caotica peccoli o frammenti di strati di calcare marnoso, calcareniti a grana fine, arenarie giallastre, sabbie quarzose giallastre, calcareniti bruciate con frammenti di Rudiste e calcareniti a macrolamelle (*Nannulus* sp., *Asulina* sp., *Dicoryphe* sp., *Alveolina* sp., *Lophodonta* sp.) e Brachiopodi.

**Legenda:**

- Suborizzontali
- fino a 10°
- 11° - 30°
- 31° - 70°
- Foglie
- Foglie presunte
- Superfici d'appoggio tettonico
- Contacti stratigrafici
- Contacti stratigrafici incerti
- Località fossilifera
- Località fossilifera del "livello a Penestropidi"
- Giacimenti petroliferi
- Orli di terrazzi
- Antiche linee di costa
- Doline
- Coni di deiezione recenti
- Coni di deiezione antichi
- Frane (in parte rielaborate per dilavamento)
- Sorgenti
- Pozzi per acque (profondità in metri)
- Pozzi per ricerche di idrocarburi (profondità in metri)
- Pozzi produttivi di idrocarburi gassosi (profondità in metri)
- Pozzi produttivi di idrocarburi liquidi (profondità in metri)
- Cave
- Tracce di zioni



Report prove penetrometriche

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA N°1

### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Terzaghi-Peck	0.86
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Terzaghi-Peck	1.38
[3] - Argilla	30.82	6.30	Terzaghi-Peck	2.08

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Robertson (1983)	25.34
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Robertson (1983)	40.76
[3] - Argilla	30.82	6.30	Robertson (1983)	61.64

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Stroud e Butler (1975)	58.13
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Stroud e Butler (1975)	93.50
[3] - Argilla	30.82	6.30	Stroud e Butler (1975)	141.40

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Apollonia	126.70
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Apollonia	203.80
[3] - Argilla	30.82	6.30	Apollonia	308.20

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[3] - Argilla	30.82	6.30	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Meyerhof ed altri	2.03
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Meyerhof ed altri	2.10
[3] - Argilla	30.82	6.30	Meyerhof ed altri	2.18

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Meyerhof ed altri	--
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Meyerhof ed altri	2.10
[3] - Argilla	30.82	6.30	Meyerhof ed altri	2.40

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	102.87
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	145.11
[3] - Argilla	30.82	6.30	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	172.62

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Gibbs & Holtz 1957	42.62
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Gibbs & Holtz 1957	43.89
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Gibbs & Holtz 1957	46.49

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Sowers (1961)	31.55
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Sowers (1961)	33.71
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Sowers (1961)	36.63

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Bowles (1982) Sabbia Media	138.35
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Bowles (1982) Sabbia Media	176.90
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Bowles (1982) Sabbia Media	229.10

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	53.49
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	69.33
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	90.77

#### Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Meyerhof ed altri	1.81
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Meyerhof ed altri	2.00
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Meyerhof ed altri	2.14

#### Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.40
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

#### Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	(A.G.I.)	0.33
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	(A.G.I.)	0.31
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	(A.G.I.)	0.29

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Ohsaki (Sabbie pulite)	707.17
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Ohsaki (Sabbie pulite)	1105.52
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Ohsaki (Sabbie pulite)	1630.86

#### Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Ohta & Goto (1978) Limi	102.87
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Ohta & Goto (1978) Limi	145.11
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Ohta & Goto (1978) Limi	172.62

#### Liquefazione

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs liquefazione
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Seed e Idriss (1971)	---
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Seed e Idriss (1971)	---
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Seed e Idriss (1971)	---

#### Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Navfac 1971-1982	2.66
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Navfac 1971-1982	4.12
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Navfac 1971-1982	5.72

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

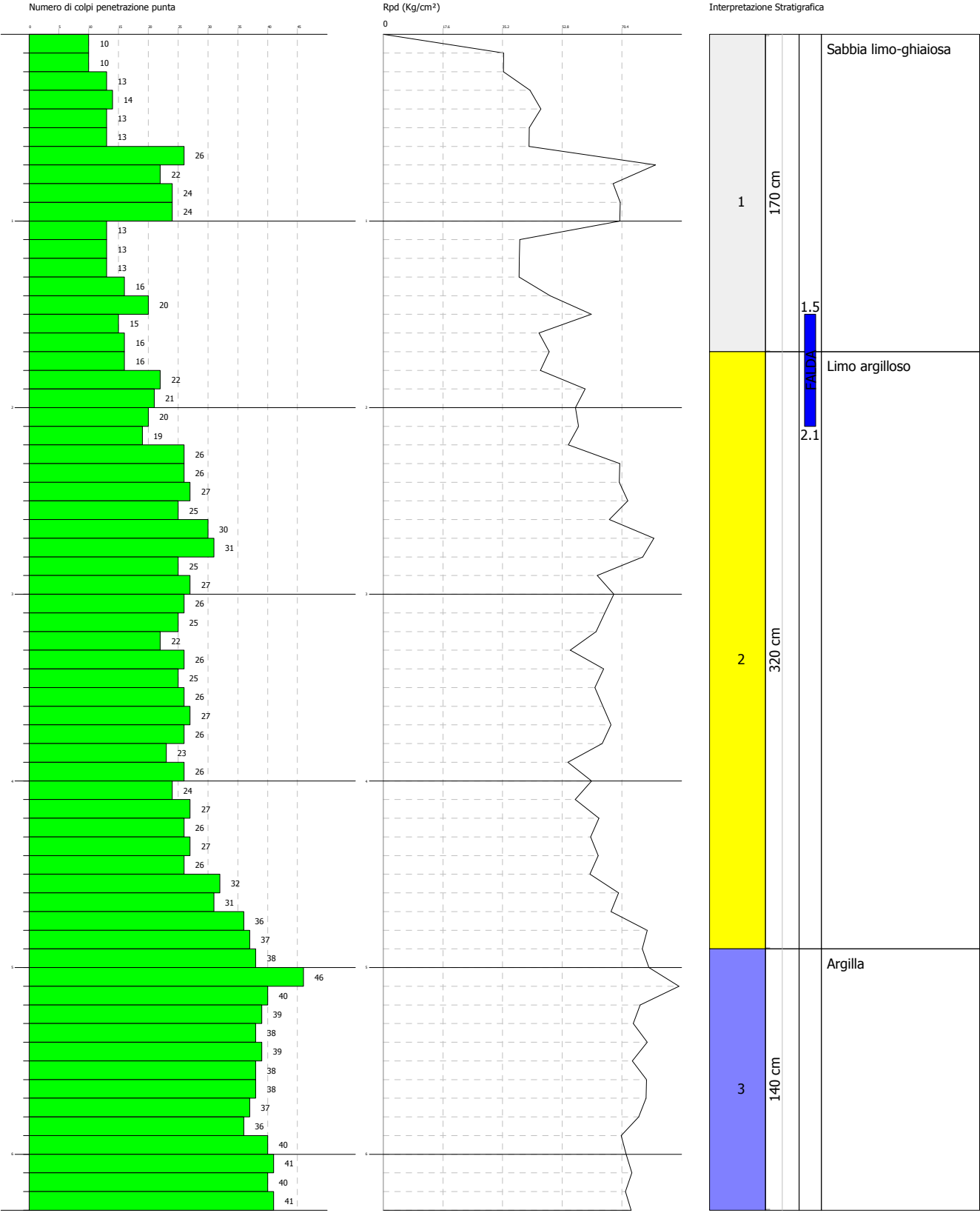
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	12.67	1.70	12.67	Robertson 1983	25.34
[2] - Limo argilloso	20.38	4.90	20.38	Robertson 1983	40.76
[3] - Argilla	30.82	6.30	30.82	Robertson 1983	61.64

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti  
DPR 380/01 Art. 59 Circolare 7619/STC del 08/09/2010  
Concessione per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche prelievo di campioni e prove in situ  
Decreto n° 5411. del 10.11.2005 e rinnovi

Committente: Ente Parco delle Chiese Rupestri del Materano  
Cantiere: Parco dei Monaci  
Località: Matera

Data: 08/05/2019

Scala 1:30



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA N° 2

### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Terzaghi-Peck	0.56
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Terzaghi-Peck	1.49
[3] - Argilla	29.84	6.20	Terzaghi-Peck	2.01

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Robertson (1983)	16.72
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Robertson (1983)	44.22
[3] - Argilla	29.84	6.20	Robertson (1983)	59.68

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Stroud e Butler (1975)	38.36
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Stroud e Butler (1975)	101.44
[3] - Argilla	29.84	6.20	Stroud e Butler (1975)	136.91

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Apollonia	83.60
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Apollonia	221.10
[3] - Argilla	29.84	6.20	Apollonia	298.40

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[3] - Argilla	29.84	6.20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Meyerhof ed altri	1.91
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Meyerhof ed altri	2.11
[3] - Argilla	29.84	6.20	Meyerhof ed altri	2.16

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Meyerhof ed altri	--
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Meyerhof ed altri	2.15
[3] - Argilla	29.84	6.20	Meyerhof ed altri	2.37



Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	97.81
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	149.66
[3] - Argilla	29.84	6.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	172.54

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Gibbs & Holtz 1957	33.38
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Gibbs & Holtz 1957	45.03
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Gibbs & Holtz 1957	45.54

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Sowers (1961)	30.34
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Sowers (1961)	34.19
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Sowers (1961)	36.36

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Bowles (1982) Sabbia Media	---
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Bowles (1982) Sabbia Media	185.55
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Bowles (1982) Sabbia Media	224.20

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	44.64
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	72.88
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	88.76

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Meyerhof ed altri	1.67
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Meyerhof ed altri	2.03
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Meyerhof ed altri	2.13

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.44
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	(A.G.I.)	0.34
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	(A.G.I.)	0.31
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	(A.G.I.)	0.3

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Ohsaki (Sabbie pulite)	478.40
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Ohsaki (Sabbie pulite)	1193.51
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Ohsaki (Sabbie pulite)	1582.06

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Ohta & Goto (1978) Limi	97.81
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Ohta & Goto (1978) Limi	149.66
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Ohta & Goto (1978) Limi	172.54

#### Liquefazione

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs liquefazione
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Seed e Idriss (1971)	---
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Seed e Idriss (1971)	---
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Seed e Idriss (1971)	---

#### Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Navfac 1971-1982	1.75
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Navfac 1971-1982	4.41
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Navfac 1971-1982	5.59

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

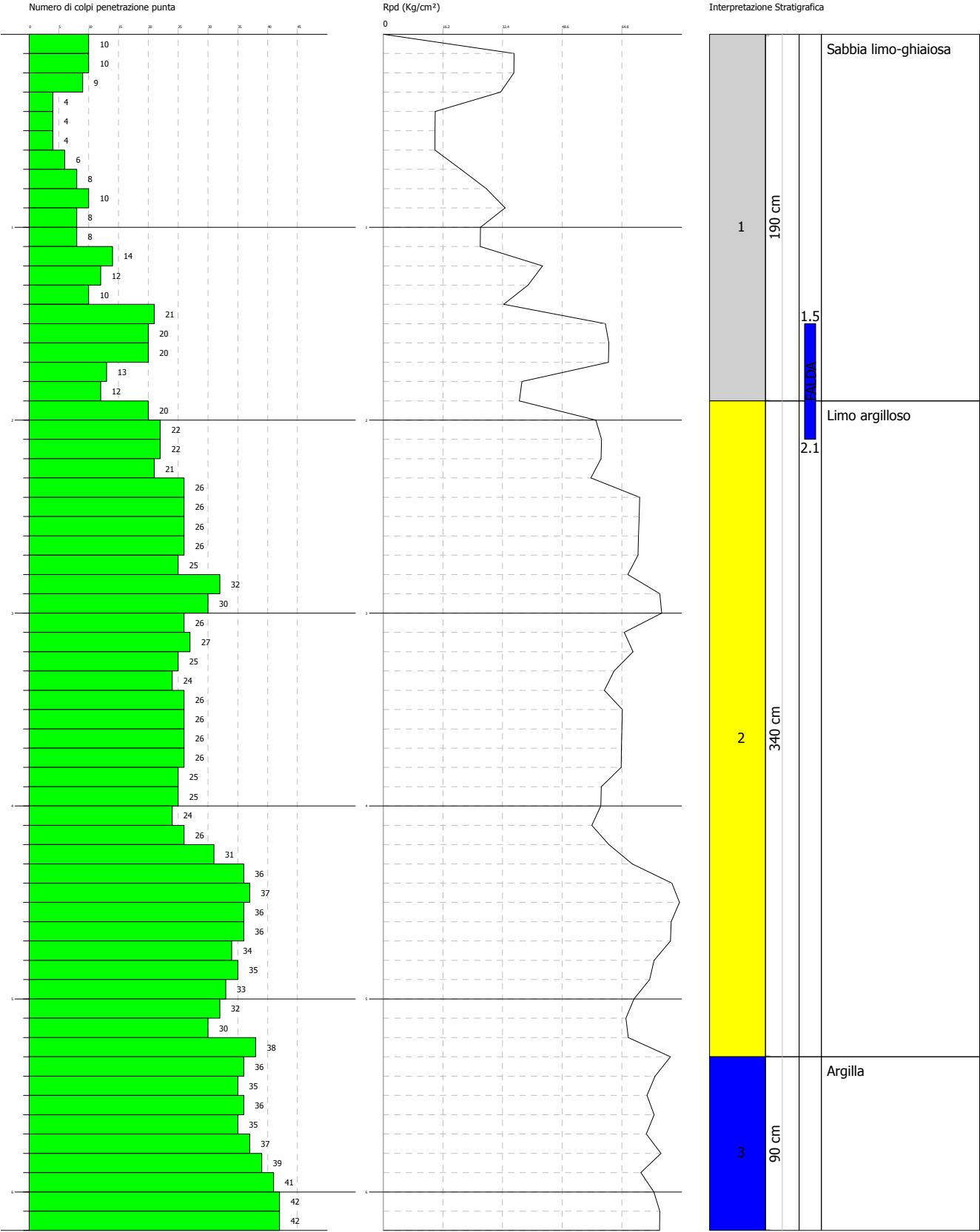
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	8.36	1.90	8.36	Robertson 1983	16.72
[2] - Limo argilloso	22.11	5.30	22.11	Robertson 1983	44.22
[3] - Argilla	29.84	6.20	29.84	Robertson 1983	59.68

Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti  
DPR 380/01 Art. 59 Circolare 7619/STC del 08/09/2010  
Concessione per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche prelievo di campioni e prove in situ  
Decreto n° 5411. del 10.11.2005 e rinnovi

Committente: Ente Parco delle Chiese Rupestri del Materano  
Cantiere: Parco dei Monaci  
Località: Matera

Data: 08/05/2019

Scala 1:29



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA N° 3

### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Terzaghi-Peck	0.71
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Terzaghi-Peck	1.29
[3] - Argilla	25.98	6.50	Terzaghi-Peck	1.75

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Robertson (1983)	20.90
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Robertson (1983)	38.08
[3] - Argilla	25.98	6.50	Robertson (1983)	51.96

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Stroud e Butler (1975)	47.95
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Stroud e Butler (1975)	87.36
[3] - Argilla	25.98	6.50	Stroud e Butler (1975)	119.20

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Apollonia	104.50
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Apollonia	190.40
[3] - Argilla	25.98	6.50	Apollonia	259.80

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[3] - Argilla	25.98	6.50	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Meyerhof ed altri	1.98
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Meyerhof ed altri	2.10
[3] - Argilla	25.98	6.50	Meyerhof ed altri	2.12

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Meyerhof ed altri	--
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Meyerhof ed altri	--
[3] - Argilla	25.98	6.50	Meyerhof ed altri	2.25

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	99.5
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	145.44
[3] - Argilla	25.98	6.50	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	169.56

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Gibbs & Holtz 1957	38.41
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Gibbs & Holtz 1957	41.66
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Gibbs & Holtz 1957	41.91

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Sowers (1961)	30.93
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Sowers (1961)	33.33
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Sowers (1961)	35.27

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Bowles (1982) Sabbia Media	127.25
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Bowles (1982) Sabbia Media	170.20
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Bowles (1982) Sabbia Media	204.90

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	48.93
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	66.57
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	80.83

#### Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

#### Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Meyerhof ed altri	1.75
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Meyerhof ed altri	1.97
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Meyerhof ed altri	2.09

#### Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

#### Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	(A.G.I.)	0.33
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	(A.G.I.)	0.32
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	(A.G.I.)	0.3

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Ohsaki (Sabbie pulite)	590.04
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Ohsaki (Sabbie pulite)	1037.05
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Ohsaki (Sabbie pulite)	1388.91

#### Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Ohta & Goto (1978) Limi	99.5
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Ohta & Goto (1978) Limi	145.44
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Ohta & Goto (1978) Limi	169.56

#### Liquefazione

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs liquefazione
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Seed e Idriss (1971)	---
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Seed e Idriss (1971)	---
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Seed e Idriss (1971)	---

#### Modulo di reazione Ko

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Navfac 1971-1982	2.20
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Navfac 1971-1982	3.88
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Navfac 1971-1982	5.03

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Sabbia limo-ghiaiosa	10.45	1.70	10.45	Robertson 1983	20.90
[2] - Limo argilloso	19.04	5.40	19.04	Robertson 1983	38.08
[3] - Argilla	25.98	6.50	25.98	Robertson 1983	51.96



Laboratorio autorizzato dal Ministero Infrastrutture e Trasporti  
DPR 380/01 Art. 59 Circolare 7619/STC del 08/09/2010  
Concessione per l'esecuzione e certificazione di indagini geognostiche prelievo di campioni e prove in situ  
Decreto n° 5411. del 10.11.2005 e rinnovi

Committente: Ente Parco delle Chiese rupestri del Materano  
Cantiere: Parco dei Monaci  
Località: Matera

Data: 08/05/2019

Scala 1:31

