


# COMUNE DI BRINDISI



**Realizzazione di un impianto Agrovoltaico della potenza in DC di 14,989 MW e AC di 12,48 MW, denominato “DEPALMA”, in località Casignano nel comune di Brindisi e delle relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione dell’energia elettrica Nazionale (RTN), nell’ambito del procedimento P.U.A. ai sensi dell’art. 27 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.**

ELABORATO: Relazione geotecnica  NOME DOCUMENTO: DEP_13_Relazione geotecnica	<b>Relazione geotecnica del progetto definitivo</b>	DATA: Agosto 2021
		POTENZA DC 14,989 MW  POTENZA AC 12,480 MW
		SCALA :

TIMBRO E FIRMA	TECNICO: <i>Dr. Geologo Pietro Pepe</i>	SVILUPPATORE  <b>enne. pi. studio s.r.l.</b> 70132 Bari - Lungomare IX Maggio, 38 Tel. + 39.080.5346068 e-mail: <a href="mailto:pietro.novielli@ennepistudio.it">pietro.novielli@ennepistudio.it</a>
----------------	--	---

	02				
	01				
	00	Prima emissione	Dr. Pietro Pepe	Dr. Pietro Pepe	DEPALMA SRL
N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO



## DEPALMA SRL

PEC: [depalma.srl@pec.it](mailto:depalma.srl@pec.it) T: +39 02 45440820





## SOMMARIO

<b>RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>1</b>
<b>1    PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2    INQUADRAMENTO DELL'AREA.....</b>	<b>3</b>
2.1    INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
2.2    INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO.....	6
<b>3    CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE.....</b>	<b>8</b>
3.1    INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO .....	11
3.2    STRATEGIA DI PROGETTAZIONE.....	14
<b>4    RISULTATI CAMPAGNA GEOGNOSTICA .....</b>	<b>17</b>
4.1    PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE DPSH.....	17
4.2    MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES) .....	18
<b>5    CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO .....</b>	<b>21</b>
<b>6    CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>23</b>

## RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- Regione Puglia – Piano Paesaggistico Territoriale Regionale per il paesaggio (PPTR) – Norme Tecniche di Attuazione;
- Autorità Interregionale di Bacino della Puglia – Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico – “Carta del Rischio”;
- Rossi D. (1969) – “Note illustrative della Carta Geologica D’Italia, scala 1:100000, Foglio 203 “Brindisi” e Foglio 204 “Lecce”;
- Ciaranfi N. et al (1983) - “Carta Neotettonica dell’Italia Meridionale”, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto finalizzato Geodinamica, Pubbl. n. 515 del P.F. Geodinamica, Bari;
- AA.VV (1999) – “Guide Geologiche Regionali – Puglia e Monte Vulture”, Società Geologica Italiana;
- Decreto Ministero LL.PP.11/03/88 "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, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006) “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” (G.U. n.108 del 11/05/2006)
- Ordinanza PCM 3274 (20/03/2003) “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche” (G.U. n.105 del 08/05/2003).
- Gruppo di Lavoro MPS (2004) – “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003”. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 “Progetto S1 Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi”
- Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 - All. 1b “Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale”;
- “Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture” del 17 gennaio 2018 (Suppl Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8);
- Delibera D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 della Giunta Regionale - Regione Puglia: “Progettazione antisismica anche per progettazioni ricadenti in zona 4...”.

## 1 PREMESSA

È stata commissionata allo scrivente, Dott. Geol. Pietro Pepe, la redazione della seguente “Relazione Geotecnica” per il Progetto di **“realizzazione dell’impianto Agrovoltico “De Palma” sito in Brindisi, strada comunale 21 - al Fm. 99, p.lle 41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-64-66, nonché del cavodotto di connessione e della stazione di elevazione e smistamento”**.

Il committente dei lavori è la Depalma Srl mentre la progettazione dell’opera è stata affidata all’Ing. Alessandro Massaro.

Alla luce delle opere da realizzarsi sono stati affrontati gli aspetti geologico-stratigrafici e geotecnici del sito in esame ed è stato condotto uno studio finalizzato a:

- verificare la presenza di situazioni stratigrafiche anomale che possano infirmare la sicurezza delle opere in fase di realizzazione;
- rilevare l’eventuale presenza della falda idrica e analizzare eventuali fenomeni d’interferenza con l’opera;
- evidenziare i livelli interessati dalle fondazioni;
- fornire indicazioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione;
- verificare la capacità portante dei pali di fondazione.

A supporto di tale studio è stata svolta una campagna geognostica basata essenzialmente su indagini indirette del tipo MASW, per la caratterizzazione sismica del territorio ai sensi delle NTC 2018, e su prove penetrometriche per la definizione di alcuni fra i principali parametri geotecnici del sottosuolo in esame.

Nel seguito saranno riportati i risultati delle indagini svolte, per la consultazione completa delle stesse si rimanda alla Relazione Geologica.

## 2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area dell'impianto si trova ad Est del centro abitato del Comune di Brindisi, su strada comunale 50 a quote comprese tra 40 e 46m. Il tracciato del cavidotto si sviluppa verso est per un tratto e poi verso sud-est andando da quote di 40m a 30m, fino ad arrivare alle stazioni di smistamento a quota di circa 38m

**Fig. 1. Stralcio dell'ortofoto da Google Earth con ubicazione dell'area in esame**



## 2.1 Inquadramento geologico

Il territorio di Brindisi si colloca nel comprensorio settentrionale della penisola Salentina geologicamente costituita da una successione di rocce calcareo-dolomitiche, calcarenitiche e sabbioso-argillose, la cui messa in posto è avvenuta nell'arco di tempo compreso tra il Mesozoico e il Quaternario.

La struttura geologica è caratterizzata dalla presenza di un substrato calcareo-dolomitico del Mesozoico (Piattaforma Carbonatica Apula) su cui si poggiano in trasgressione sedimenti calcarenitici e calcarei riferibili al Miocene, al Pliocene medio-sup. e al Pleistocene.

L'evoluzione geologica della penisola salentina può essere correlata al tratto più meridionale dell'Avampaese Apulo, la cui genesi è legata agli eventi tettonico-sedimentari che hanno interessato il promontorio africano prima nella collisione con la placca euroasiatica, risalente alla fine del Mesozoico, poi, nella tettonogenesi appenninico-dinarica, a partire dal Neogene.

A tetto del basamento cristallino, nel Salento, è presente una potente copertura sedimentaria con alla base sedimenti di facies terrigena fluvio-deltizie correlabili con il Verrucano (Permiano-Triassico). Sui depositi terrigeni si rinviene una successione anidritico-dolomitica riferibile alle Anidriti di Burano (Triassico), ed una sovrastante successione giurassico-cretacica avente facies di piattaforma carbonatica.

Fra il Cretaceo e l'Eocene, l'emersione della piattaforma apula ha causato un accumulo variabile di prodotti residuali costituiti essenzialmente da terra rossa.

Una trasgressione marina post-cretacica ha determinato la deposizione dei Calcari di Castro (Paleocene-Oligocene) e delle Calcareniti di Porto Badisco (Oligocene).

Con la trasgressione miocenica si sono formati successivamente i sedimenti corrispondenti alle unità della Pietra leccese e delle Calcareniti di Andrano (Miocene).

Alla fine del Miocene l'area salentina ha subito prima una emersione e poi è stata risommersa con la

deposizione della Formazione di Leuca (Pliocene inferiore) e delle Sabbie di Uggiano la Chiesa (Pliocene medio-superiore).

Con la fine del Pleistocene inferiore un progressivo sollevamento dell'intera penisola ha provocato la sua completa emersione in più tappe, testimoniate da una serie di terrazzi marini disposti a varie quote sul livello del mare.

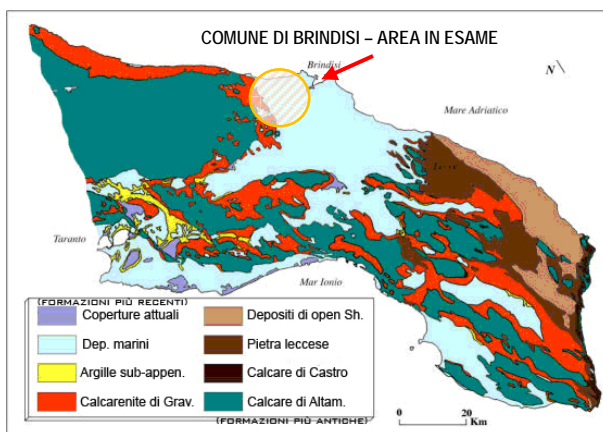


Fig. 2. Carta litologica del Salento (da N. Ciaranfi, P. Pieri, G. Ricchetti; 1988).

Il territorio in esame ricade, in particolare, nel settore nord-orientale del foglio 203 "Brindisi".

È caratterizzato prevalentemente dall'affioramento delle seguenti unità geologiche, dalle più antiche alle più recenti:

### Formazioni marine (pleistocene):

- ✓ **Formazione di Gallipoli:** unità geologica rappresentata da sabbie argillose giallastre che passano inferiormente a marne argillose grigio-azzurrastre ( $Q^1_s$ ). Sono presenti intercalazioni arenacee e calcarenitiche ben cementate ( $Q^1_c$ ).

La **Formazione di Gallipoli** rappresenta l'unità geologica predominante il territorio in esame. È rappresentata da sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm di spessore che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrine ( $Q^1_s$ ). L'unità presenta intercalazioni di banchi arenacei e calcarenitici ben cementati ( $Q^1_c$ ). Questa formazione è ben rappresentata nel foglio Brindisi, in particolare nei settori settentrionali dove occupa una vastissima area attorno a Brindisi. La formazione è costituita da due litotipi fondamentali che sono le marne argillose, e più raramente, le marne nella parte basale e da sabbie più o meno argillose nella parte sommitale. Le marne argillose hanno colorazione grigio-azzurrognola, si presentano generalmente plastiche e poco stratificate, con percentuali variabili di frammenti di quarzo a spigoli vivi. Verso l'alto della serie la componente marnoso-argillosa diminuisce gradualmente passando a sabbie vere e proprie, giallastre o grigio-giallastre, con un certo contenuto di argilla, costituite prevalentemente da frammenti di quarzo a grana da media a fine. Le sabbie sono stratificate e talora parzialmente cementate. Le sabbie e le argille costituenti la formazione di Gallipoli possono essere sostituite, parzialmente o totalmente, da calcareniti ed arenarie ben cementate e talora da livelli di panchina. Le calcareniti sono particolarmente abbondanti ed estese nell'area del foglio Brindisi.

Lo spessore, secondo quanto indicato nelle note illustrative del foglio, può raggiungere il centinaio di metri nella zona di Brindisi.

La Formazione confina a sud del territorio di Brindisi, con l'orizzonte delle Calcareniti del Salento avente un'età del Calabriano -Pliocene superiore. Tale passaggio non risulta molto chiaro, sia per lo scarso affioramento dei sedimenti al contatto che per l'assenza di caratteri morfologici significativi: il passaggio potrebbe avvenire verticalmente con una graduale affermazione verso l'alto della formazione di Gallipoli ma non è da escludere una parziale sostituzione laterale così come la presenza di una discordanza con una lacuna stratigrafica più o meno ampia. Nella parte sud-occidentale i rapporti stratigrafici con le Calcareniti del Salento sono decisamente discordanti, la Formazione di Gallipoli in queste aree occupa difatti depressioni nettamente tagliate entro l'orizzonte calcarenitico.



Fig. 3. STRALCIO DEL F. 203 "BRINDISI" DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA CON UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME



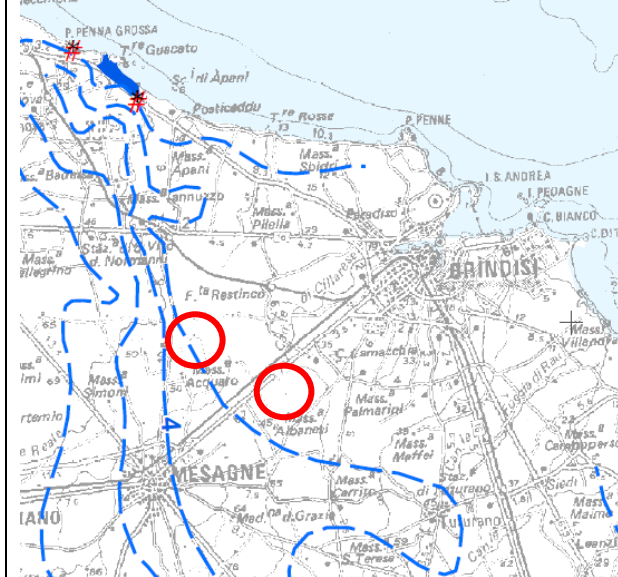
## 2.2 Inquadramento idrografico e Idrogeologico

Per la mancanza di zone montuose e per la scarsità di piogge, il territorio in esame è povero di una idrografia superficiale, poiché mancano dei veri e propri corsi d'acqua. Tuttavia dal Pleistocene medio ad oggi l'azione delle acque meteoriche ha agito sulla superficie del paesaggio addolcendone le forme e scavando profonde incisioni sulle rocce carbonatiche che hanno portato poi allo sviluppo di forme tipicamente carsiche quali doline, inghiottitoi e soprattutto, un gran numero di grotte.

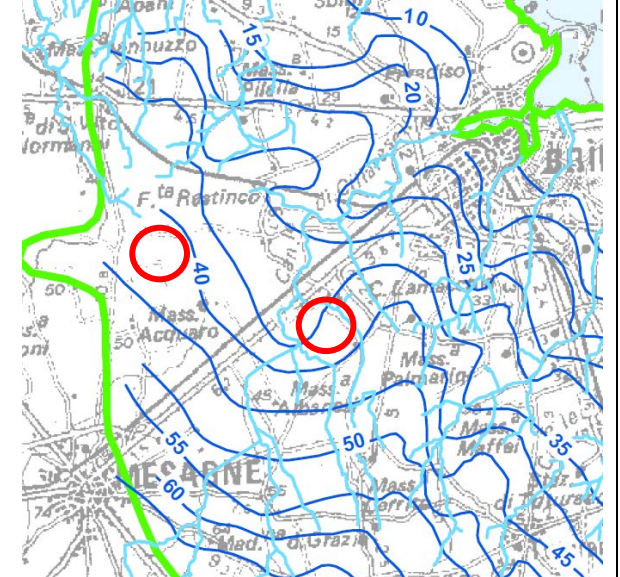
I corsi d'acqua attualmente sono a carattere temporaneo, a causa delle caratteristiche climatiche della regione e dell'elevato grado di permeabilità delle rocce. Le acque superficiali provenienti dalle Serre sono organizzate in reticoli relativamente estesi, ma durante il loro corso tendono a perdersi in zone di maggiore permeabilità, oppure si riversano in pozzi naturali di origine carsica.

La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata dalla presenza di due distinti sistemi la cui interazione tende a variare da luogo a luogo: il primo, più profondo, è rappresentato dalla falda carsica circolante nel basamento carbonatico mesozoico, fortemente fratturato e carsificato; il secondo, è costituito da una serie di falde superficiali, che si rinvengono a profondità ridotte dal piano campagna, ovunque la presenza di livelli impermeabili vada a costituire uno sbarramento.

**Fig. 4. Stralcio della Tavola della distribuzione dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia**



**Fig. 5. Stralcio della Tavola della distribuzione dei carichi piezometrici degli acquiferi porosi del brindisino**



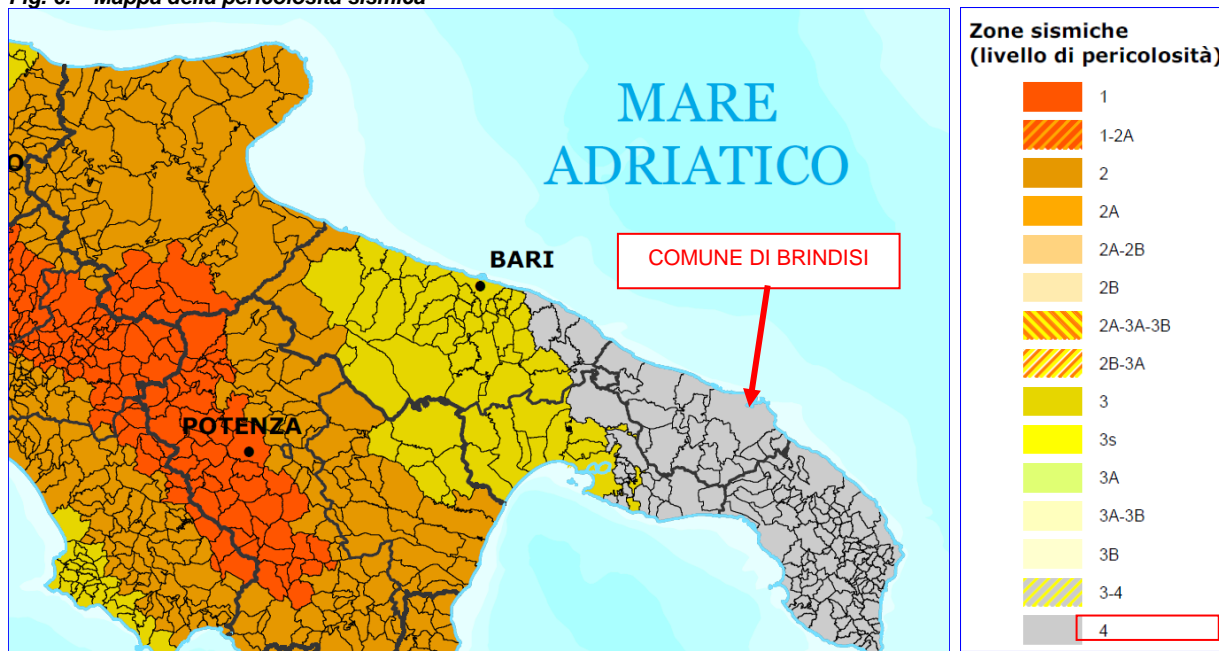
— Distribuzione media dei carichi piezometrici (m s.l.m.)

Dall'osservazione dei due stralci della distribuzione dei carichi piezometrici si evince che l'acquifero carsico si trova a circa 3m sul livello del mare e quindi a circa 35-43m dal p.c., mentre l'acquifero poroso si trova più in superficie ad una quota di circa 2-3m dal p.c..

### 3 CONSIDERAZIONI SISMOLOGICHE

Il comune di Brindisi con D.G.R. n. 1626 del 15.09.2009 ricade in **zona sismica 3** (*livello di pericolosità basso*).

Fig. 6. *Mappa della pericolosità sismica*



Sulla base delle indagini sismiche consultate è stato possibile stimare la categoria di suolo di fondazione per il sito in esame.

Dalle risultanze di prospezioni sismiche effettuate dallo scrivente nel territorio del comune di Brindisi su terreni analoghi, è emerso che tali tipi di terreni, dal punto di vista della caratterizzazione sismica, sono classificati in genere come categoria di suolo di fondazione di tipo “B”.

Alla luce delle attuali conoscenze si ritiene che non si pongono particolari problemi alla realizzazione dell’opera in oggetto. Naturalmente si terrà conto di quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni del Gennaio 2018 che all’opera si deve attribuire un’accelerazione massima orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di 0.05 g, pari ad un’accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico sulla formazione di base (suoli di categoria “A”) pari ad  $a_g=0.05g$ .

In particolare, le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l’OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell’azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

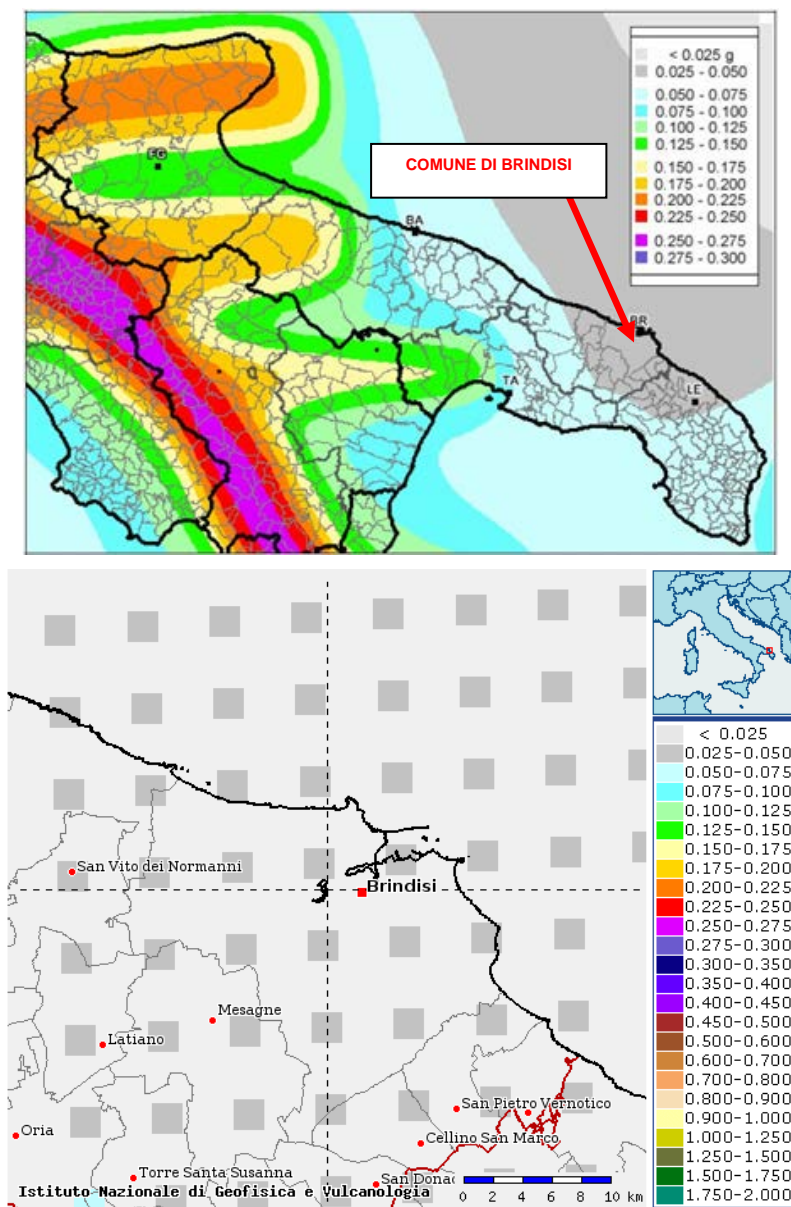
In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell’azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle “categorie di sottosuolo” e della definizione di una “pericolosità di base” fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l’intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di  $a_g$  e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica (fattore di amplificazione massima  $F_0$  e periodo di inizio del tratto a velocità

costante  $T^*_c$ ). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Secondo le NTC l'area strettamente in esame è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.025 - 0.050 g, come evidenziato nella figura in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A,  $V_s,eq > 800$  m/sec).

*Pericolosità sismica della Puglia (Fonte: INGV, Mappa della pericolosità sismica, 2006)*




**Fig. 7. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Ordinanza 3519-06)**

In questo caso il valore del fattore S che tiene conto delle condizioni stratigrafiche e geotecniche del sito è pari a: **S = 1.0.**

Per caratterizzare la sismicità del sito in argomento, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori:

- il terreno di sedime è rappresentato da terreno vegetale frammisto a deposito sabbioso-argilloso a cui seguono i depositi sabbioso argillosi debolmente cementati e, a partire da circa 6m di profondità, livelli e/o banchi arenaceo-calcarenitici mediamente cementati;
- nell'area in esame non sono presenti faglie o importanti fratture, attive, del substrato geologico;
- la falda freatica superficiale si rileva a partire da circa 2-3m a partire dal piano di indagine.

Alla luce della recente normativa “*Norme Tecniche per le Costruzioni D. Min. Infrastrutture*” 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8) di seguito si riportano i parametri di pericolosità sismica dell'area in cui sorgeranno le stazioni di smistamento:



Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
40.60204424	17.90006012
Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)
40.60372	17.901005
Altitudine (mt)	0
Classe dell'edificio	I: Costruzioni con presenza solo occasionale di pers
Vita Nominale Struttura	50
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	35

Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g$ [-]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività	30	0.014	2.322	0.150
Danno	35	0.015	2.322	0.163
Salvaguardia Vita	332	0.040	2.438	0.414
Prevenzione Collasso	682	0.050	2.512	0.483

Secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni del D.M. 17.01.2018 (NTC 18)*, all. A, l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica deve essere compatibile con le NTC, dotata di sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali. Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- “ $a_g$ ” accelerazione orizzontale massima al terreno;
- “ $F_o$ ” valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- “ $T_c^*$ ” periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 3.1 Individuazione della pericolosità del sito

Le NTC18 (Norme Tecniche delle Costruzioni) ridefiniscono il concetto di pericolosità sismica di riferimento e di conseguenza sono state ridefinite le azioni sismiche di progetto-verifica. Tramite il programma sperimentale (Spettri-NTC ver.1.03) è possibile determinare i relativi spettri di risposta, in funzione del sito e del tipo di costruzione, per ciascuno degli stati limiti previsti dalla normativa. La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un determinato sito. Può essere definita in termini statistici e/o probabilistici. Dal punto di vista statistico la severità di un evento sismico è descritta dalle curve di pericolosità.

Ogni sito del territorio nazionale è caratterizzato da proprie curve di pericolosità che presentano in ascissa una misura della severità del terremoto come ad esempio accelerazione di picco del terreno o  $S_e$  (ordinata della risposta spettrale in accelerazione) ed in ordinata la frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda=1/Tr$  ( $Tr$  è il periodo di ritorno del sisma espresso in anni) in scala logaritmica.

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE	LATTUDINE		
<input type="text" value="17,90006"/>	<input type="text" value="40,60204"/>		
REGIONE	PROVINCIA	COMUNE	
<input type="text" value="Puglia"/>	<input type="text" value="Bari"/>	<input type="text" value="Bari"/>	

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta || →

Variabilità dei parametri || →

---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri || →

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

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

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito



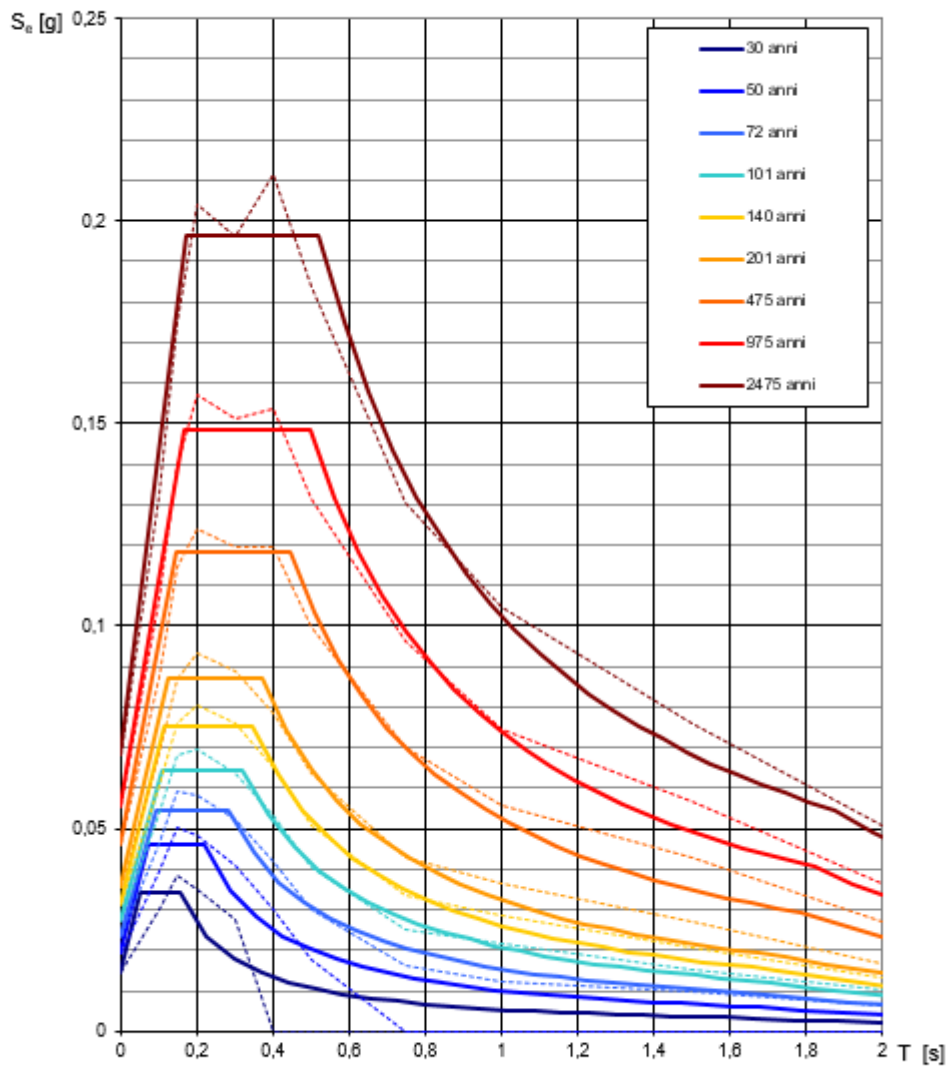
INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Una volta individuati tutti i parametri geografici (longitudine, latitudine, ecc.) sono visualizzati i quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito stesso.

I primi dati che si possono rilevare durante questa prima fase sono:

- i grafici degli spettri di risposta ottenuti in corrispondenza di ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 (pagina seguente);
- i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  in funzione del periodo di ritorno  $Tr$  (pagina seguente);
- la tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 che si riporta di seguito.

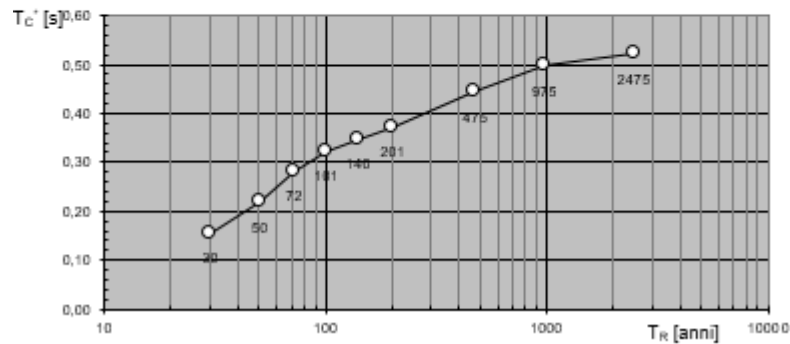
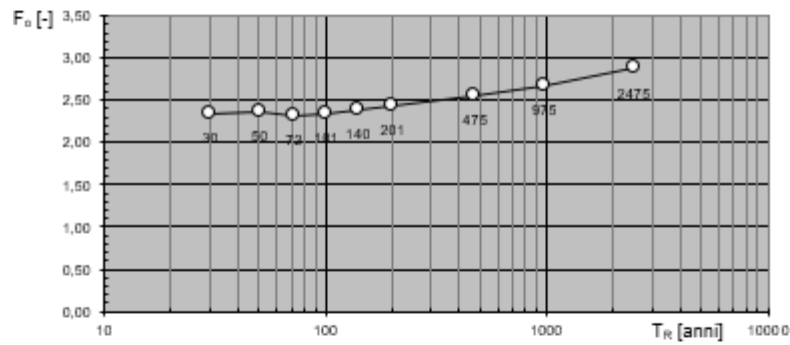
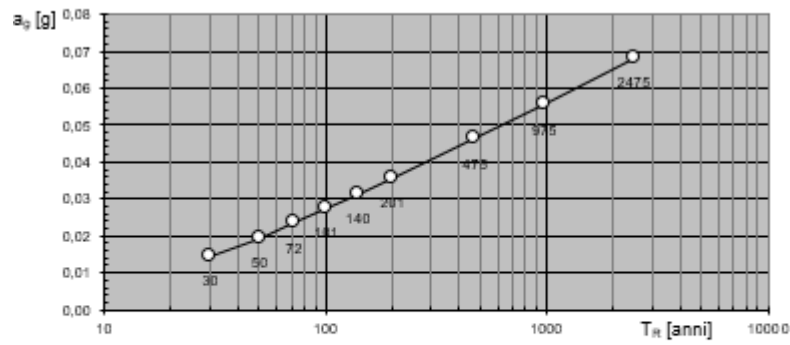
### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

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

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



Segue una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1

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

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,015	2,343	0,156
50	0,019	2,369	0,218
72	0,024	2,319	0,282
101	0,028	2,339	0,322
140	0,031	2,390	0,348
201	0,036	2,445	0,371
475	0,046	2,553	0,444
975	0,056	2,676	0,497
2475	0,068	2,877	0,522



### 3.2 Strategia di progettazione

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="35"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="332"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="682"/>

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

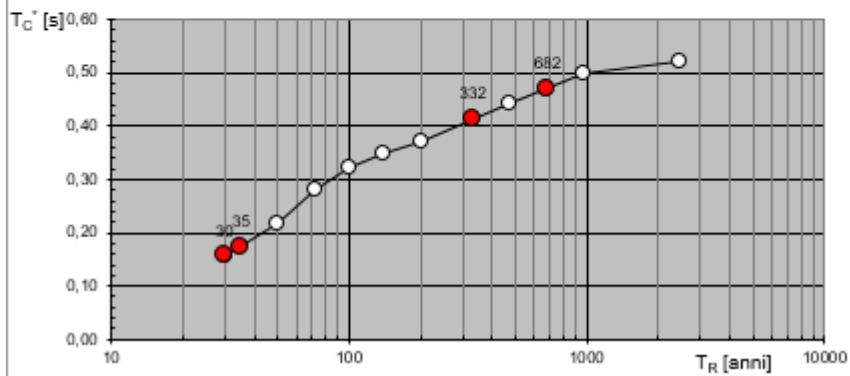
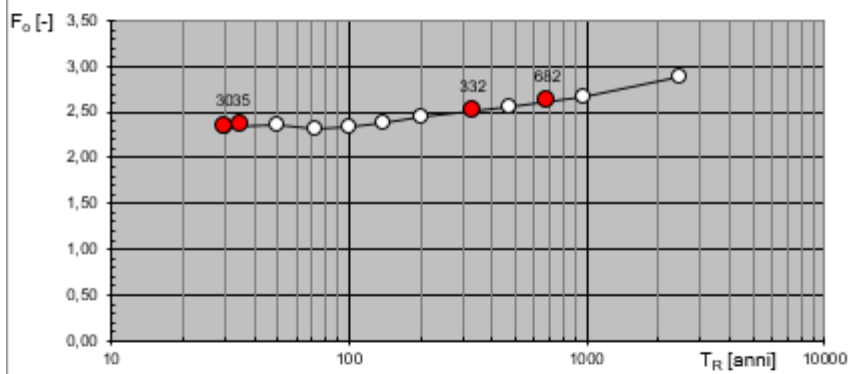
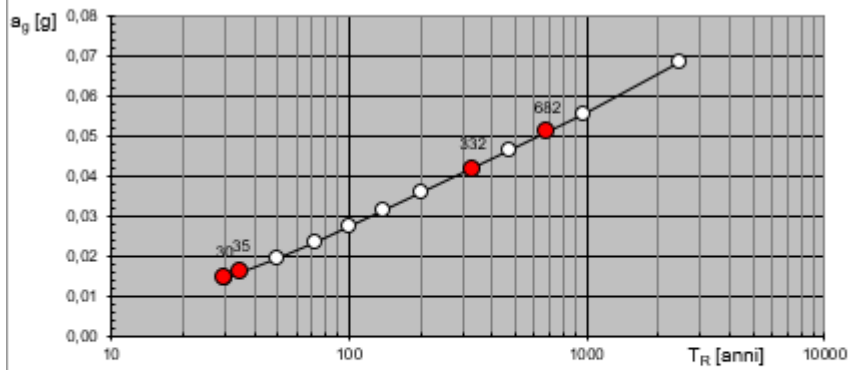
.....□..... Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

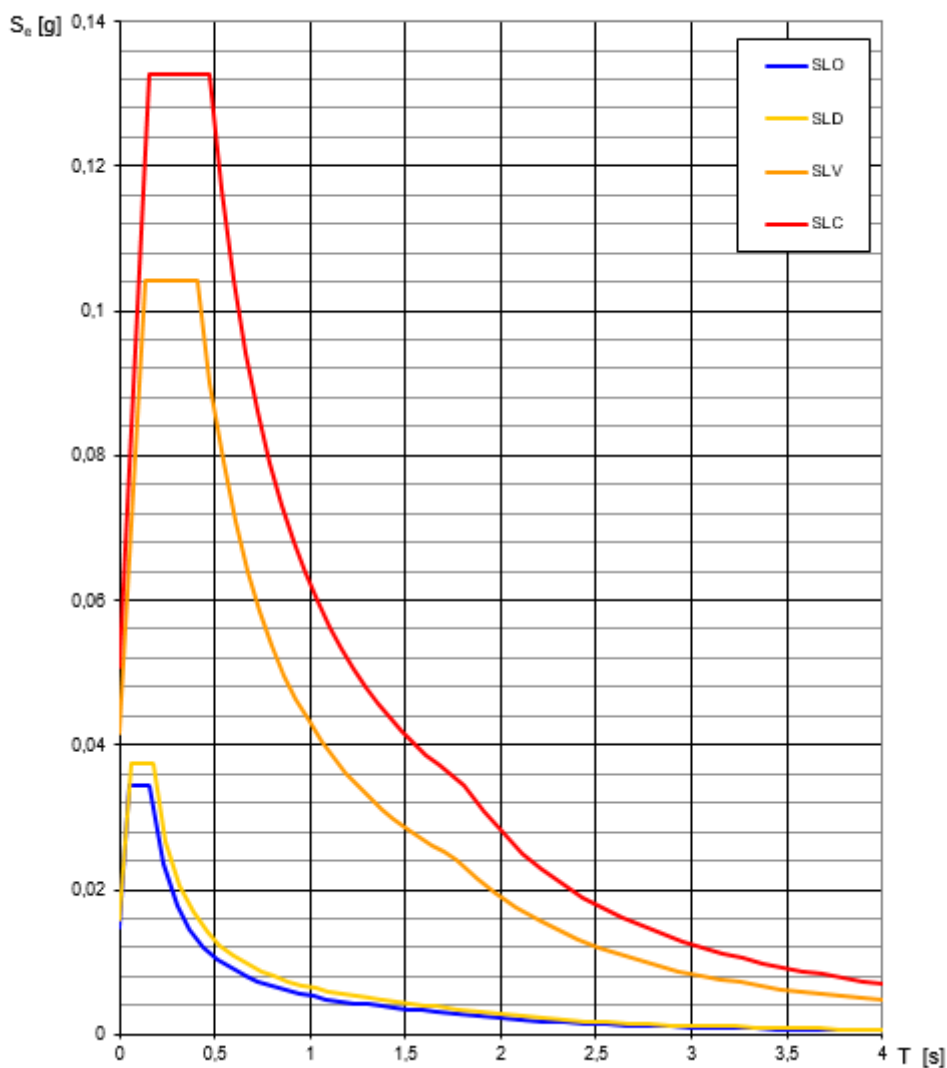
Il caso in esame è una struttura con **vita nominale  $V_N$  pari a 50 anni** ed appartenente alla **classe d'uso I** a cui, pertanto, corrisponde un **coefficiente d'uso della costruzione  $C_u = 0,7$** . In base a tali valori viene determinato il **periodo di riferimento per la costruzione  $V_r$**  che risulta in questo caso pari a **35 anni**.

Sono quindi stati calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limite previsti dalle NTC08. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in corrispondenza dei valori previsti per il periodo di ritorno dei quattro stati limite considerati.

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



### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



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

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,015	2,343	0,156
SLD	35	0,016	2,351	0,173
SLV	332	0,042	2,507	0,412
SLC	682	0,051	2,614	0,470

## 4 RISULTATI CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Nell'ambito del presente lavoro è stata condotta una campagna geognostica, consistita nell'esecuzione di:

- n. 4 prove penetrometriche del tipo DPSH, **DPSH01÷DPSH04**, spinti fino rifiuto;
- n. 2 prospezioni sismiche eseguita con tecnica MASW per la determinazione delle onde di taglio (S), (**MASW01** e **MASW02**) orientate opportunamente verso Nord per le quali sono stati utilizzati n. 24 geofoni con spaziatura inter-geofonica di 3.0m ed eseguiti due scoppi posti a 6.0m dal primo e dall'ultimo geofono; tale tecnica consentirà di stimare il valore delle  $V_{s,eq}$  e quindi attribuire al sottosuolo in esame una delle categorie di suolo di fondazione contemplata dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

L'ubicazione delle prove geognostiche è riportata nella tavola in **Allegato 01**.

### 4.1 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari a penetrare un determinato spessore di terreno. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Le prove DPSH hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima rispettivamente di 6.00 discretizzandolo in una serie di superfici a differente comportamento in funzione del numero di colpi misurati durante le fasi di avanzamento con un passo di 0.20m.

Di seguito, ai fini di una più agevole consultazione dei dati, sono stati sintetizzati i valori dei parametri geotecnici ritenuti di interesse. Sono stati considerati i parametri relativi a terreni incoerenti:

- "densità relativa" si è considerata la correlazione di *Skempton 1986*;
- "angolo di resistenza al taglio" si è considerata la correlazione *Meyerhof 1956*;
- "modulo edometrico" la correlazione considerata è quella di *Buisman-Sanglerat*;
- "modulo di Young" la correlazione considerata è quella di *Schultze-Menzenbach*;
- "peso unità di volume": la correlazione considerata è quella di *Meyerhof ed altri*;
- "peso unità di volume saturo": la correlazione considerata è quella di *Terzaghi-Peck*;
- "coesione non drenata": *Terzaghi-Peck*;
- "modulo di Poisson" si è considerata la correlazione *AGI*;
- "modulo di deformazione a taglio dinamico" si è considerata la correlazione di *Ohsaki*;
- "velocità onde di taglio" in questo caso specifico, essendo state eseguite prove geofisiche in sito, sono state omesse nel report della presente prova;
- "modulo di reazione" si è considerata la correlazione *Navfac 1971-1982*;
- "resistenza alla punta" si è considerata la correlazione di *Robertson 1983*.

I valori ottenuti del numero di colpi e dell'Rpd sono rappresentati in maniera grafica in **Allegato 02**.

## 4.2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Nel presente lavoro è stato preso in esame il metodo di prospezione sismica MASW 1D (Multichannel Analysis of Surface Waves) che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie: le onde di Rayleigh. Il metodo MASW impiega una sorgente artificiale appositamente creata, del tipo ad impatto verticale (massa battente di 8Kg).

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali (dotato di estensione a 48 canali), della "MAE" modello X610S, con acquisizione computerizzata dei dati e geofoni a frequenza di 4.5Hz (ad asse verticale).

Ai fini dell'interpretazione dei risultati delle indagini geofisiche è di fondamentale importanza la conoscenza geologica dell'area e la taratura delle prospezioni geofisiche con indagini di tipo diretto, così come è stato possibile fare in questo caso. Infatti, è possibile che terreni diversi siano caratterizzati dalle stesse velocità sismiche. Inoltre i ranges delle velocità delle varie formazioni sono molto variabili, in funzione delle condizioni locali.

Nell'**Allegato 03** sono esposti i risultati elaborati e interpretati della indagine MASW.

Il primo grafico mette in relazione le frequenze contenute nel segnale registrato con il reciproco della velocità di fase e il rapporto spettrale: permette di riconoscere l'energia delle Onde di Rayleigh e fissare i punti che rappresentano l'andamento della curva di dispersione, funzione della distribuzione della velocità negli strati del sottosuolo.

Nel secondo grafico, invece, è riportata la curva calcolata tramite l'inversione di un modello di sottosuolo, ottenuto per "aggiustamenti" successivi da un modello iniziale, cercando ovviamente di trovare la migliore corrispondenza con i punti prima individuati.

Nell'ultimo grafico, viene riportato il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S da cui è così possibile calcolare il valore di velocità delle onde S e di conseguenza caratterizzare il sito in una delle categorie di suolo di fondazione.

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione NTC 2018 è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il Vs,eq, ottenuto attraverso la seguente formula:

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

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_{s,i}$  = 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 Vs non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio si riferisce alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell'assetto geologico del sottosuolo.

Basandosi sulle indagini sismiche svolte è stata individuata la categoria del suolo di fondazione del sottosuolo in esame. In entrambi i profili Masw, che hanno raggiunto una profondità investigativa poco maggiore ai 30m non è stato individuato un substrato rigido caratterizzato da valori di Vs > 800m/s e pertanto, così come enuncia la nuova norma il valore del Vs,eq è definito dal parametro Vs,30

ottenuto ponendo  $H=30m$  nella attuale espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Come è possibile osservare dalle tabelle di calcolo sottostanti, in corrispondenza del MASW01, è stato ricavato un valore del  $422m/s < V_{s,eq} < 426m/s$ .

**STIMA DEL  $V_{s,eq}$  - MASW 01 – scoppio 1**

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
$h_1$	STRATO 1	2	234.00	$h_1/V_1$	0.009
$h_2$	STRATO 2	2.63	356.00	$h_2/V_2$	0.007
$h_3$	STRATO 3	6.63	435.00	$h_3/V_3$	0.015
$h_4$	STRATO 4	11.28	467.00	$h_4/V_4$	0.024
$h_5$	STRATO 5	7.46	494.00	$h_5/V_5$	0.015
<b>H</b>		<b>30</b>		$\Sigma h_i/V_i$	0.070

$V_{s,eq}$  (misurata) = 0.070 = 425.95 m/s  
 NON APPLICATO

**STIMA DEL  $V_{s,eq}$  - MASW 01 – scoppio 2**

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
$h_1$	STRATO 1	2	270.00	$h_1/V_1$	0.007
$h_2$	STRATO 2	2.5	415.00	$h_2/V_2$	0.006
$h_3$	STRATO 3	7.83	559.00	$h_3/V_3$	0.014
$h_4$	STRATO 4	9.92	690.00	$h_4/V_4$	0.014
$h_5$	STRATO 5	7.75	748.00	$h_5/V_5$	0.010
<b>H</b>		<b>30</b>		$\Sigma h_i/V_i$	0.052

$V_{s,eq}$  (misurata) = 0.052 = 574.97 m/s  
 NON APPLICATO

in corrispondenza del MASW02, è stato ricavato un valore del **456m/s < Vs,eq < 481m/s**

STIMA DEL Vs,eq - MASW 02 – scoppio 1					
Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h <sub>1</sub>	STRATO 1	2.9	266.00	h <sub>1</sub> /V <sub>1</sub>	0.011
h <sub>2</sub>	STRATO 2	3.8	308.00	h <sub>2</sub> /V <sub>2</sub>	0.012
h <sub>3</sub>	STRATO 3	4.9	464.00	h <sub>3</sub> /V <sub>3</sub>	0.011
h <sub>4</sub>	STRATO 4	10.8	562.00	h <sub>4</sub> /V <sub>4</sub>	0.019
h <sub>5</sub>	STRATO 5	7.6	598.00	7.6	0.013
<b>H</b>		<b>30</b>		Σ hi/Vi	0.066

<b>Vs,eq (misurata)</b>	=	<b>0.066</b>	=	<b>456.44</b>	<b>m/s</b>
<input type="checkbox"/> NON APPLICATO					

STIMA DEL Vs,eq - MASW 02 – scoppio 1					
Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S misurata)
h <sub>1</sub>	STRATO 1	4.2	287.00	h <sub>1</sub> /V <sub>1</sub>	0.015
h <sub>2</sub>	STRATO 2	5.3	402.00	h <sub>2</sub> /V <sub>2</sub>	0.013
h <sub>3</sub>	STRATO 3	6.8	564.00	h <sub>3</sub> /V <sub>3</sub>	0.012
h <sub>4</sub>	STRATO 4	8.7	603.00	h <sub>4</sub> /V <sub>4</sub>	0.014
h <sub>5</sub>	STRATO 5	5	617.00	h <sub>5</sub> /V <sub>5</sub>	0.008
<b>H</b>		<b>30</b>		Σ hi/Vi	0.062

<b>Vs,eq (misurata)</b>	=	<b>0.062</b>	=	<b>480.72</b>	<b>m/s</b>
<input type="checkbox"/> NON APPLICATO					

Da tale stima il sottosuolo investigato rientra nella categoria di suolo di classe “**B**” avendo ottenuto in valore del 360m/s < Vs,eq < 800m/s che viene nuovamente così definita dalle NTC 2018 “*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*”

## 5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

Si riporta di seguito, una breve descrizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sito. Si precisa che si tratta di dati derivati, oltre che dalla letteratura esistente, da correlazioni indirette basate sulla sola velocità di propagazione delle onde sismiche e pertanto sono da intendersi necessariamente indicativi.

<b>Sabbie argillose poco addensate (tra 0.0 e 5.0 m da p.c.)</b>	
<u>Parametri fisici</u>	
Peso per unità di volume totale	1.4 ÷ 1.8 gr/cmc
Peso per unità di volume saturo	1.7 ÷ 1.9 gr/cmc
Coefficiente di Poisson	0.37 ÷ 0.41
<u>Parametri meccanici</u>	
Coesione	0
Angolo di attrito	21 ÷ 27°
Modulo di Young	120 ÷ 300 Kg/cmq

<b>Sabbie argillose addensate (tra 5.0 e 10.0 m da p.c.)</b>	
<u>Parametri fisici</u>	
Peso per unità di volume totale	1.8 ÷ 1.9 gr/cmc
Peso per unità di volume saturo	1.9 ÷ 2.0 gr/cmc
Coefficiente di Poisson	0.34 ÷ 0.35
<u>Parametri meccanici</u>	
Coesione	0,0 ÷ 0,20 kg/cmq
Angolo di attrito	25 ÷ 35°
Modulo di Young	200 ÷ 7500 Kg/cmq

<b>Banco arenaceo-calcarenitico mediamente cementato (dai 10.0 m in poi.)</b>	
<u>Parametri fisici</u>	
Peso per unità di volume totale	1.8 ÷ 2.1 gr/cmc
Peso per unità di volume saturo	1.9 ÷ 2.1 gr/cmc
Coefficiente di Poisson	0.33 ÷ 0.34
<u>Parametri meccanici</u>	
Coesione	2 ÷ 5 kg/cmq
Angolo di attrito	30° ÷ 45°
Mod. di Young dinamico	2000 ÷ 5000 MPa
Mod. di taglio	1000 ÷ 2000 MPa
Coeff. Di Winkler	20 ÷ 60 Kg/cm



A titolo indicativo si riporta, nel prospetto seguente, la verifica della capacità portante dei pali di fondazione, tenendo conto dei seguenti dati di progetto.

- ❖ Struttura a vela per pannelli fotovoltaici: n. 84 moduli (max)
- ❖ Struttura portante moduli: n. 12 pali in c.a.;
- ❖ Diametro del palo: 20 cm
- ❖ Lunghezza del palo infissa nel terreno: 2,0 m
- ❖ Carico verticale sollecitante (peso strutturale dei pannelli su singolo palo): 160 kg

Per il calcolo della capacità portante è stato considerato il primo strato di terreno definito "Sabbie argillose debolmente cementate" i cui parametri fisici e meccanici sono riportati nelle tabelle precedenti. Nel prospetto seguente si riportano i calcoli eseguiti per la verifica agli Stati Limite Ultimi secondo l'Approccio 2 delle NTC2018.

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 0,20 (m) Area del Palo (Ap): 0,031 (m<sup>2</sup>)  
 Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 0,00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 2,00 (m)  
 Carico Assiale Permanente (G): 2 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 1 (kN)  
 Numero di strati 1 Lpalo = 2,00 (m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub> traz	
			γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>				
SLU	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
	A2+M1+R2	○	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60	
	A1+M1+R3	●	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25	
	SISMA	○	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25	
DM88			○	1,00	1,00	1,00	1,00	
definiti dal progettista			○	1,10	1,20	1,50	1,30	1,30

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

**PARAMETRI MEDI**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' med (kPa)	φ' med (°)	c <sub>u</sub> med (kPa)
1	2,00	sabbia argillosa poco addensata	17,00	0,0	24,0	0,0

Coefficients di Calcolo			
k	μ	a	α
0,59	0,45		0,90

**PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)**

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' min (kPa)	φ' min (°)	c <sub>u</sub> min (kPa)
1	2,00	sabbia argillosa poco addensata	17,00	0,0	24,0	0,0

Coefficients di Calcolo			
k	μ	a	α
0,59	0,45		0,90

**CARICO ASSIALE AGENTE**  
 $N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$   
 $N_d = 4.1 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE MEDIA**

base  $R_{b,cal \text{ med}} = 6.6 \text{ (kN)}$   
 laterale  $R_{s,cal \text{ med}} = 4.8 \text{ (kN)}$   
 totale  $R_{c,cal \text{ med}} = 11.4 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE MINIMA**

base  $R_{b,cal \text{ min}} = 6.6 \text{ (kN)}$   
 laterale  $R_{s,cal \text{ min}} = 4.8 \text{ (kN)}$   
 totale  $R_{c,cal \text{ min}} = 11.4 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**  
 $R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 3.9 \text{ (kN)}$   
 $R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s,cal \text{ min}}/\xi_4) = 2.8 \text{ (kN)}$   
 $R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 6.7 \text{ (kN)}$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**  
 $R_{c,d} = R_{b,d}/\gamma_b + R_{s,d}/\gamma_s$   
 $R_{c,d} = 5.3 \text{ (kN)}$

**Fs = R<sub>c,d</sub> / N<sub>d</sub>**  
**Fs = 1.30**

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il terreno di fondazione è costituito da sabbie argillose poco addensate entro la profondità di 5.0 m dal piano campagna e con livelli cementati fino alla profondità di 10 m, con caratteristiche meccaniche modeste. Dalle indagini eseguite in sito è stato possibile ricavare i principali parametri geotecnici degli orizzonti litotecnici rinvenuti e procedere alla calcolazione di massima della capacità portante delle fondazioni su pali. È opportuno specificare tale calcolo sarà eseguito dal progettista delle strutture, anche alla luce delle risultanze delle indagini e del dimensionamento definitivo delle opere.

Data l'entità delle opere a farsi, il terreno interessato dagli scavi sarà indicativamente quello compreso entro il primo metro da piano campagna, pertanto si prescrivono accorgimenti per le modalità di scavo in presenza di acqua sul fondo scavo, oltreché quelli minimi per la garanzia della sicurezza dei lavoratori in sito, in quanto data la natura sabbioso-argillosa del sottosuolo in esame è possibile che si formino localmente delle falde sospese.