



# REGIONE PUGLIA

## COMUNI DI RACALE E ALLISTE (LE)



### PROGETTO DEFINITIVO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO**, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).



#### COMMITTENTE:

**CASSIOPEA RINNOVABILI S.r.l.**  
 Largo Augusto 3 | 20122 Milano  
 P.IVA 11608260961

Società controllata al 100% da:  
 BayWa r.e. Italia S.r.l.  
 Largo Augusto, 3 | 20122 Milano



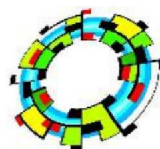
#### PROGETTISTI:



C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma  
 Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106  
 C.F e P.IVA 13457211004



#### CONSULENTI:



**VEGA** LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING

Vega Sas  
 Via Nicola delli Carri 46-71121 Foggia (FG)  
 tel 0861756251  
 CF e P IVA 02130210715



Elaborato:

**BYW-RCL-GEOT**

Codice Pratica:

**WX6U5Q7**

Oggetto:

**Relazione geotecnica**

Data: Gennaio 2023

Rev.	Data
0	26.01.2023

Scala



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

## INDICE

<b>1- Premessa e Inquadramento Normativo</b>	<b>Pag. 2</b>
<b>2- Inquadramento Area d'intervento</b>	<b>Pag. 6</b>
<b>2.1 -Ubicazione area d'intervento</b>	<b>Pag. 6</b>
<b>3- Inquadramento Geologico, Geomorfologico e Idrogeologico Regionale</b>	<b>Pag. 10</b>
<b>3.1 – Caratteri Morfologici</b>	<b>Pag. 10</b>
<b>3.2 – Caratteri Geologici</b>	<b>Pag. 11</b>
<b>3.3 – Caratteri Tettonici</b>	<b>Pag. 12</b>
<b>3.4 – Caratteri Idrografici</b>	<b>Pag. 13</b>
<b>4 – Caratterizzazione dei litotipi locali e assetto litostratigrafico</b>	<b>Pag. 14</b>
<b>4.1 - Geolitologia</b>	
<b>4.2 - Geomorfologia</b>	<b>Pag. 14</b>
	<b>Pag. 25</b>
<b>5 – Pianificazione ed esecuzione delle indagini</b>	<b>Pag. 30</b>
<b>5.1 – Metodologia di Indagini adottate</b>	<b>Pag. 30</b>
<b>5.2 – Risultati Indagine Geosismica</b>	<b>Pag. 32</b>
<b>6 – Successione Litostratigrafica</b>	<b>Pag. 34</b>
<b>7 – Sismicità</b>	<b>Pag. 45</b>
<b>7.1 – Inquadramento Sismico</b>	<b>Pag. 45</b>
<b>8 – Caratteri Fisico – Meccanici geotecnici del terreno</b>	<b>Pag. 54</b>
<b>9 – Conclusioni</b>	<b>Pag. 55</b>

## APPENDICE

<b>Risultati MASW</b>	<b>Allegato n. 1</b>
<b>Calcoli Portanza Palo</b>	<b>Allegato n. 2</b>



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

## **1 - PREMESSA**

Su incarico della proponente Società CASSIPEA RINNOVABILI S.r.l., con sede a Milano in Largo Augusto n. 3 – 20122 – C.F. e P.IVA 11608260961, la scrivente, *Dott.ssa Giovanna Amedei*, Geologa, iscritta all'O.R.G. della Puglia al n. 438 e con studio professionale in Rodi Garganico, alla Via Pietro Nenni n. 4, ha eseguito gli studi e redatto la presente relazione volta alla definizione del quadro geologico, geologico-tecnico ed ambientale dei terreni interessati dal “Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE)”

Nel dettaglio il progetto prevede la realizzazione di un impianto di generazione da fonte rinnovabile (solare) per una potenza totale in immissione richiesta di circa 18.000,0 kW, realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna da cabina primaria AT/MT RACALE CP e opere di e-distribuzione, il tutto secondo le caratteristiche tecniche complessive meglio esplicitate nella Relazione Descrittiva Generale a firma dei progettisti.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

È stata così programmata una campagna di studi nel rispetto del DM. 17.01.2018 - *Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»*, che ha previsto uno schema di lavoro come di seguito riportato:

- Inquadramento geologico dell'area, per la definizione delle caratteristiche geologiche, tettonico/strutturali generali, geomorfologiche e idrogeologiche generali - [pericolosità geologica del territorio];
- Rilevamento geologico di dettaglio, di un'area sufficientemente ampia, entro la quale ricade l'intervento in oggetto, per la definizione geologica, geomorfologica, idrogeologica locali, con particolare riferimento alla caratterizzazione della natura e del tipo di strutture sedimentarie dei corpi geologici presenti - [controllo litologico di dettaglio];
- Indagini geognostiche in sito, per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dalle opere in progetto - [accertamento litotecnico].
- Analisi delle indagini geognostiche, con l'interpretazione delle indagini di campagna e la valutazione delle proprietà elastiche e meccaniche dei terreni investigati [definizione portanza del terreno di fondazione].

Durante la fase preliminare di studio è stata effettuata una ricerca bibliografica alla quale è seguita un esame fotointerpretativo e un successivo rilievo di superficie per verificare lo stato dei luoghi e l'idoneità delle indagini geognostiche in questo caso già eseguite.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

La campagna di indagini già eseguita e riscontrabile nella relazione geologica è consistita in:

- n. 2 stendimenti sismici;

Dati Pregressi:

- dati di un pozzo sito poco più a sud;
- n. 2 saggi con escavatore meccanico spinti sino alla profondità di 3 mt dal p.c.;
- n. 3 prove penetrometriche limitrofe all’area di studio ed eseguite nell’ambito dello “Studio geologico-tecnico del territorio comunale di Racale per la redazione del nuovo PRGC”.

Le considerazioni tecniche conclusive sono state ponderate in funzione della conoscenza geologica della zona e dell’attendibilità dei dati ottenuti, operando con un giusto grado di cautela nella definizione delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, avvalendosi anche di studi pregressi realizzati nello stesso ambito di riferimento

Dal punto di vista Legislativo, invece, si sono tenute in debito conto le indicazioni programmatiche e tecniche, oltre che le norme, contenute nei seguenti provvedimenti:

---

***Decreto Ministeriale 14.01.2008 (G.U. 4 febbraio 2009 n. 29 – Suppl. Ord.) “Norme tecniche per le costruzioni”***

---



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Circolare 2 febbraio 2009;*

*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale, Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007*

*Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009, n. 617 (G.U. del 26 febbraio 2009, n. 47);*

*“Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008”. Eurocodice 7 –“ Progettazione geotecnica” –ENV 1997 –1;*

*D.G.R. 2 marzo 2004, n. 153 -L.R. 20/00 -O.P.C.M. 3274/03 – Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti -Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi*



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

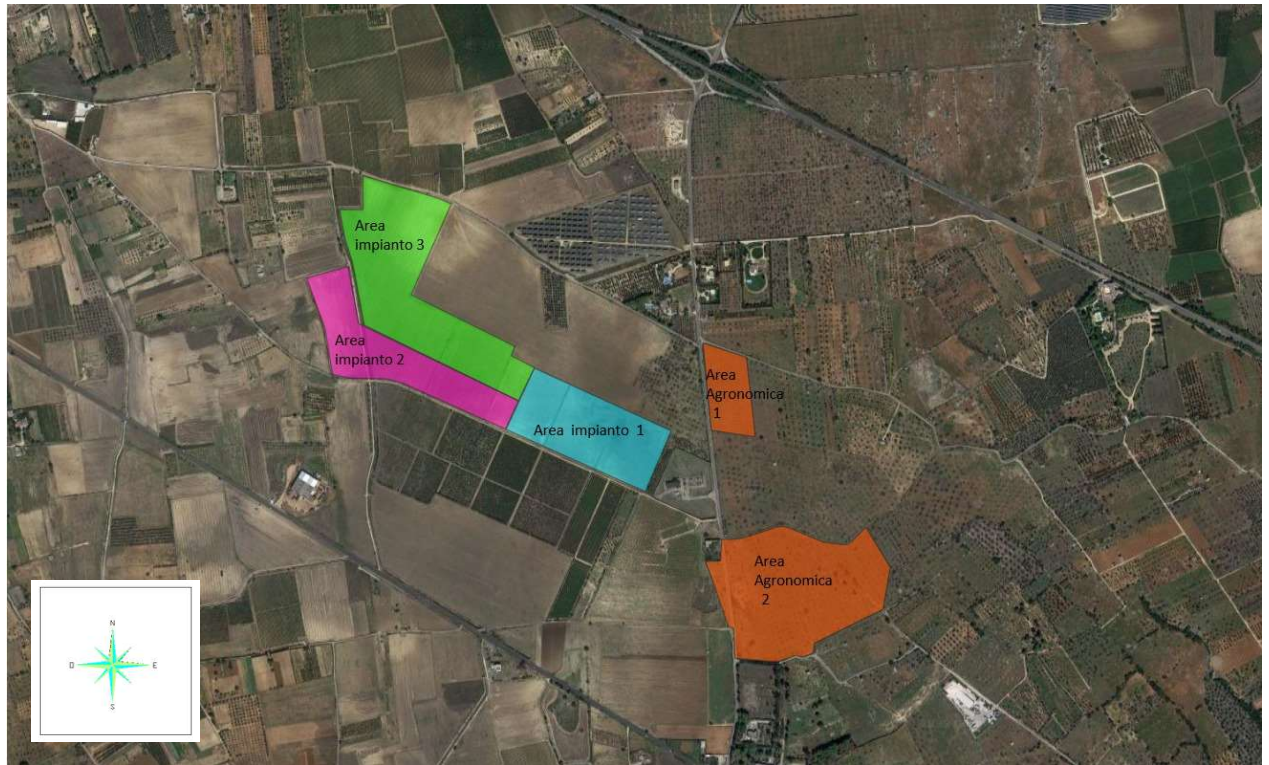
## **2- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

### ***2.1: Ubicazione Area d'intervento***

Il sito, ove si prevede di realizzare l'impianto fotovoltaico denominato "Racale", è localizzato nella regione Puglia, in provincia di Lecce, all'interno dei territori comunali di Racale ed Alliste (Fig. 1). Le aree previste per la realizzazione del lotto d'impianti FV (Area 1 in azzurro, Area 2 in magenta, Area 3 in verde) e di tutte le opere necessarie alla connessione alla rete elettrica e delle infrastrutture per la produzione di energia elettrica, sono situate a circa 1,4 km in linea d'aria a Sud-Est rispetto al Comune di Racale (LE) e a circa 1,0 km a Sud del Comune di Melissano (LE). L'area inoltre è adiacente alla Cabina Primaria "Racale", ubicata nel Comune di Racale (LE). Infine, le aree da destinarsi a progetto agronomico, ed in particolare all'espianto ed al rimpianto di ulivi, sono ubicate in parte nel comune di Racale ed in parte nel comune di Alliste.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).



**Fig. 1:** Stralcio su ortofoto dell'impianto FV con indicazione della connessione alla CP Racale in MT-20 kV

Dal punto di vista catastale l'area è inquadrabile secondo il prospetto allegato (Fig. 2):





*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

Riferimenti catastali			Superfici	Qualità	Classe
Comune	FG	P.IIa	mq		
Racale	24	55	25.850	Seminativo	2
	24	69	9.930	Vigneto	1
	24	123	6.480	Seminativo	1
	24	138	10.497	Seminativo	1
	24	155	7.340	Seminativo	2
	24	156	7.400	Seminativo	2
	24	157	4.600	Seminativo	2
	24	158	1.080	Seminativo	2
	24	159	9.455	Vigneto	1
	24	160	23.018	Vigneto	1
	24	161	8.120	Seminativo	1
	24	162	7.920	Seminativo	1
	24	163	10.336	Seminativo	1
	24	164	5.244	Seminativo	1
	24	165	3.230	Seminativo	1
	24	168	31.598	Seminativo	1
	24	195	8.840	Seminativo	1
			3.115	Uliveto	3



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).



**Fig. 2:** Stralcio Catastale area d'intervento



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

### **3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO REGIONALE**

#### ***3.1 – Caratteri Morfologici***

La parte estrema del salento mostra un paesaggio basso ed uniforme, con quote medie inferiori a 100 m. Un elemento morfologico di rilievo, strettamente connesso a fatti tettonici, è rappresentato da dorsali poco elevate, note localmente con il nome di "serre". Queste dorsali, la cui caratteristica principale consiste nell'asimmetria del profilo trasversale con il versante orientale più ripido di quello occidentale, sono allungate in genere da Nord-Ovest a Sud-Est e risultano intervallate da aree depresse subpianeggianti. Le Serre si sviluppano in particolare nei quadranti sud-occidentali del Salento, costituendo un unico e continuo rilievo che sfiora i 200 m di quota; esso è esteso all'incirca da Galatone a Gagliano del Capo ed è conosciuto con il nome di *Murge salentine*. La costa ionica, bassa, mostra un susseguirsi di spiagge separate da piccoli promontori calcareo/calcarenitici appena elevati sul mare. Nell'immediato retroterra ionico si notano, inoltre, lembi di terrazzi marini disposti a varie quote: le più basse di queste superfici, ubicate sui 10-15 m e sui 3-4 m sul mare possono essere collegate a variazioni glacioeustatiche del livello marino prodottesi nel corso dell'ultima glaciazione. Il carsismo epigeo è sufficientemente sviluppato, non mancano esempi di ampie doline e profondi inghiottitoi.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

### **3.2 – Caratteri Geologici**

Il basamento carbonatico della penisola salentina, correlabile per età e per facies con il “*Calcarea di Altamura*”, è non solo la parte meno sollevata della piattaforma apula, ma anche quella maggiormente interessata dall'attività tettonica. Essa appare in gran parte ricoperta da sedimenti calcarenitici di età terziaria. In discordanza angolare, ma senza lacuna, sui calcari cretacici della costa adriatica si rinvencono i *Calcari di Castro*, di tipo clastico-organogeno e di età paleocenico-oligocenica, caratterizzati dalla presenza quasi costante di breccie intraformazionali e da uno spessore molto variabile. Sedimenti miocenici in trasgressione sia sui calcari mesozoici che su quelli cenozoici ricoprono estese aree della parte meridionale della penisola (lato adriatico). Si tratta di due formazioni terrigene, tra loro parzialmente eteropiche, di età compresa tra il Langhiano e il Messiniano: le *Calcareniti di Andrano* e la cosiddetta *Pietra Leccese*. La prima è formata da calcareniti organogene e da calcari bioclastici, la seconda è una calcarenite a grana fine localmente marnosa. Trasgressive su formazioni più antiche, sono presenti, inoltre, coperture più o meno estese di depositi pliocenici e pleistocenici sia in facies marina costiera che in facies continentale (*Sabbie di Uggiano*, *Calcareniti di Gravina*, *Argille subappennine*, etc.).



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

### **3.3 – Caratteri Tettonici**

La penisola salentina presenta alture d'origine tettonica, dette *Serre*, allineate da Nord-Ovest verso Sud-Est. Le loro quote sono assai modeste, ma acquistano rilievo se rapportate alle aree adiacenti, topograficamente depresse ed anch'esse legate a fatti tettonici.

Il *Salento* ha dunque uno schema tettonico costituito da una successione di *horst e graben* di varia grandezza ed estensione, morfologicamente corrispondenti, rispettivamente, alle attuali *serre salentine* ed alle depressioni che le separano. Le ultime fasi tettoniche cretache crearono nella regione deformazioni disgiuntive e compressive principalmente lungo due direttrici: una "appenninica" e l'altra Sud Ovest–Nord Est. È probabile che questa fase tettonica abbia costituito la premessa per la formazione del sistema horst-graben e che abbia fatto emergere larga parte della penisola. I movimenti tettonici miocenici riportarono in condizione di sommersione le terre emerse, favorendo la sedimentazione di estesi corpi calcarenitici. Le fasi tardo mioceniche e plioceniche, riattivarono le faglie cretache interessando anche i terreni di età miocenica. Nel corso di questi ultimi due periodi e del Pleistocene inferiore, fenomeni di subsidenza e di innalzamento portarono più volte ampie zone del Salento al di sotto ed al di sopra del livello marino, favorendo la deposizione di materiali terrigeni erosi dalle terre emerse o l'erosione delle coperture più recenti ad opera degli agenti atmosferici. Nel Pleistocene medio, una nuova fase tettonica conferì alla regione una configurazione assai simile



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

all'attuale anche se fenomeni di ingressione e regressione, a seguito delle fasi glaciali (in particolare Riss e Wurm), consentirono il deposito di sedimenti costieri in aree marginali.

### ***3.4 – Caratteri Idrografici***

Oltre che di grandi rilievi, il Salento è povero di corsi d'acqua. Ciò è imputabile sia alle scarse precipitazioni che caratterizzano il clima della regione, sia alla natura del terreno, in prevalenza carsico, che assorbe rapidamente le acque meteoriche. Le acque di falda circolano, a pelo libero, pochi metri sopra il livello del mare. In quest'ultima parte della regione le acque dolci galleggiano su quelle salate dello Ionio e dell'Adriatico e la falda assume una caratteristica forma lenticolare con spessori massimi nella parte centrale della penisola.

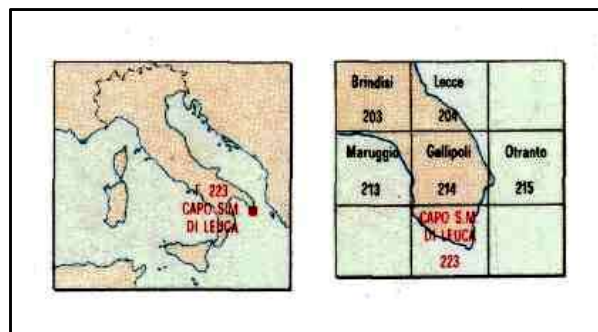


Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

## **4- CARATTERIZZAZIONE DEI LITOTIPI LOCALI** **E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO**

### ***4.1 - Geolitologia***

Dal punto di vista geologico il Comune di Racale rientra nel Foglio n. 223 "Capo Santa Maria di Leuca" della Carta Geologica d'Italia a Scala 1:100.000 (Fig. 3).

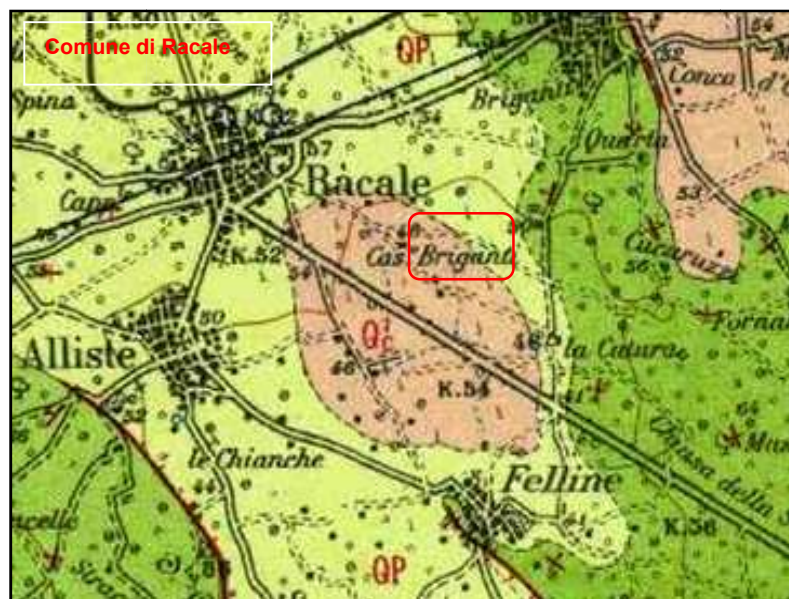


*Fig. 3: Ubicazione geologica dell'area – Scala 1:100.000*

In base alle caratteristiche riscontrate durante il rilevamento geologico di dettaglio della zona, opportunamente integrati con i dati bibliografici e i risultati delle indagini, i terreni dell'area d'intervento sono ascrivibili (Fig.4) in parte alla "Formazione di Gallipoli" e pro-parte sulla formazione delle "Calcareniti del Salento".

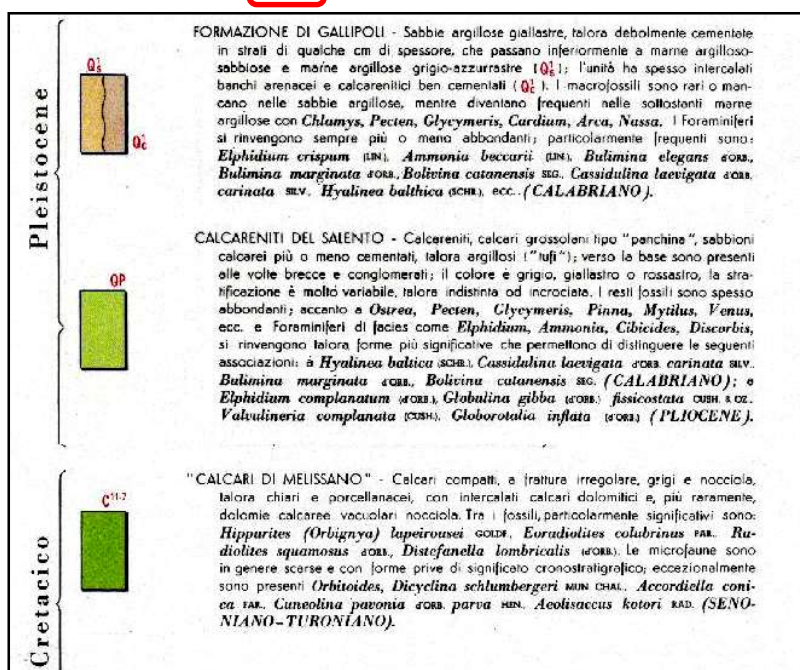


Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).



**Fig. 4:** Carta Geologica dell'Area con legenda - Scala 1:100.000

     area d'interesse





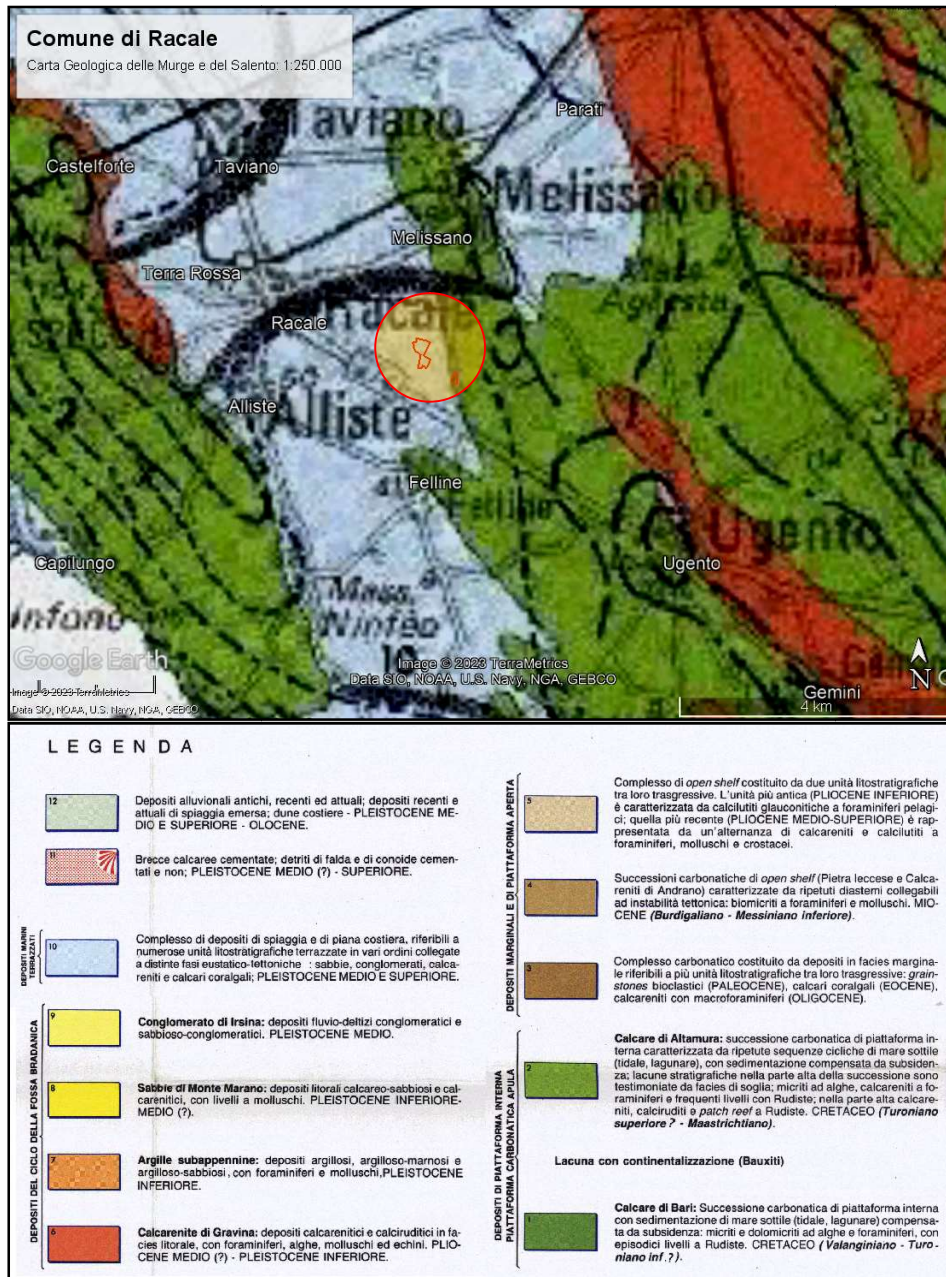


Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

Gli studi di Ricchetti e di Ciaranfi inquadrano negli anni '80-'90, l'evoluzione paleogeografica della regione salentina nel contesto di quella sedimentaria e tettonica *dell'Avampaese apulo* suggerendo denominazioni unificanti dei sedimenti, suddivisi in gruppi di unità litostratigrafiche, in relazione alle "sinonimie" per i precipui caratteri di facies che li caratterizzano. Questi lavori sono da considerare sintesi di lunghe ed interessanti ricerche portate avanti principalmente da Ricchetti in un arco temporale più che trentennale. La revisione proposta da Ricchetti riguarda, principalmente, una differente attribuzione alle suddivisioni riportate nei fogli della Carta Geologica d'Italia, là dove più unità sono riferite rispettivamente alle *Calcareniti del Salento* e alla *Formazione di Gallipoli*, sostituite con le *Calcareniti di Gravina*, le *Argille subappennine* e i *Depositi marini terrazzati*. Gli stessi Autori, nella Carta Geologica delle Murge e del Salento riferiscono le formazioni delle "Dolomie di Galatina" e "Calcari di Melissano" alla formazione del "*Calcare di Altamura*" del Cretaceo superiore. Nel 1988 viene pubblicata da N. Ciaranfi, P. Pieri e G. Ricchetti alla scala 1:250.000 la "Carta Geologica delle Murge e del Salento" (Mem. Soc. Geol. It. , 42) – Fig. 5



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).



**Fig. 5: Carta Geologica delle Murge e del Salento (Scala 1:250.00 modificata)**



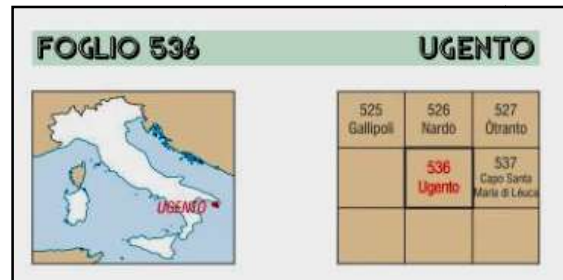
Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

Le Calcareniti del Salento (Calcareniti di Gravina sensu Ricchetti) costituiscono quindi il primo ciclo Pleistocenico (piano Siciliano) e trasgrediscono su formazioni differenti evidenziando con le stesse una più o meno evidente discordanza angolare. Questa unità è caratterizzata da un livello conglomeratico basale sul quale poggia una sequenza prevalentemente carbonatica e carbonatico detritica, più o meno grossolana, con colorazione variabile dal giallastro a tonalità bruno – rossastre, con stratificazione in genere ben evidente. Infine, risultato del glacioeustatismo pleistocenico – olocenico sono i Depositi marini terrazzati sensu Ricchetti 1993, anch’essi caratterizzati da sedimenti carbonatici a grana grossa ben stratificati e disposti quindi a terrazzi indicanti le relative variazioni del livello del mare. Interposte tra quei ultimi sedimenti e le Calcareniti del Salento si ritrovano a luoghi sedimenti argillosi che nella recente letteratura vengono riferiti alle Argille subappennine.

A seguito del progetto “CARG 2006”, ancora in fase di pubblicazione, reperibile sul sito dell’Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, è presente una nuova revisione della cartografia geologica d’Italia alla scala 1:50.000 del foglio 536 “Ugento” (Fig.6).



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*



**Fig. 6: Inquadramento Foglio 536 Carta Geologica**  
(scala 1:50.000)

Dalla detta cartografia geologica possiamo ricavare che il sito di interesse ricade su terreni ascritti (Fig. 7) al Formazione del Sintema di Alliste (ATE): costituisce una sottile ma estesa copertura sedimentaria riferibile a un ulteriore breve ciclo sedimentario, trasgressivo con giacitura paraconcordante sulle unità del Pleistocene inferiore (Calcarenite di Gravina; argille subappennine) e del Pleistocene medio (sintema di Pescoluse) e in discordanza sui calcari cretacei. Il contatto è visibile in corrispondenza di alcune incisioni naturali o di tagli artificiali presenti lungo il bordo inferiore dei rilievi carbonatici cretacei ed è generalmente contrassegnato dalla presenza di brecce e conglomerati in matrice calcarenitico-terrosa rossastra.

Il litotipo dominante è rappresentato da calcareniti a grana da fine a grossolana semicoerenti, di colore grigio-giallastro scarsamente macrofossilifere, in strati e banchi discontinui e tipica struttura laminare centimetrica planare, generalmente parallela alla stratificazione. In superficie, lo spessore non supera i 10 metri; nel sottosuolo sono stati raggiunti va-



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

lori di poco superiori, sino a un massimo di 15 metri. Al tetto di questa unità si individua una estesa superficie subpianeggiante situata a quote intorno ai 50 metri. In corrispondenza dell'abitato di Racale, da questa superficie si elevano due caratteristici rilievi arginiformi falcati, con creste che raggiungono la quota massima di 58 metri, disposti specularmente e in direzione trasversale all'allungamento della piana con le estremità agganciate ai bordi degli opposti rilievi carbonatici cretacei. Si tratta di antichi cordoni litoranei (ATEd), in parte smantellati dall'erosione, costituiti da depositi calcarenitici e calciruditici con tipica giacitura a festoni, di probabile origine eolica nella parte sommitale. Alcune sezioni si osservano percorrendo le rotabili che si diramano dall'abitato di Racale nonché a margine delle stesse vie urbane. Il contenuto paleontologico è rappresentato da associazioni macro e microfossilifere banali e oligotipiche costituite da limitate presenze di conchiglie di lamellibranchi, in particolare pettinidi e cardidi, nonché gusci di foraminiferi bentonici (*Ammonia sp.*, *Amphistegina sp.*, *Cibicides sp.*, *Discorbis sp.*, *Elphydium sp.*) di ambiente costiero e di clima temperato. Nei depositi dei cordoni litoranei, riferibili alla fase regressiva del ciclo sedimentario, sono presenti accumuli lentiformi di conchiglie "spiaggiate" di molluschi marini e frequenti bioturbazioni (burrow) prodotte da crostacei (*Callianassa sp.?*; *Ocypode sp. ?*). L'ambiente di sedimentazione è riferibile a un basso fondale variabile da intertidale (litofacies calcarenitiche laminari e algali) a subtidale (cordo-

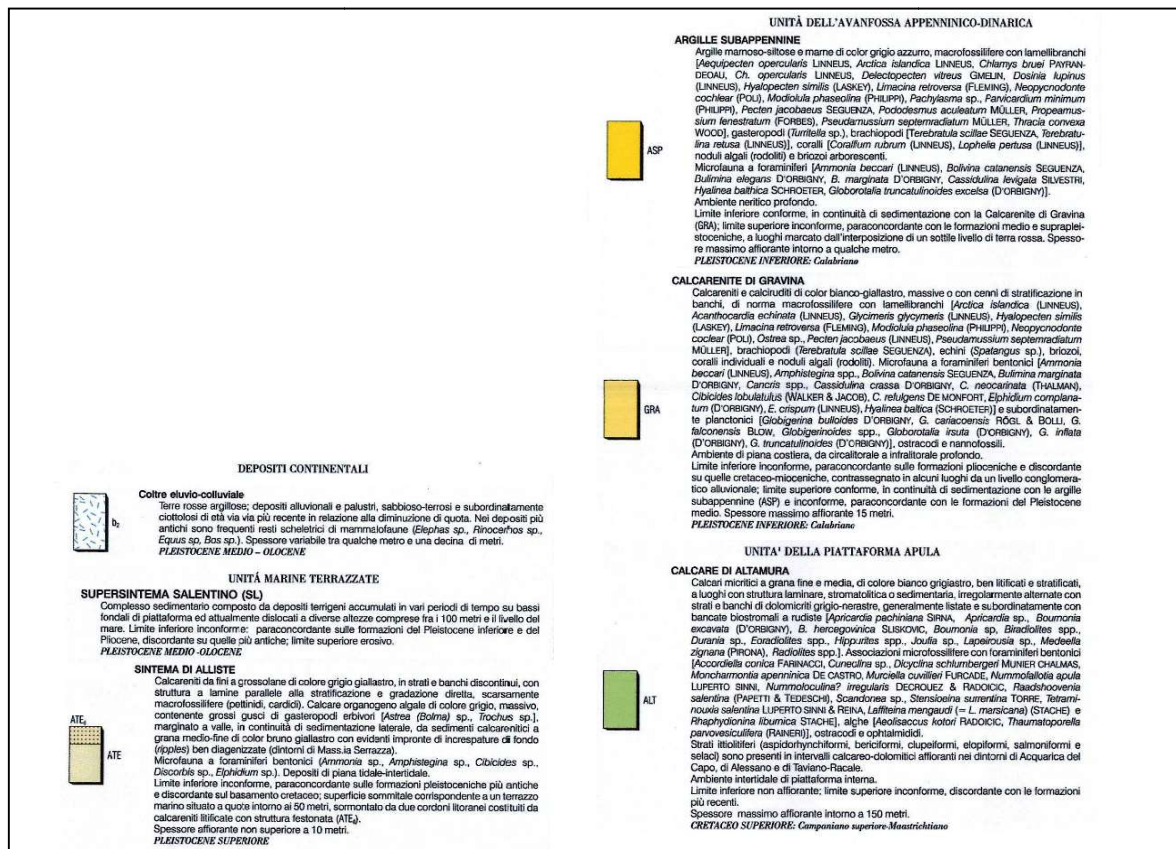
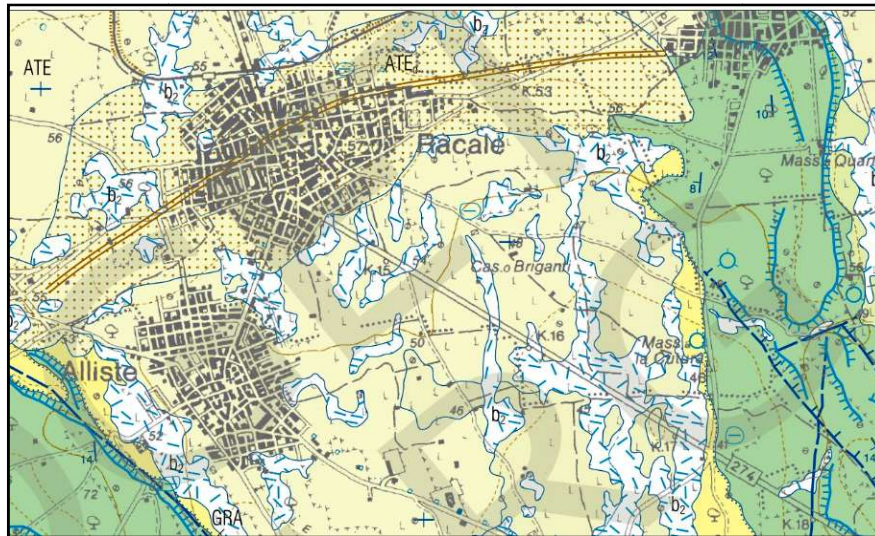


Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

ni litoranei e depositi con increspature di fondo) in relazione con le fasi ingressiva e regressiva dello stesso ciclo sedimentario. I sedimenti del sistema di Alliste non contengono associazioni fossilifere indicative dal punto di vista cronologico; sulla base sia dei rapporti stratigrafici con le unità sottogiacenti e sovrastanti sia della posizione altimetrica possono essere genericamente riferiti al Pleistocene superiore.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

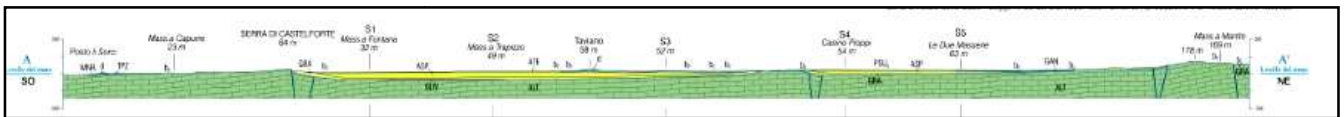


**Fig. 7: Stralcio Carta Geologica – Tratto da Progetto CARG – Scala 1:50000**

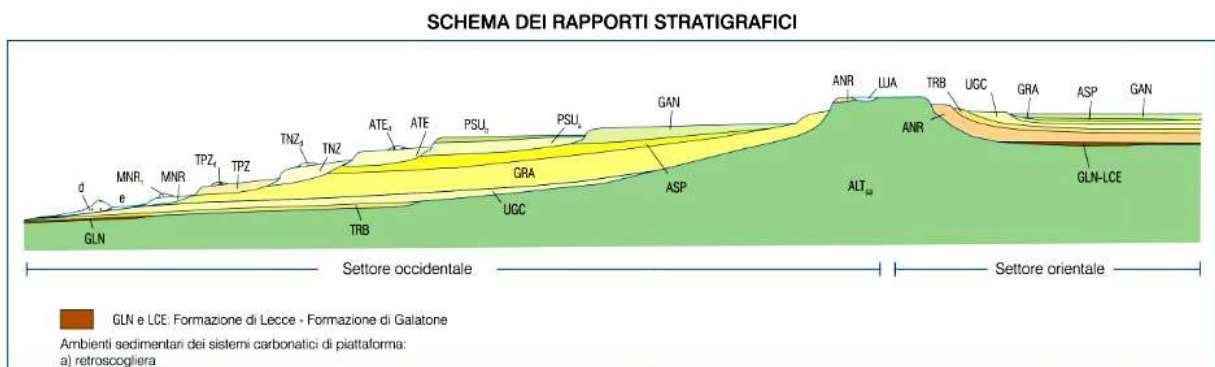


Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

In Fig. 8a, 8b sono riportati lo schema stratigrafico e le sezioni che evidenziano i rapporti tra la formazione affiorante nell'area di progettazione e le altre litologie territoriali.



**Fig. 8a:** Sezione Geologica delle formazioni affioranti



**Fig. 8b:** Schema dei rapporti stratigrafici delle formazioni affioranti

Dal punto di vista tettonico, a scala di rilevamento, non si ha il riconoscimento di lineazioni tettoniche e/o strutturali anche per la tipologia delle formazioni affioranti che, per loro natura e giacitura, di depositi sciolti o al più debolmente cementati non subiscono un comportamento fragile alle deformazioni.





Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

La mancanza di faglie di una certa rilevanza è confermata anche dalla consultazione di ITHACA – Catalogo delle Faglie Capaci, che evidenzia come l'area non sia interessata da faglie dirette né risente di faglie nelle vicinanze (Fig. 9)



**Fig. 9:** Faglie prossime all'area d'intervento - (Tratta da: ITHACA – Catalogo delle Faglie Capaci - ISPRA-Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia - <http://sgi.isprambiente.it>)



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

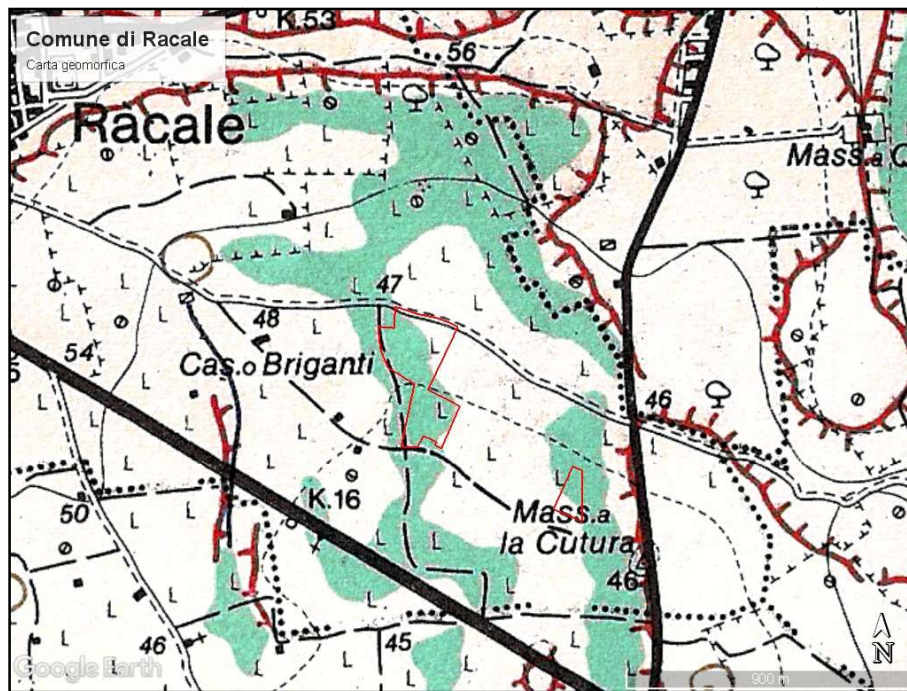
## **4.2 Geomorfologia**

L'area in esame, compresa tra Casino Briganti e Masseria la Cotura, giace tra quote comprese intorno ai 45 m s.l.m.; il territorio presenta una generale inclinazione verso i quadranti meridionali, con pendenze modeste e minori del 5% che a luoghi risultano piane e/o blandamente ondulate. Gli elementi del rilievo riportati nella carta geomorfica allegata e ricavati dall'analisi di fotografie aeree redatta da Ricchetti nel 1987 sono stati integrati con controlli sul terreno. I caratteri naturali del rilievo sono stati contraddistinti mediante una rappresentazione convenzionale con simboli grafici corrispondenti alle principali forme lineari (Fig. 10):

- in colore rosso: cigli di scarpate, gradini, ripe di solchi erosivi;
- in colore azzurro: solchi torrentizi e linee di deflusso;
- in colore verde acqua le aree alluvionali.



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*



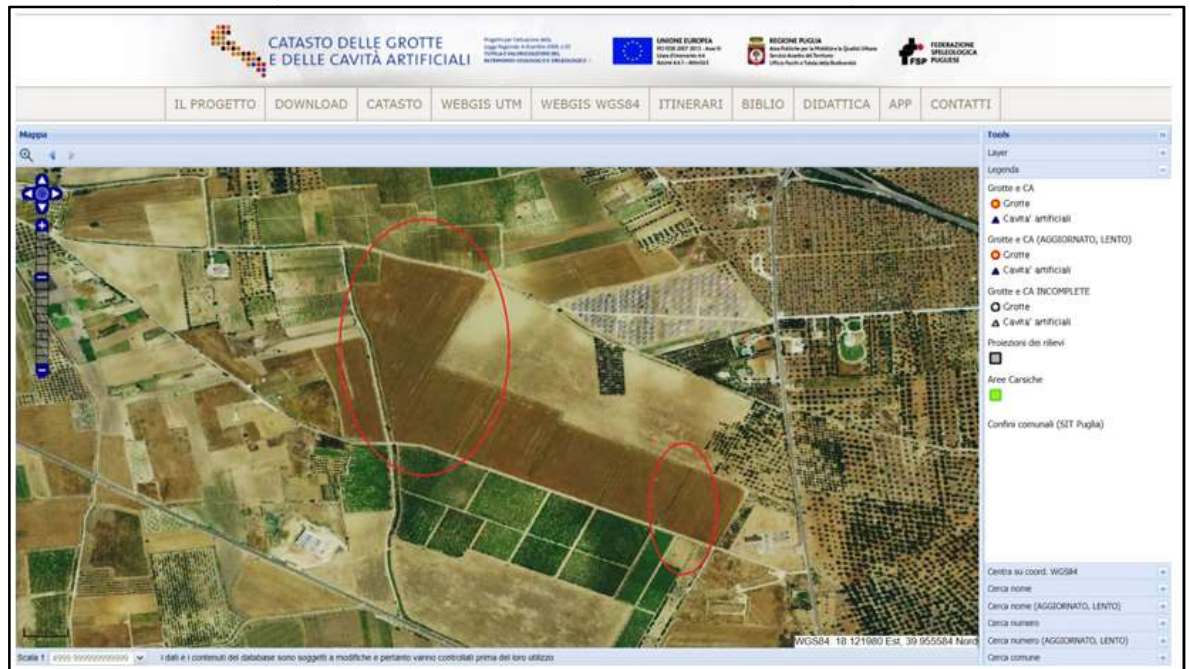
**Fig. 10:** Carta geomorfica

In corrispondenza dell'abitato di Racale, è possibile osservare un rilievo arginiforme. Questo modesto rilievo è elevato di qualche metro rispetto ai ripiani laterali e corrisponde a un tombolo formato da un antico cordone litoraneo sormontato da una duna parzialmente smantellata.

Dal controllo sul catasto delle grotte e delle cavità superficiali emerge che nell'area di progetto non risultano segnalate grotte e cavità artificiali (Fig. 11).



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

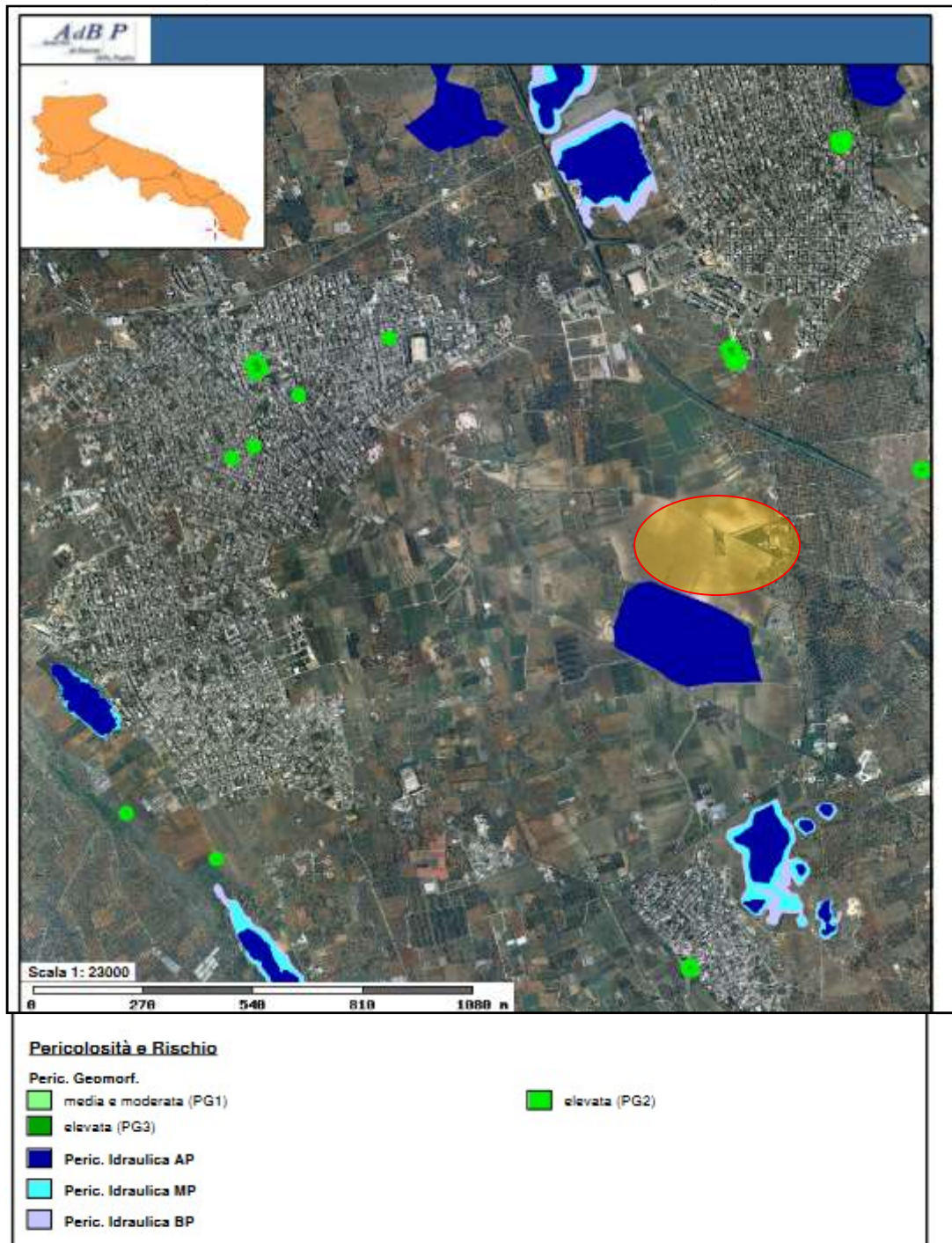


**Fig. 11:** Stralcio catasto grotte – Tratto da <http://www.catasto.fspuglia.it/webgis/viewport-latlon.html>

Allo stato attuale nell'area d'intervento non si evidenziano significativi segni di erosione, fenomeni gravitativi o fenomeni superficiali di dissesto in atto, presentandosi globalmente stabile. Tale status è confermato dalla consultazione della Carta Idrogeomorfologica dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale dalla quale si rileva come l'area non risulti classificata né a pericolosità geomorfologica né idraulica, come riportato in Fig. 12



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espanto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*



**Fig 12: Aree sottoposte a vincolo P.A.I. - AdB Regione Puglia**



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

Preme in proposito evidenziare che, in relazione alle opere previste ed in virtù delle caratteristiche geologiche, stratigrafiche e geomorfologiche descritte, oltre che delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni interessati dalle opere così come desumibili da dati di letteratura, è possibile sin d'ora escludere ragionevolmente eventuali interferenze negative delle opere con il quadro geostrutturale locale.

Va in tal senso rilevato che dalla consultazione della banca dati I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) non risulta censito per le aree in esame alcun dissesto né in atto né storico.

Pertanto, sulla base delle informazioni e dei dati sinora desunti dall'analisi delle condizioni geomorfologiche, geologiche, e geostratigrafiche dei luoghi è possibile affermare che le aree risultano :

- geomorfologicamente stabili;
- non interessate da fenomeni erosivi, da frane o da instabilità del suolo o del sottosuolo;
- caratterizzate dalla presenza di substrati costituiti da litotipi dotati di sufficienti caratteristiche di resistenza geomeccanica.



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

## **5. PIANIFICAZIONE DELLE INDAGINI**

Ai fini della definizione di un quadro geologico preliminare, sono stati eseguiti 2 stendimenti sismici, oltre che studi e indagini geologiche pregresse come i dati di un pozzo sito poco più a sud, i risultati di due saggi con escavatore meccanico spinti sino alla profondità di 3 mt dal p.c. e quelli di n. 3 prove penetrometriche limitrofe all'area di studio ed eseguite nell'ambito dello "Studio geologico-tecnico del territorio comunale di Racale per la redazione del nuovo PRGC".

Le indagini sono riportate alla Fig. 13



***Fig. 13: Ubicazione Indagini***



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

### **5.1 Metodologie di indagini adottate**

Ai fini della definizione del profilo stratigrafico dei terreni di fondazione sono stati realizzati n. 2 stendimenti sismici per la determinazione delle  $V_{S30}$ . Nello specifico ogni prospezione sismica ha visto la realizzazione di un profilo di tipo MASW, avente uno sviluppo di 24 m lineari. E' stato utilizzato un sismometro a rifrazione tipo M.A.E.-A6000S, in configurazione a 24 canali con acquisizione computerizzata dei dati, massa battente di 10 kg quale sorgente generatrice di onde sismiche e sensori (geofoni) con frequenza di 4,5 Hz; questo ha permesso di caratterizzare elastomeccanicamente i terreni in posto. Il profilo ha avuto una lunghezza complessiva di 24 m, con offset di 3 m e interdistanza geofonica pari a 1 m. L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. E' stata parametrizzata la velocità delle onde  $V_s$  in profondità ricavando un “**modello di velocità del sottosuolo**” correlabile con i diversi litotipi presenti in profondità.





Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

I risultati delle indagini sismiche sono riportati nella relazione sismica in appendice

### **5.2 Risultati Indagine Geosismica**

La topografia della superficie del sito investigato è sostanzialmente pianeggiante e quindi non è stato necessario correggere le quote di acquisizione. Il rumore ambientale rilevato è stato assolutamente trascurabile. Per tutte le stese si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, la cui origine è posta in corrispondenza dell'endshot esterno al 1° geofono.

L'elaborazione si è sviluppata in due fasi:

- 1) determinazione della curva di dispersione e valutazione dello spettro di velocità;
- 2) Inversione della curva di dispersione interpretata con picking della curva di dispersione, vale a dire che sono stati selezionati i punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale con successiva applicazione di algoritmi genetici.

La sovrapposizione della curva teorica e sperimentale fornisce un parametro abbastanza indicativo sull'attendibilità del modello geofisico risultante. Dall'esame dei profili sismici si mette in evidenza una sostanziale omogeneità della successione litologica, pur osservando variazioni degli spessori delle singole unità litostratigrafiche che



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

possono essere messe in relazione alle modalità di sedimentazione e alle diverse lavorazioni agricole. In particolare emerge un modello costituito da una sola unità sismostratigrafiche con le seguenti caratteristiche:

<i>Nr.</i>	<i>H (m)</i>	<i>hi (m)</i>	<i>V<sub>S</sub>(m/s)</i>
1	1,50	1,50	250,00
2	5,50	4,00	390,00
3	30,00	24,50	660,00

*Nr* = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
*H* = profondità, *hi* = spessori, *V<sub>S</sub>* = velocità onde di taglio.

*Risultati finali.*

<i>N<sub>f</sub></i>	<i>Z<sub>pf</sub> (m)</i>	<i>V<sub>S,eq</sub> (m/s)</i>	<i>Categoria</i>
<b>1</b>	<b>2,00</b>	<b>607,43</b>	<b>B</b>

*N<sub>f</sub>* = livello, *Z<sub>pf</sub>* = profondità del livello di fondazione.

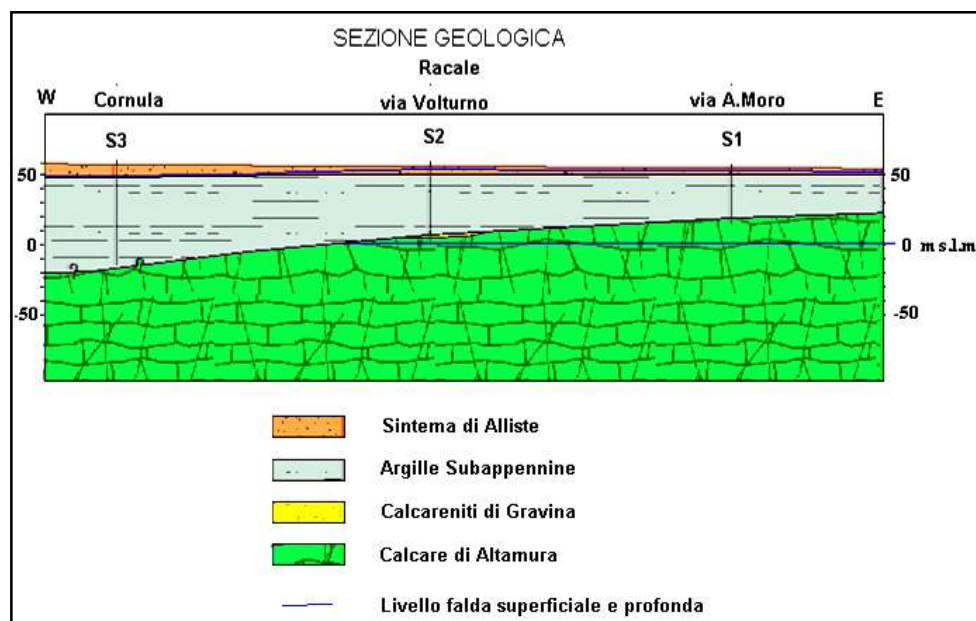


*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

## **6 - SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA**

Il rivelamento di campagna unito alle indagini eseguite e pregresse ha confermato i dati rinvenibili in letteratura e cioè la presenza di una sequenza di natura prevalentemente calcarenitica.

L'analisi delle stratigrafie, ottenute da sondaggi sismici e confrontate con indagini pregresse, consente di definire che i terreni in esame, nella loro variabilità granulometrica e nei rapporti geometrici verticali, pur nella tipica eterogeneità, mostrano una sostanziale uniformità che permette di inquadrarli nelle unità litotecniche rappresentate nella Fig. 14:



**Fig. 14:** Sezione rappresentativa delle unità litotecniche dell'area di progetto



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

La successione verrà nel seguito descritta adottando un ordine cronologico vale a dire dal basso verso l'alto ed è composta dai seguenti litotipi:

- CALCARI : Calcari di Altamura (Cretaceo superiore);
- CALCARENITI : Calcareniti di Gravina (Pleistocene inferiore);
- ARGILLE : Argille subappennine (Pleistocene inferiore);
- SABBIE : Sintema di Alliste (Pleistocene superiore)
- TERRENO VEGETALE: Depositi eluviali (Pleistocene med. – Olocene).

A) CALCARI (Calcere di Altamura – Calcere di Melissano) Cretaceo sup.

Questa formazione, cronologicamente riferita al Cretaceo superiore, è una delle unità litostratigrafiche costituenti il basamento carbonatico mesozoico pugliese ed affiora diffusamente sui rilievi collinari e sulla scarpata della “Serra degli Specchi”. Questi litotipi non affiorano nell’area di interesse, ma si rinvencono in profondità dove sono stati intercettati per la trivellazione di pozzi profondi.

La potente formazione carbonatica rappresenta il basamento rigido dell'intera regione su cui giacciono in trasgressione i recenti sedimenti pleistocenici.

La successione stratigrafica è rappresentata da strati e banchi di



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

calcari compatti e tenaci, da calcari-dolomitici e da dolomie; tali sedimenti sono ascritti in letteratura ai "Calcari di Melissano" nella Carta Geologica Ufficiale 1:100.000 da B. Martinis, mentre nella Cartografia del CARG 1:50.000 sono riferiti ai "Calcari di Altamura" e sono datati al Cretaceo Sup..

Dal punto di vista petrografico i termini calcarei sono costituiti da micrite normalmente associata a resti di microrganismi planctonici e bentonici, il tutto cementato da sparite. I termini dolomitici sono invece costituiti da cristalli di dolomite e da frazioni residue di elementi calcitici, in quantità variabile in funzione del grado di dolomitizzazione subito dalla roccia. Dal punto di vista litologico si tratta di calcari dolomitici avana o nocciola, compatti e tenaci, in strati e banchi, talora riccamente fossiliferi, cui si alternano livelli dolomitici di colore grigio. L'origine è biochimica per i calcari, mentre è secondaria per le dolomie. La stratificazione è sempre evidente, con strati di spessore variabile da 5 a 50 cm, talora si rinvengono banchi superiori al metro. L'immersione risulta in genere verso OSO con pendenze comprese fra 5 e 10°, raramente raggiungono anche i 15°. Queste piccole variazioni di immersione danno luogo a deboli ondulazioni del corpo stratigrafico, mentre la fratturazione, localmente anche intensa, da origine ad una rete di fessure che conferisce alla formazione in parola una generale permeabilità in grande. Dalla trivellazione del pozzo per ricerca petrolifera "Ugento 1" realizzata dall'AGIP, è possibile evidenziare come lo spessore massimo riferito ai



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

“Calcari di Melissano” si aggira intorno ai 640 metri. Alla base di tale formazione si rinvencono le “Dolomie di Galatina”. Il passaggio fra le due formazioni avviene con molta gradualità, infatti con l’aumentare della profondità tende ad aumentare la percentuale di dolomia, fino a diventare prevalente nelle Dolomie di Galatina. Oggi tali formazioni sono state riunite sotto il nome formazionale di “Calcari di Altamura”. Per quanto riguarda il loro ambiente deposizionale, esso è di mare poco profondo, di piattaforma. Inoltre, considerati gli spessori molto potenti, è evidente che l’ambiente di sedimentazione è rimasto pressochè immutato per effetto di una costante subsidenza.

Gli eventi tettonici hanno prodotto nei "Calcari di Altamura" una serie di discontinuità sotto forma di fratture prevalentemente allungate da NNW a SSE, tali da frammentarne l'originaria compattezza. La formazione è dunque interessata da fratturazioni sub-verticali, con presenza di diaclasi e leptoclasie che, avendo andamento normale ai piani di strato, rendono, talvolta, la roccia brecciata e scomponibile in solidi di forma geometrica. Spesso l'Unità è interessata da effetti del fenomeno carsico sotto forma di doline e inghiottitoi in superficie, e da meati, vacuoli, fessure e cavità che a varie altezze formano una fitta ed eterogenea rete di condotte ipogee. In queste circola l'acqua: saltuariamente l'acqua meteorica proveniente dalla superficie, e stabilmente la “falda profonda”. L'intero ammasso roccioso che ha uno spessore dell'ordine di alcune migliaia di metri si mostra impregnato a profondità prossime al livello del mare,



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

dalla falda idrica di fondo, e a profondità maggiori da acqua salmastra di infiltrazione marina che rappresenta il letto della succitata "falda di fondo".

B) CALCARENITI (Calcareniti di Gravina – Calcareniti del Salento) Pleistocene inf.

Questi litotipi, non affiorano nell'area di studio ma si rinvencono in profondità dove sono stati intercettati per la trivellazione di pozzi profondi.

Tali sedimenti sono ascritti in letteratura alle "Calcareniti del Salento" nella Carta Geologica Ufficiale 1:100.000 da B. Martinis, mentre nella Carta Geologica delle Murge e del Salento 1:250.000 sono riferite alle "Calcareniti di Gravina" da N. Ciaranfi et alii, e sono datati al Pleistocene inferiore. In questa unità venivano riuniti tutti i sedimenti noti con il termine generico di "Tufi". A questa formazione non è stato dato un nome specifico di località poiché, pur essendo ampiamente diffusa, non esiste una zona caratteristica; è invece correlabile con le Calcareniti di Gravina (Ba) da cui prende il nome. Dal punto di vista Litologico è costituita da calcarenite, più o meno compatta, grigio-chiara, cui si associano sabbioni calcarei talora parzialmente cementati, eccezionalmente argillosi. Sono inoltre costituite da calcareniti organogene di colore bianco-giallastro o rossastro per alterazione (generalmente nei livelli sommitali), piuttosto porose, di norma mal stratificate, a grado di cemen-



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

tazione variabile, con locali intercalazioni di orizzonti fossiliferi e da sabbie calcaree concrezionate o limose. La granulometria, della litofacies calcarenitica, solitamente grossolana alla base, diviene più fine verso l'alto, dove si rinvengono nuovamente clasti grossolani e dove compare a volte un crostone terminale compatto e tenace; non mancano le variazioni diagenetiche sia in senso areale che verticale. I fossili sono abbondanti, ma non sempre ben conservati. Tra di essi i più comuni sono alcune alghe calcaree, molluschi bivalvi (*ostrea edulis*, *Chlamys varia*, *Aequipecten opercularis*, *Pecten jacobaeus*, alcuni *Cardiidae*) e briozoi. Le calcareniti si deposero in un mare poco profondo, più freddo dell'attuale e, si suppone, con discreti moti ondosi. I granuli della roccia sono quasi interamente costituiti da frammenti di micro e macrofossili e cementati tra loro da quantità variabili di calcite spatica; la loro composizione mineralogica è quasi esclusivamente carbonatica: il carbonato di calcio costituendo generalmente oltre il 95% del totale. Il residuo insolubile, di norma molto scarso, è generalmente inferiore al 2%. Nella maggior parte degli affioramenti calcarenitici si rinvengono sistemi di fratture con direzione NW-SE, presumibilmente originate da locali fenomeni di riattivazione, durante il Quaternario, dei sistemi di faglie dirette. In alcuni affioramenti si ha una stratificazione incrociata. Questa formazione giace, con un netto contatto trasgressivo, sulle rocce calcaree del basamento Mesozoico essendosi depositata in corrispondenza di depressioni ed avvallamenti di origine morfologica o strutturale. Come detto tali litotipi si





Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

ritrovano in profondità, nell'escavazione per pozzi, compresi tra i calcari e le argille, con spessori esigui che in genere non superano i cinque metri.

### C) ARGILLE SUBAPPENNINE (Pleistocene inf.)

Questi litotipi non affiorano in superficie ma sono stati individuati durante la trivellazione per pozzi per uso irriguo in profondità. L'unità è costituita da argille e limi argillosi di colore grigio-azzurro passanti verso l'alto a giallastri e giallo-verdastri con frazione sabbiosa prevalente. La loro potenza presunta, da quello che è dato sapere sui pozzi trivellati, presenta spessori variabili fino ad un massimo di circa 40 metri. Le argille in questione, bene si correlano, sia dal punto di vista litologico che stratigrafico, alle argille subappennine plio-pleistoceniche o alle argille grigioazzurre Calabriane, rinvenibili in diverse zone della Puglia, dal Tavoliere alla fascia premurgiana della Fossa, alle Murge e al Salento. Stratigraficamente, si pongono nella parte inferiore del ciclo sedimentario pleistocenico. Esse poggiano, in continuità di sedimentazione sulle calcareniti plio-pleistoceniche (Calcareniti di Gravina). Superiormente passano gradualmente, in linea generale, a depositi sabbiosi o calcarenitici, costituenti i termini di chiusura di detto ciclo. Le argille azzurre sono la porzione basale della serie argillosa depostasi in molti altri luoghi del Mediterraneo: sono composte da fango grigio-azzurro privo di stratificazione.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

#### D) SABBIE - Sintema di Alliste (Pleistocene superiore)

Tali sedimenti possono essere ricondotti in letteratura alla "Formazione di Gallipoli" nella Carta Geologica Ufficiale 1:100.000 da B. Martinis; nella Carta Geologica delle Murge e del Salento 1:250.000 sono riferiti ai "Depositi Marini Terrazzati; nella recente cartografia del "CARG2006" vengono invece ascritti al "Sintema di Alliste". Nella "Valle di Ottaviano" l'articolazione e la frammentazione dei bacini di sedimentazione, ha prodotto una differente costituzione litologica nell'ambito dei depositi sabbiosi con riferimento alla presenza e alla frequenza di livelli arenacei, limosi e/o argillosi, calcarenitici.

Tutti i sedimenti sopra riportati affiorano estesamente nell'area di studio e risultano costituiti dai seguenti subsintemi:

a) Sabbie limo argillose calcareo-micacee di colore giallo ocre, con intercalazioni nella parte intermedia di sottili livelli bioclastici e di strati calcarenitici, questi ultimi più frequenti nella porzione sommitale. Macrofauna rappresentata da Lamellibranchi (Artica Islandica, Chlamys multistrata, Pecten jacobus, Pseudammusium septemradiatum) Spessore intorno a 10 metri. Depositi di ambiente infralitorale, con passaggio verticale a circolitorale. Limite inferiore paraconcordante sulle formazioni pleistoceniche più antiche; limite superiore conforme, in continuità di sedimentazione con:



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

b) Calcareniti e calciruditi di colore grigio-ocraceo, con stratificazione in banchi e laminazione a festoni, macrofossilifere (Artica Islandica, Aequipecten opercularis, Chlamys multistrata, Ch. Pesfelix, Mitylus Sp.; Echini, briozoi e a luoghi, abbondanti rodoliti). Depositi di ambiente costiero e circalitorale. Superficie sommitale corrispondente a un terrazzo marino situato a quote intorno ai 70 metri.

E) TERRENI VEGETALI (Depositi Eluviali) Pleistocene - Olocene

Questi depositi affiorano sulla maggior parte del territorio, mascherando i sottostanti depositi marini. Il sedimento non è di origine marina essendosi creato per vari fenomeni chimici, fisici e biologici (erosione, trasporto eolico, trasformazione animale e vegetale, ecc.). Sono costituite essenzialmente da argille con intercalazioni di sostanze organiche. Mineralogicamente risultano costituite essenzialmente da caolinite accompagnata da una discreta quantità di ossidi di ferro e di alluminio e subordinatamente da feldspati e magnetite sono presenti anche discrete quantità di quarzo e aggregati polimineralici. Sono coperture di origine eluviale e/o colluviale comunemente indicate con il termine di "terra rossa". Si tratta di terreni di origine residuale, prodotti dagli effetti dell'alterazione e della dissoluzione carsica sulle rocce calcaree e calcarenitiche affioranti e dal progressivo accumulo dei prodotti residuali insolubili di composizione non carbonatica. La composizione chimico-



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

mineralogica delle terre rosse ricalca molto da vicino quella del residuo insolubile delle rocce da cui si sono originate, essendo caratterizzata da una notevole abbondanza di idrossidi di ferro ed alluminio, di minerali argillosi (soprattutto illite e caolinite) e da componenti minori quali quarzo, feldspati, pirosseni, ecc.. La granulometria delle terre rosse presenta di norma un ampio intervallo di variazione, poiché dipende spesso dalle caratteristiche genetiche ed evolutive dei singoli depositi. In linea di massima si tratta, nella maggior parte dei casi, di terreni composti da particelle delle dimensioni del limo e/o delle sabbie fini, con una discreta presenza di frazione argillosa: si va pertanto - dal punto di vista granulometrico - dalle sabbie limose ai limi sabbioso-argillosi, con variazioni sensibili ed imprevedibili anche nell'ambito di uno stesso deposito. Le terre rosse possono presentarsi con caratteristiche sia di depositi eluviali che colluviali, vale a dire sia come prodotto di alterazione e disfacimento della roccia in posto che come accumulo di materiali rimossi (ad esempio, ad opera delle acque dilavanti o di ruscellamento) dalla loro posizione originaria e ridepositati in corrispondenza di aree morfologicamente più depresse. Le coperture eluviali presentano di norma spessori modesti.

Dal punto di vista geotecnico si possono assumere i seguenti valori:



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

### **Caratterizzazione Geotecnica**

<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Calcareniti</i>
<i>Peso volume medio</i>	$\gamma_m = 20,0 \text{ KN/m}^3$
<i>Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungotermine)</i>	$\varphi_m = 28^\circ$
<i>Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)</i>	$c'_m = 9,8 \text{ kN/m}^2$
<i>Coesione non drenata</i>	$C_m = 15,69 \text{ kN/m}^2$
<i>Modulo di Edometrico medio</i>	$E_m = 22,00 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Poisson</i>	$\nu = 0.40$
<i>Modulo di Young dinamico</i>	$E_{din} = 87 \text{ MPa}$
<i>Modulo di Taglio dinamico</i>	$G_d = 11 \text{ MPa}$

Da tali elementi, che andranno opportunamente verificati con indagini geognostiche mirate, ed in relazione agli aspetti legati alle scelte progettuali previste per le strutture fondazionali dell'impianto, di tipo profondo, non si evidenziano particolari problemi e/o criticità di ordine geotecnico che possano compromettere la stabilità delle opere.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

## **7 SISMICITÀ**

### ***7.1: Inquadramento Sismico***

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e sono state definite le nuove norme tecniche per la progettazione di nuove opere, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno, ecc. Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003.

Il Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" - fornisce le indicazioni per la progettazione e la verifica di nuove strutture secondo criteri antisismici.

Ai sensi del decreto, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;

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

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

Per l'area in esame, sulla base delle indagini eseguite, si verifica l'assoluta stabilità dell'area; ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto e della categoria di sottosuolo (Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20/03/03 e aggiornamenti, modifiche, integrazioni, sostituzioni del D.M. 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. Infrastrutture del 17/01/2018), si potranno prendere in considerazione i seguenti elementi di valutazione:



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

➤ In base alla localizzazione geografica del sito di progetto vengono definiti i parametri di riferimento del moto sismico in superficie, successivamente correlati con gli stati limite e la vita nominale dell'opera. Ciò al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni delle opere o parti di essa.

o Individuazione del sito

▪ Regione Puglia, Provincia di Lecce, Comune di Racale;

➤ La velocità media di propagazione potrà essere assunta mediamente di 650 m/s, entro 30 m di profondità delle onde di taglio ( $V_{S,eq}$ ) per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ , dello strato iesimo, per un totale di N strati presente nei 30 m superiori;

➤ Sulla base del valore  $V_{S,eq}$  avendo considerato l'insieme delle indagini effettuate durante la campagna geognostica, considerando in modo cautelativo i risultati peggiori riscontrati, non considerando l'aumento delle caratteristiche geotecniche dei terreni con la profondità, si ipotizza un sottosuolo riferibile alla categoria "B":





*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

CATEGORIE SUOLI DI FONDAZIONE	
Tab. 3.2.II - D.M. 17 gennaio 2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".	
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 fine 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 fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di velocità equivalente comprese tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definiti per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

- Le condizioni topografiche del sito che si colloca su un'area perfettamente pianeggiante con inclinazione media  $i < 15^\circ$  (max  $2^\circ$ ), sono riferibili alla categoria "T1", per cui il coefficiente di amplificazione topografica (ST) è pari a 1,0 (valori massimi del coefficiente tab. 3.2. III Norme Tecniche per le Costruzioni 2018).

CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA	
Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento
T <sub>1</sub>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T <sub>2</sub>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T <sub>3</sub>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T <sub>4</sub>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA		
Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S <sub>T</sub>
T <sub>1</sub>	-	1,0
T <sub>2</sub>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T <sub>3</sub>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T <sub>4</sub>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- Classe d'uso: classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso; per le opere in progetto è la II (tab.2.4.II) il cui uso prevede normali affollamenti), per cui il coefficiente d'uso risulta CU=1,0

VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO C <sub>U</sub> .				
CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C <sub>U</sub>	0,7	1,0	1,5	2,0

- Vita nominale dell'opera VN: intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantiene gli specifici livelli prestazionali di progetto (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica VR come:

$$VR=VN*CU \text{ (dove CU è il coefficiente d'uso);}$$



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

- Probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR: in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell'opera in oggetto sono considerati i seguenti valori:

Classe d'uso "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.

Vita nominale  $V_N$ : 50 anni: costruzioni con livelli di prestazione ordinari. Coefficiente d'uso  $C_U$ : 1 relativo alla classe d'uso II.

Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N * C_U = 50 * 1 = 50$  anni

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR vengono calcolati i valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*C$  e del periodo di ritorno:

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

SPETTRI DI RISPOSTA SECONDO LE NTC 2018

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$F_0$ [-]	$TC^*$ [sec]
S.L.O. - SLE	30,0	0,422	2,527	0,257
S.L.D. - SLE	50,0	0,539	2,504	0,270
S.L.V. - SLO	475,0	1,177	2,620	0,297
S.L.C. - SLO	975,0	1,471	2,615	0,307

Dove:



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

- SLE = stati limite di esercizio
  - o SLO = stato limite di operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
    - o SLD = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e 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.
- SLU = stati limite ultimi
  - o SLV = stato limite di salvaguardia della vita: 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
    - o SLC = stato limite di prevenzione del collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

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.

#### COEFFICIENTI SISMICI (Per Stabilità Pendii e Fondazioni)

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,5064	1,0	0,0516	0,0258
S.L.D.	0,6468	0,47	0,031	0,0155
S.L.V.	1,4124	0,38	0,0547	0,0274
S.L.C.	1,7652	1,0	0,18	0,09

Dove:

$\beta$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa

al sito =  $0,2 a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ( $a_g/g$ )  $g$  = accelerazione di gravità

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica = 1,5 (SLO)-1,5 (SLD)-1,48 (SLV)-1,42 (SLC)  $S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica = 1,0

Si ottengono i seguenti parametri sismici:



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

**Dati Generali**

**Località**  
 Indirizzo: Racale  
 Lat. Long. 41.902783 12.496365

**Dati opera**  
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 V. Nominale: 50 V. Rif.: 50

**Parametri sismici su sito di riferimento**

SL	TR [Anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec.]
SLO	30.00	0.422	2.527	0.257
SLD	50.00	0.539	2.504	0.270
SLV	475.00	1.177	2.620	0.297
SLC	975.00	1.471	2.615	0.307

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T1

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Muri di sostegno (NTC 2018)

SL	amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta	k <sub>hk</sub> [-]	k <sub>vk</sub> [-]	K <sub>hi</sub> [-]
SLO	0.5064	1.0	0.0516	0.0258	0.0
SLD	0.6468	0.47	0.031	0.0155	0.0
SLV	1.4124	0.38	0.0547	0.0274	0.0
SLC	1.7652	1.0	0.18	0.09	0.0

Stato limite di riferimento: SLO



*Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).*

## **8 - CARATTERI FISICO-MECCANICI-GEOTECNICI DEL TERRENO**

Sulla base dei report delle indagini geognostiche effettuate sul sito interessato dall'impianto, stabilita la litologia delle formazioni geolitologiche presenti nel sottosuolo e considerando che la falda acquifera non è stata intercettata nel corso dell'indagine diretta del terreno, fino ad una profondità di 6,0 m dal p.c. si passa al calcolo della portanza.

Il carico limite verticale, attesa la categoria di suolo di tipo C, verrà calcolata attraverso la formula di **Berezantzev** in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno, applicata agli Stati Limite Ultimi, ai sensi del Nuovo Testo Unico per le Costruzioni (NCT 2018).

In appendice all'allegato 2 si riportano i risultati dei calcoli eseguiti con il programma MP della Geostru, licenziato alla scrivente.



Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

## **9 - CONCLUSIONI**

Lo studio geologico e geotecnico eseguito per il “Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianto e reimpianto di uliveti affetti da “Xilella fastidiosa” su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE)” ha permesso la ricostruzione di un modello geotecnico del terreno sulla base del quale sono state realizzate le verifiche della fondazione dell’impianto.

Il risultato di tali verifiche, a cui si rimanda per ogni ulteriore dettaglio, garantisce la fattibilità geotecnico-strutturale dell’impianto con la mancanza di instabilità e cedimenti contenute all’ordine dei mm.

*Tanto in adempimento all’incarico conferitomi*

*Rodi Garganico Gennaio 2023*







Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, della potenza di picco pari a 18,04 MWp sito nel Comune di Racale (LE) e delle relative opere connesse alla CP RACALE di e-distribuzione, integrato con progetto agronomico di espianco e reimpianto di uliveti affetti da "Xilella fastidiosa" su terreni nei Comuni di Racale e Alliste (LE).

# **APPENDICE**

---

## **REPORT SISMICO**

### **RACALE**

---

## REPORT SONDAGGIO SISMICO MASW – SIS1

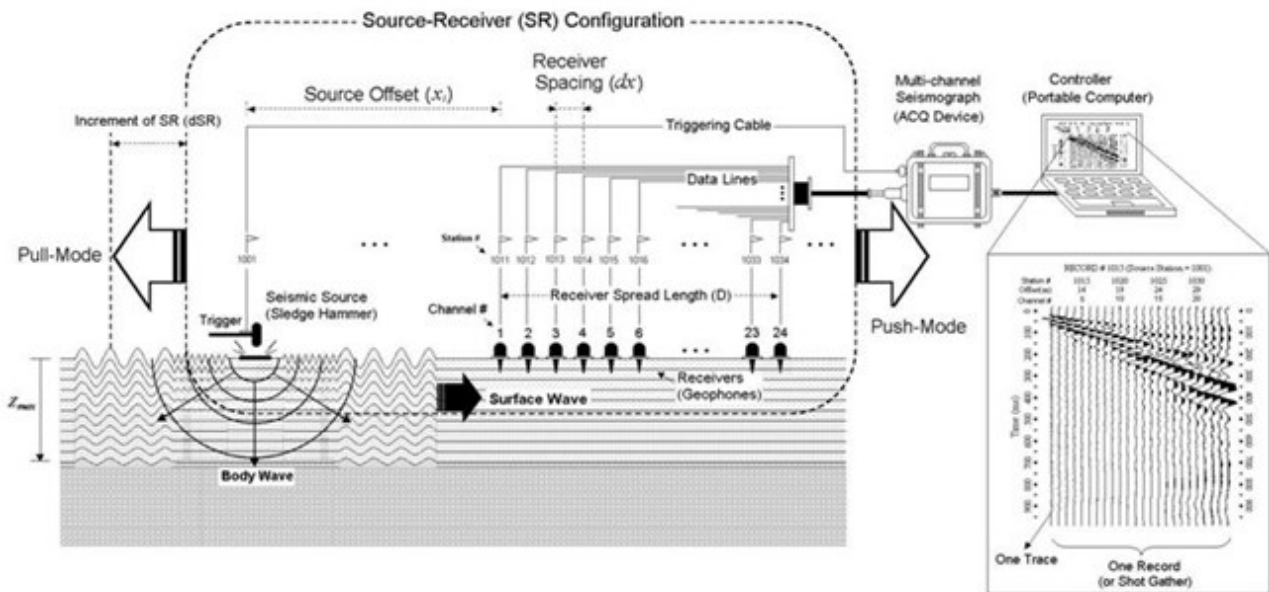
- Ubicazione sondaggio: Racale

E' stata effettuata una campagna geognostica a carattere geofisico, consistente in 1 Base sismica a rifrazione di superficie. La finalità delle indagini sismiche è in primo luogo di rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica - rifrattori - ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso roccioso o terroso con differente grado di densità e compattezza. Dalla sismostratigrafia ottenuta, e con l'ausilio di programmi (*MASW ing. Roma*) è stato possibile ricavare lo spessore e le caratteristiche geomeccaniche degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l'amplificazione sismica locale o la suscettibilità alla liquefazione di terreni saturi non coesivi.

**INDAGINE SISMICA MASW** : per la prova geofisica MASW ai fini della classificazione sismica di sito ai sensi delle NTC 2018, si è utilizzato un sismografo DAQ LINK III della Seismic Souce, 24 geofoni 24 bit. Come ricevitori si sono utilizzati 24 geofoni verticali da 4.5 Hz della Sunfull. Lo stendimento o linea sismica misura 23 metri. Sono stati utilizzati 24 geofoni al passo di 1 metro l'uno dall'altro, una volta posizionati i geofoni lungo una direttrice x, si è provveduto a collegarli ad un cavo sismico, che a sua volta è collegato al sismografo. Il sismografo e tutte le operazioni di acquisizione e di sparo (shot) vengono gestite da un laptop esterno. Come fonte di energizzazione si è utilizzata una mazza battente di 10 kg azionata a mano da operatore. I dati così acquisiti in cantiere, vengono successivamente elaborati in studio. In base alla velocità delle Vs equivalenti il sito di Brindisi ricade in categoria sismica B. A seguire il report completo e dettagliato dell'indagine sismica MASW.

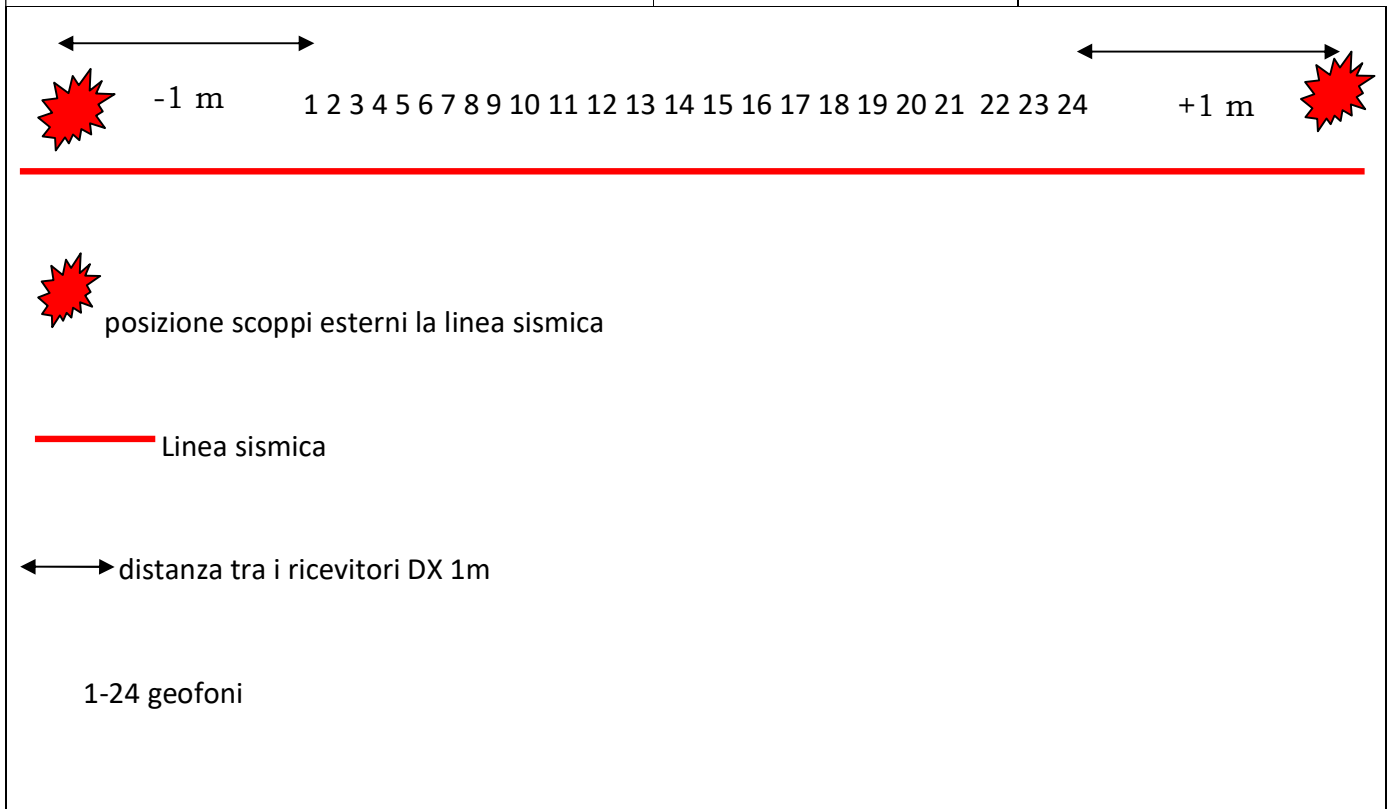
Sito: Racale Prov. Lecce

SISMOGRAFO 24 CANALI 24 BIT	DAQ LINK III SEISMIC SOURCE
Lunghezza totale linea sismica	23 m compreso lo 0
$\Delta X$ (distanza intergeofonica)	1 m
Fonte di energizzazione	massa battente 10 Kg azionata a mano
Shot	4 shot eterni linea sismica (scoppi coniugati)
GEOFONI	4.5 Hz verticali
Suolo infissione geofoni	Basole cemento
Condizioni meteo ed ambientali	Traffico veicolare presente, vento debole, suolo asciutto
Software di acquisizione in campo	Vibrascope
Computer portatile da campo	Panasonic 11"



### offset linea sismica

Numero scoppi	Posizione
1, 2	-1 m da G1
3, 4	+1m dal G24



## 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori..... 24  
Numero di campioni temporali..... 1000  
Passo temporale di acquisizione..... 1ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 3000ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

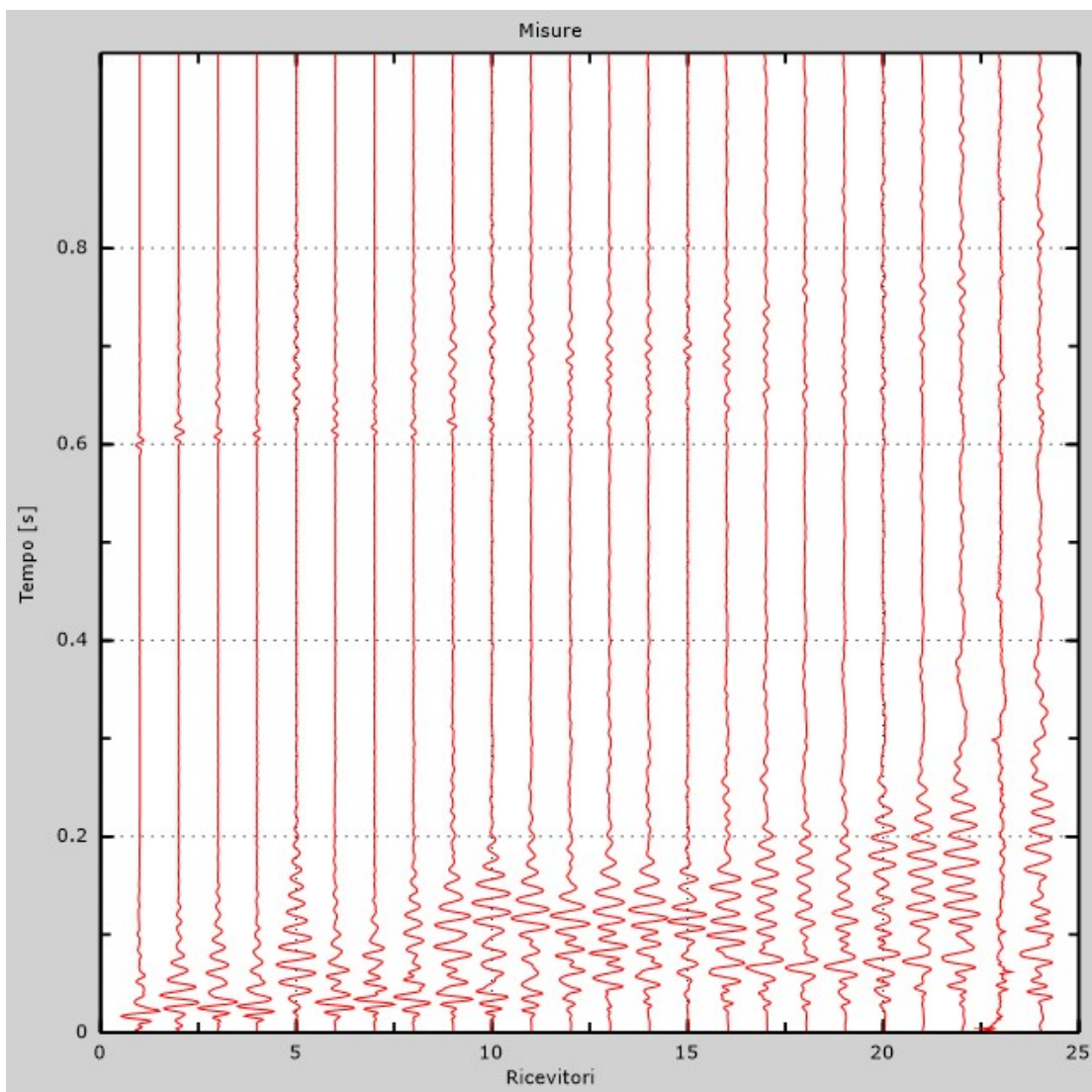


Figura 1: Tracce sperimentali

## 2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale.....60Hz  
Frequenza iniziale .....2Hz

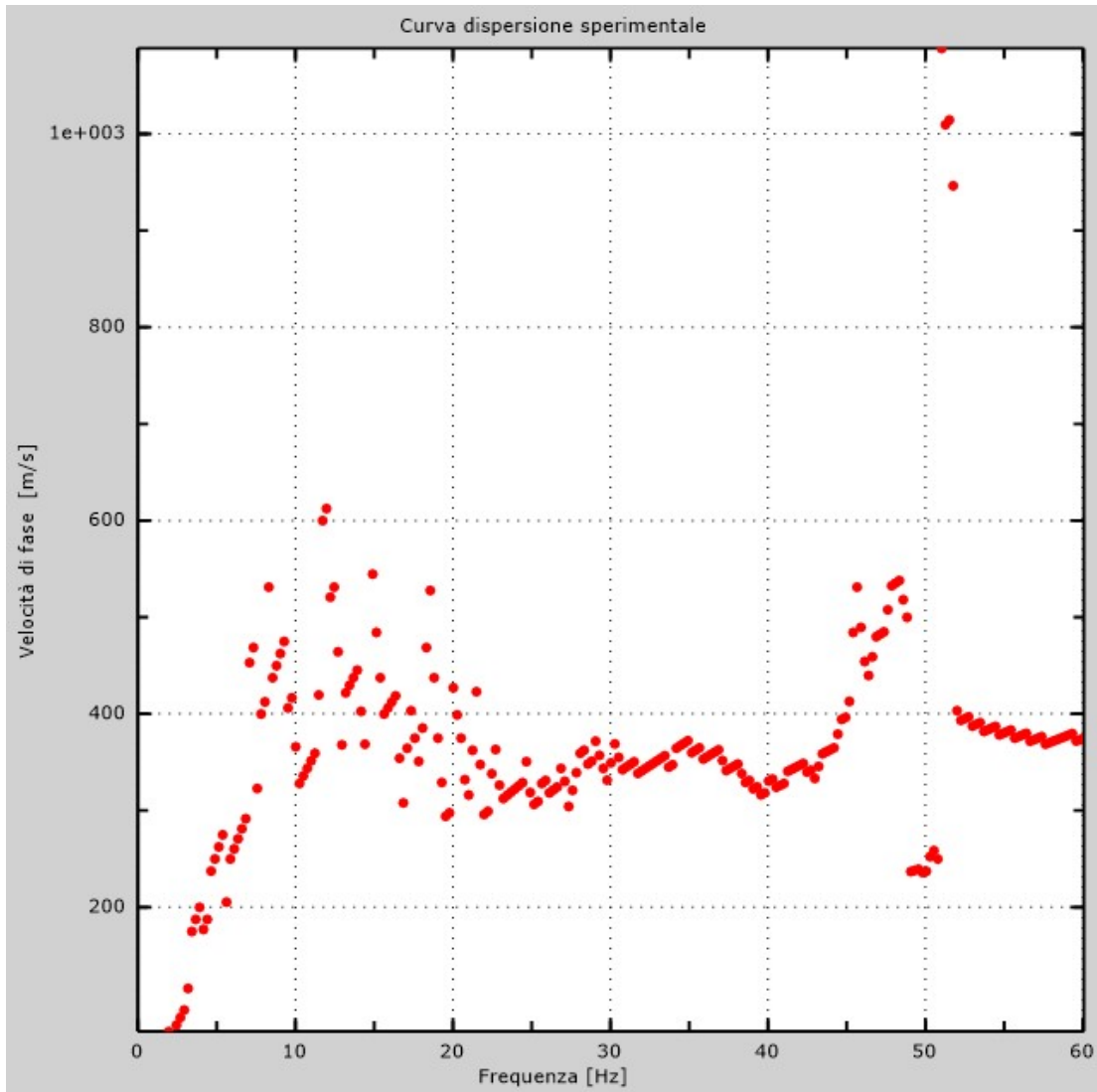


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

### 3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
12.0116	616.18	511.578	720.781
18.8562	437.821	360.041	515.602
33.6261	358.7	339.925	377.474
39.8403	319.809	307.74	331.879

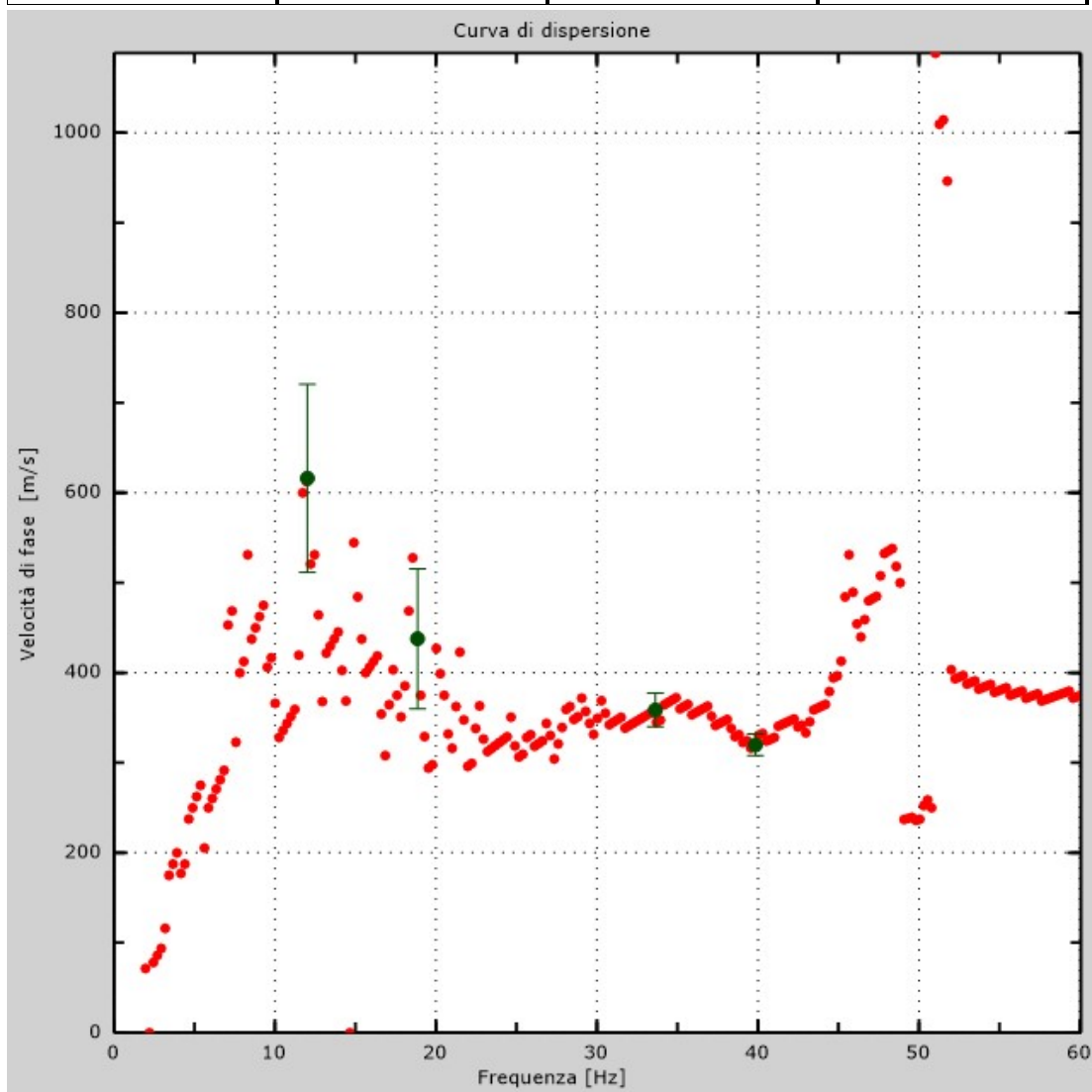


Figura 3: Curva di dispersione

#### 4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	3
Spaziatura ricevitori [m] .....	1m
Numero ricevitori .....	24
Numero modi.....	1

##### Strato 1: MATERIALE DI COPERTURA

h [m].....	1.5
z [m] .....	-1.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1700
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	250
Vp [m/s] .....	408.25
Vs min [m/s].....	177.67
Vs max [m/s] .....	375.000000

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....	250.000
--------------------	---------

##### Strato 2: limi sabbioso argillosi giallastri con inclusi calcigni.

h [m].....	4
z [m] .....	-5.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	390
Vp [m/s] .....	636.87
Vs min [m/s].....	177.67
Vs max [m/s] .....	585.000000

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....	390.000
--------------------	---------

##### Strato 3 calcarenite

h [m].....	0
z [m] .....	-00
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1900
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	660
Vp [m/s] .....	1077.78



Vs min [m/s]..... 342.32  
 Vs max [m/s]..... 990.000000  
 Falda non presente nello strato  
 Strato non alluvionale  
 Vs fin.[m/s] ..... 660.000

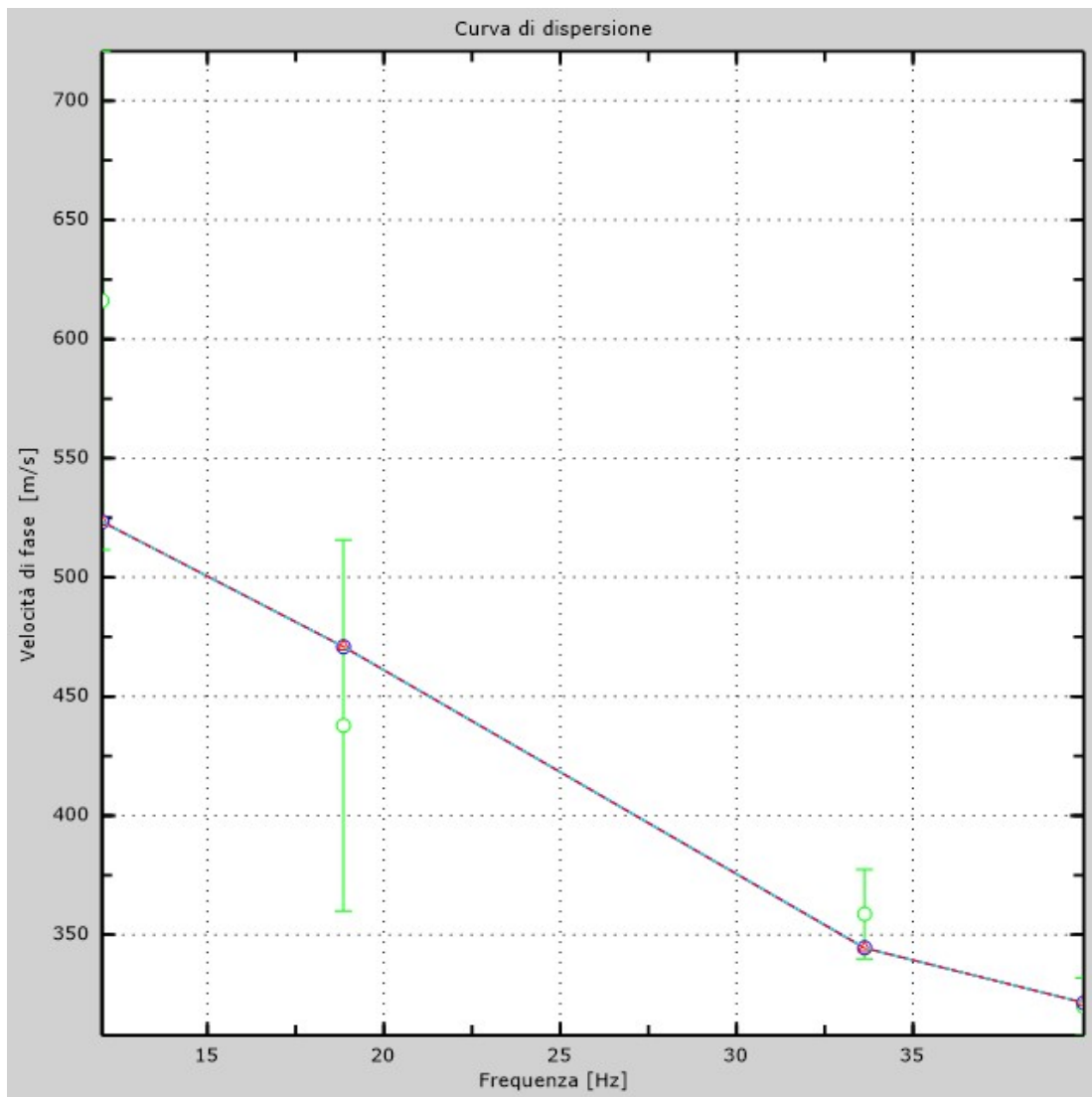


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu),  
 curva numerica (rosso)

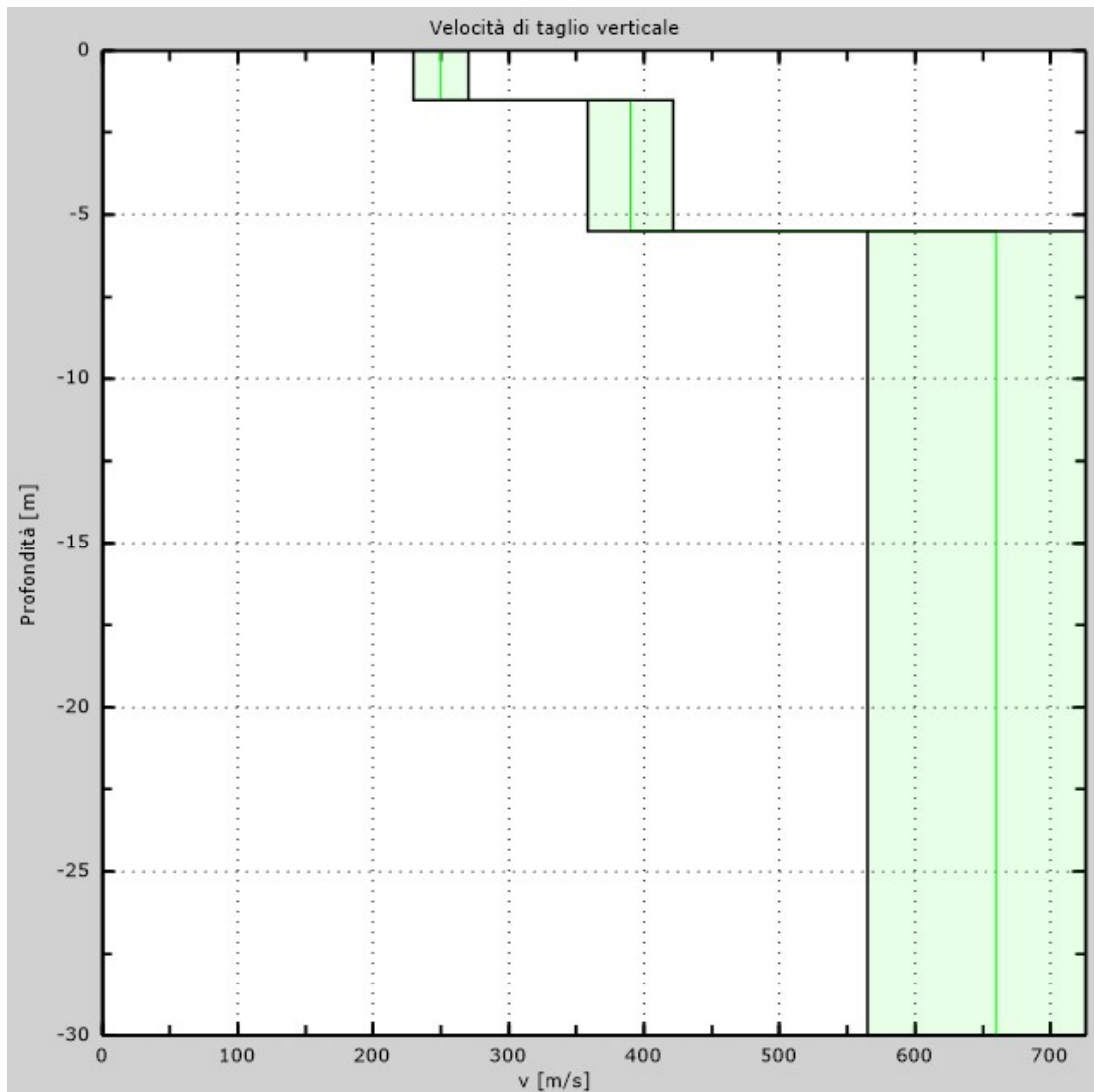


Figura 5: Profilo Vs numerico

**Relazione di calcolo per la categoria di sottosuolo**

*DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»  
 Circolare 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento  
 del-le "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio  
 2018.*

## Generalità

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.11 di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

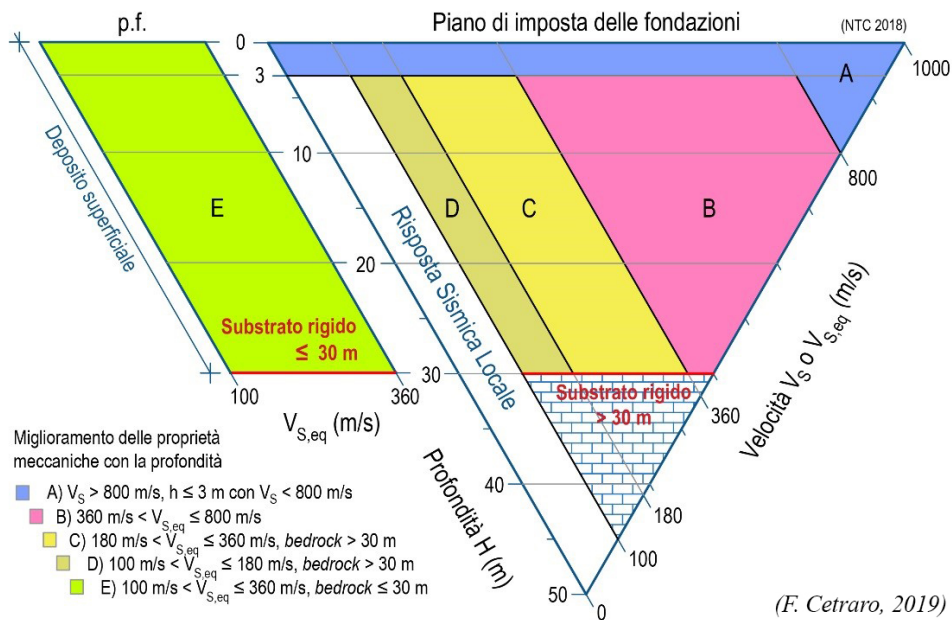
con  $h_i$  lo spessore in metri dell' $i^{\text{esimo}}$  strato di terreno;

$V_{S,i}$  la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

$N$  il numero di strati;

$H$  la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$  dove  $H = 30$  m conside-

rando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.  
 Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.



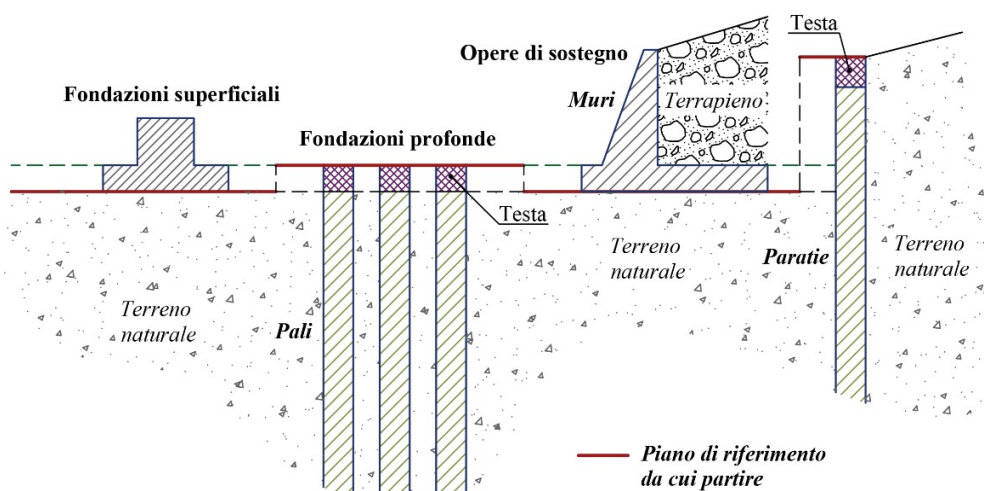
**Figura 1 – Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.**

**Tabella 1- Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (Tab. 3.2.II delle NTC 2018).**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>A</b>	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> 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>B</b>	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> , 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.
<b>C</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</b> 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.
<b>D</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</b> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<b>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### Piano di riferimento per le opere di fondazione:

Ricordando che per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni supali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.



**Figura 3 – Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.**

### Risultati del calcolo

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_S$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 1- Valori utilizzati di riferimento.**

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_S$ (m/s)
1	1,50	1,50	250,00
2	5,50	4,00	390,00
3	30,00	24,50	660,00

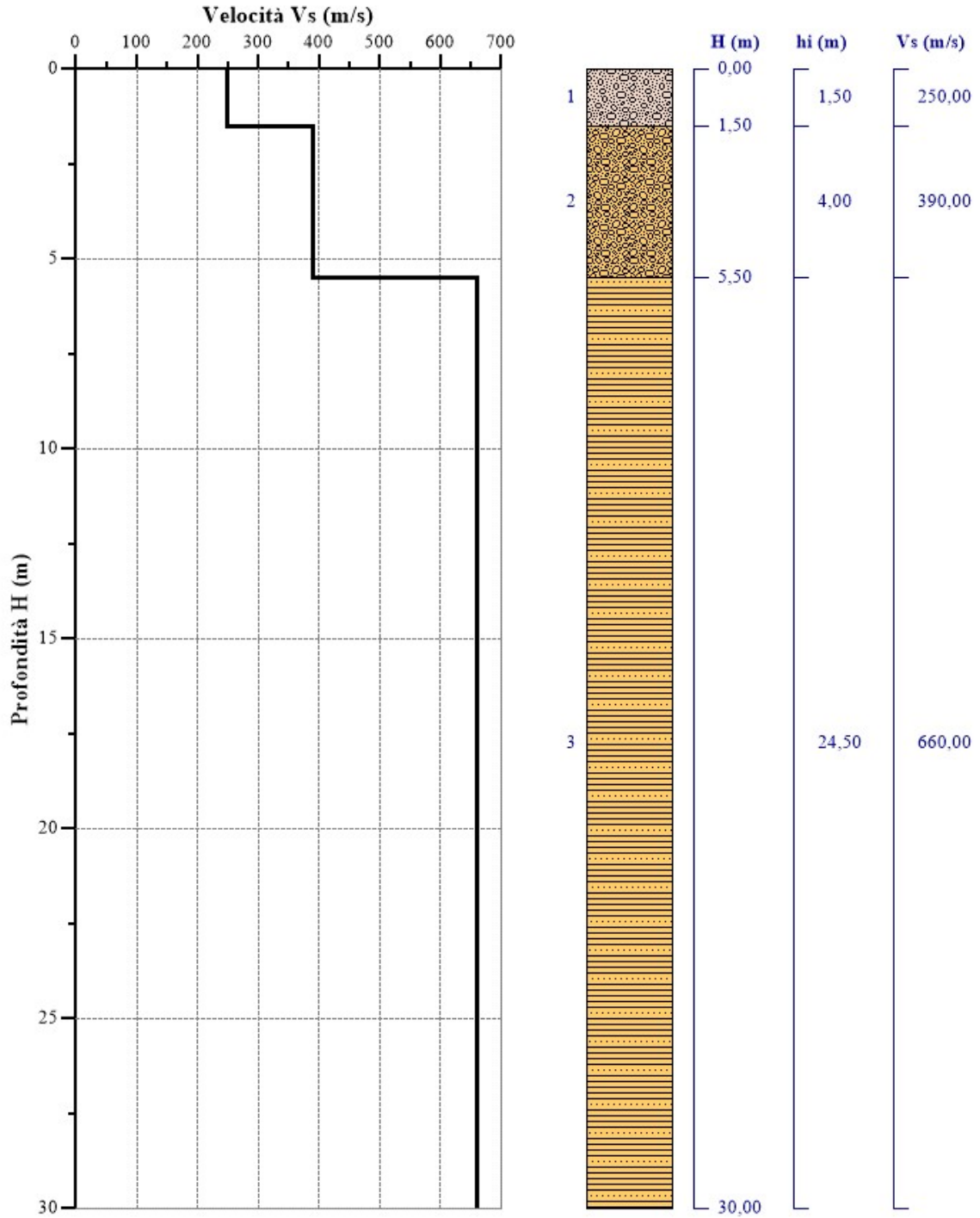
*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_S$  = velocità onde di taglio.*

*Tabella 2- Risultati finali.*

<b><math>N_i</math>.</b>	<b>Z<sub>pf</sub> (m)</b>	<b><math>V_{S,eq}</math> (m/s)</b>	<b>Categoria</b>
<b>1</b>	<b>2,00</b>	<b>607,43</b>	<b>B</b>

*$N_i$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*

## Sezione sismostratigrafica



## REPORT SONDAGGIO SISMICO MASW – SIS2

### 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....	12
Distanza tra i sensori: .....	2m
Numero di campioni temporali .....	1000
Passo temporale di acquisizione .....	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....	12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a .....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....	3000ms

I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

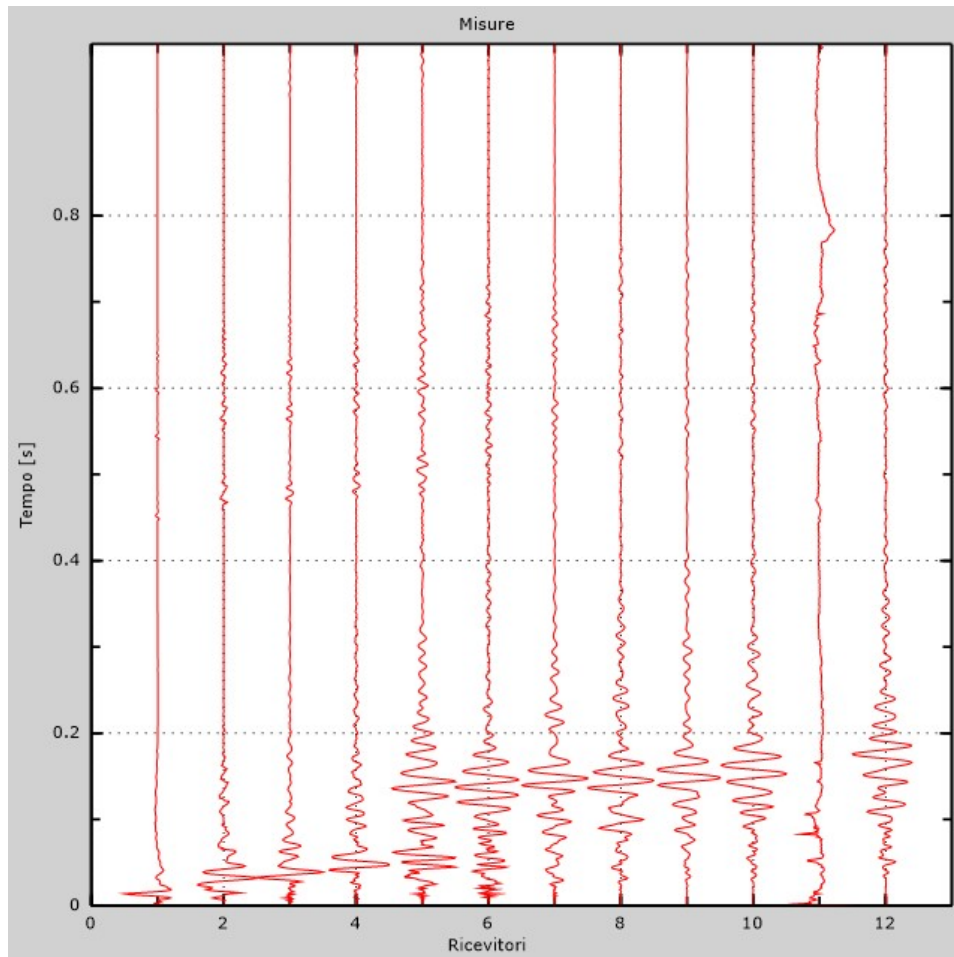


Figura 1: Tracce sperimentali



## 2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale ..... 70Hz

Frequenza iniziale ..... 2Hz

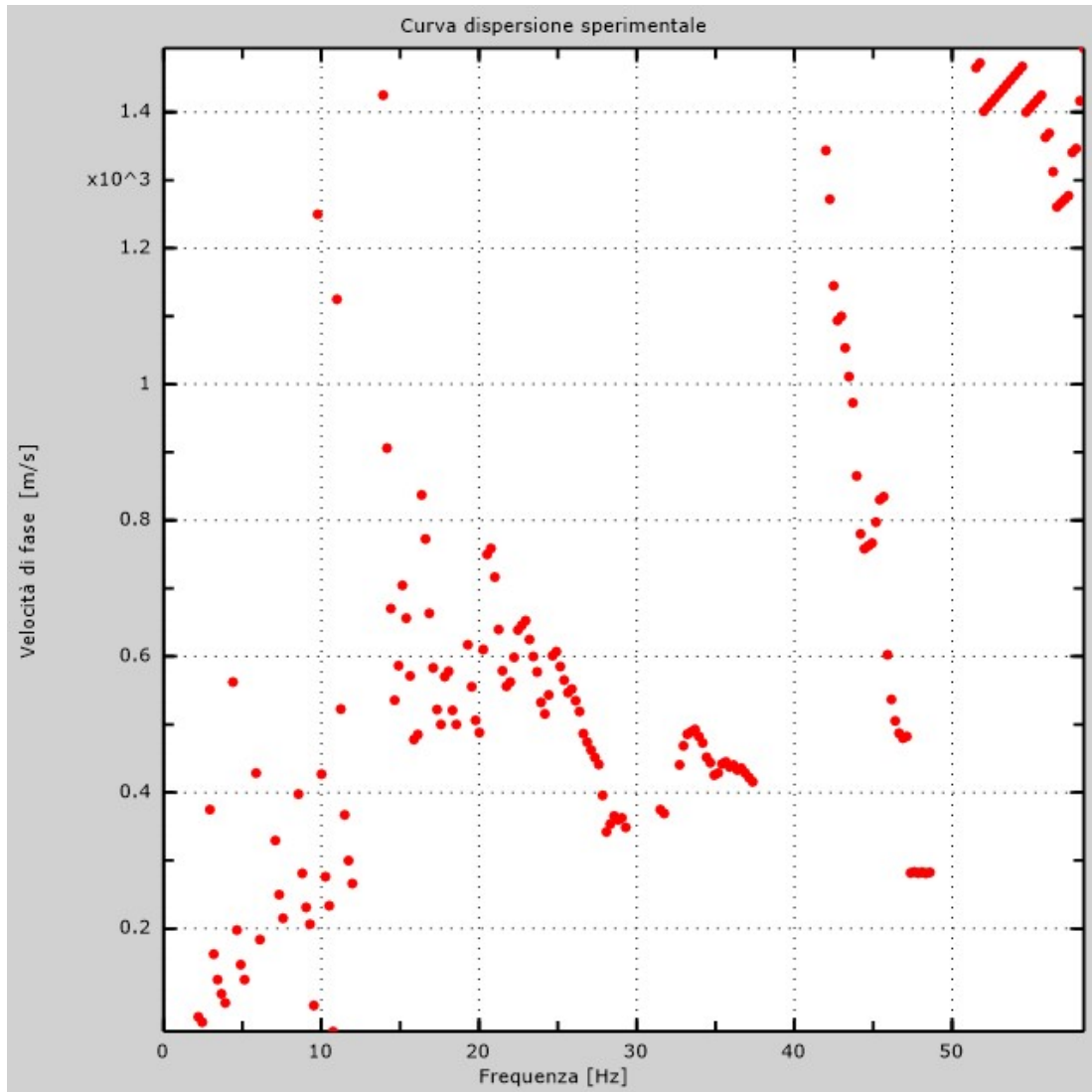


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

### 3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
16.3421	838.955	676.253	1001.66
24.9731	610.686	501.409	719.964
32.889	474.697	421.272	528.121
37.4854	421.272	389.703	452.841

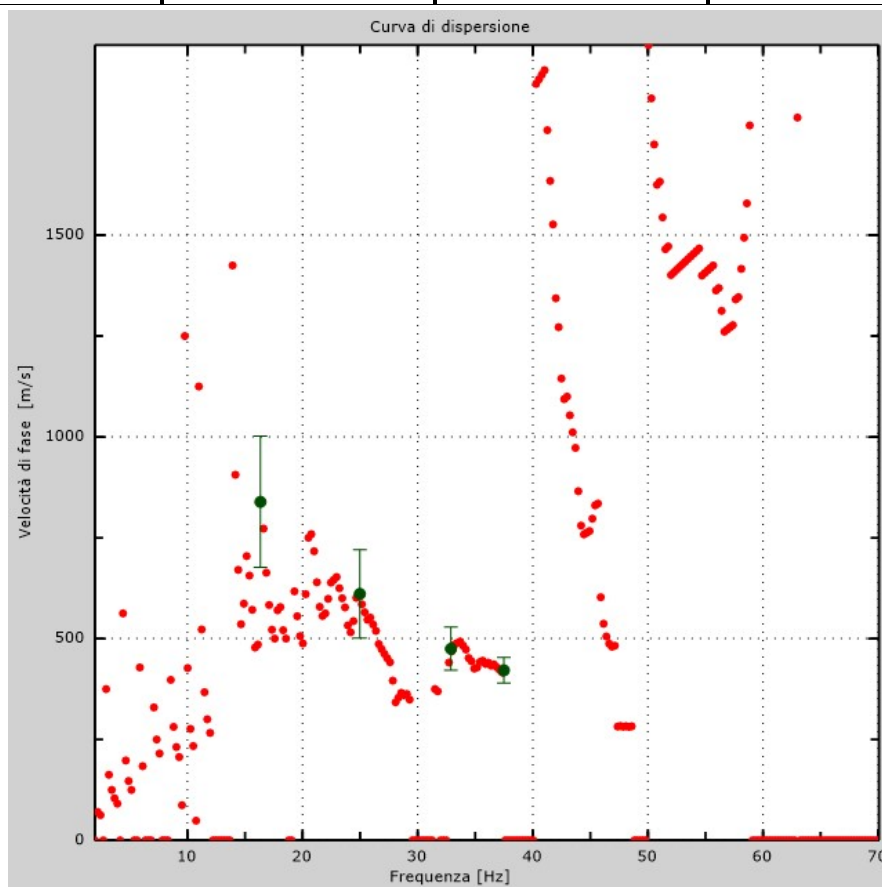


Figura 3: Curva di dispersione

**4 - Profilo in sito**

Numero di strati (escluso semispazio) .....	3
Spaziatura ricevitori.....	2m
Numero ricevitori .....	12
Numero modi .....	1

**Strato 1: Terreno vegetale**

h [m] .....	2
z [m].....	-2
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1600
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	340
Vp [m/s] .....	555
Vs min [m/s] .....	234
Vs max [m/s].....	510

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....	340
--------------------	-----

**Strato 2: calcarenite poco cementata**

h [m] .....	4
z [m].....	-6
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	468
Vp [m/s] .....	764
Vs min [m/s] .....	234
Vs max [m/s].....	936

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....	468
--------------------	-----

**Strato 3: calcarenite ben cementata**

h [m] .....	0
z [m].....	-∞
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson.....	0.2
Vs [m/s].....	920
Vp [m/s] .....	1502
Vs min [m/s] .....	466
Vs max [m/s].....	1380

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....	920
--------------------	-----

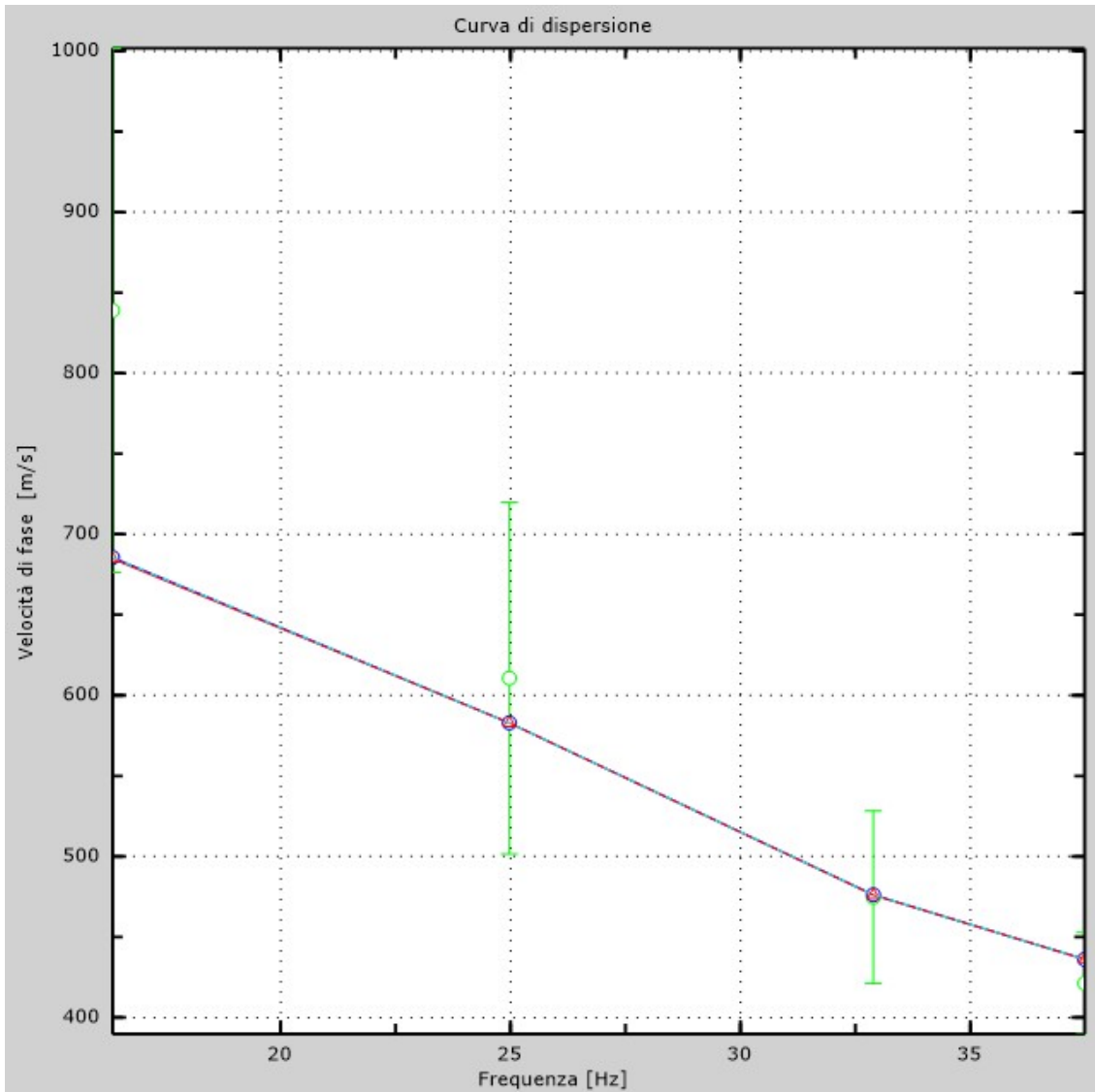


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

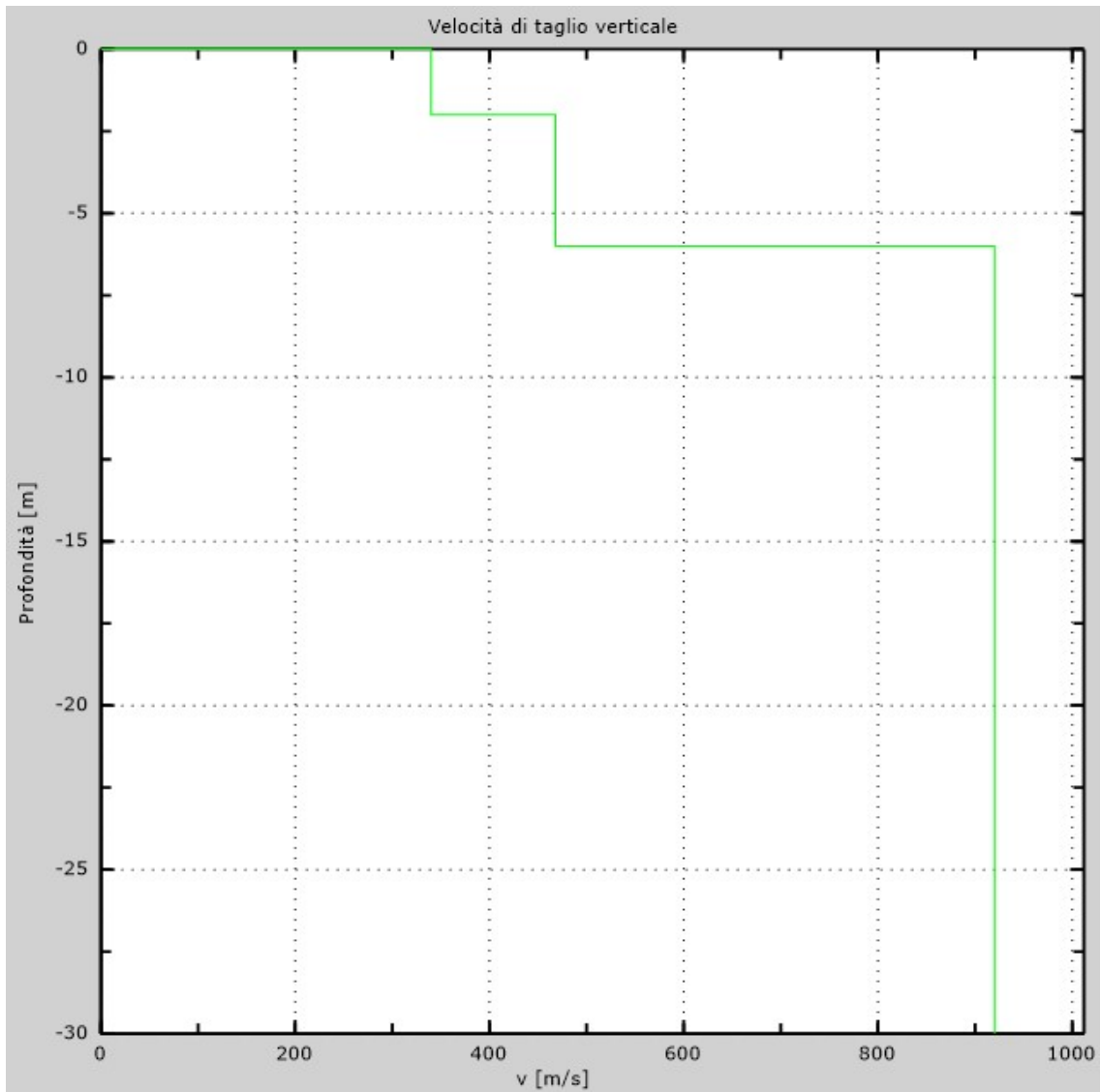


Figura 5: Profilo Vs numerico

## Relazione di calcolo per la categoria di sottosuolo

DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Circolare 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

### Generalità

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso (definito *bedrock* sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del *bedrock*, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive. Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in *GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8*. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

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

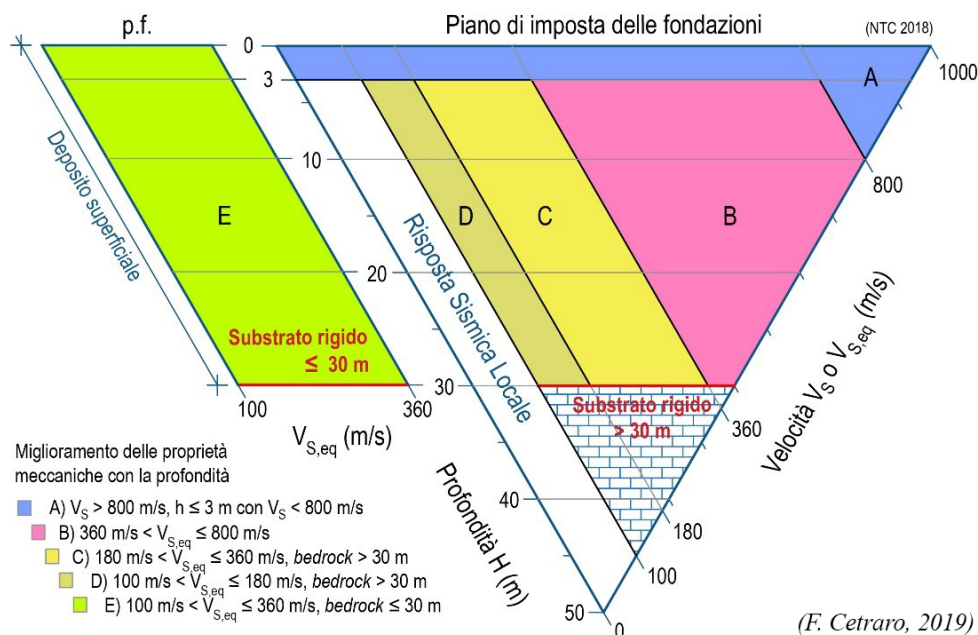
con  $h_i$  lo spessore in metri dell' $i^{\text{esimo}}$  strato di terreno;

$V_{S,i}$  la velocità dell'onda di taglio media corrispondente;

$N$  il numero di strati;

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

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.



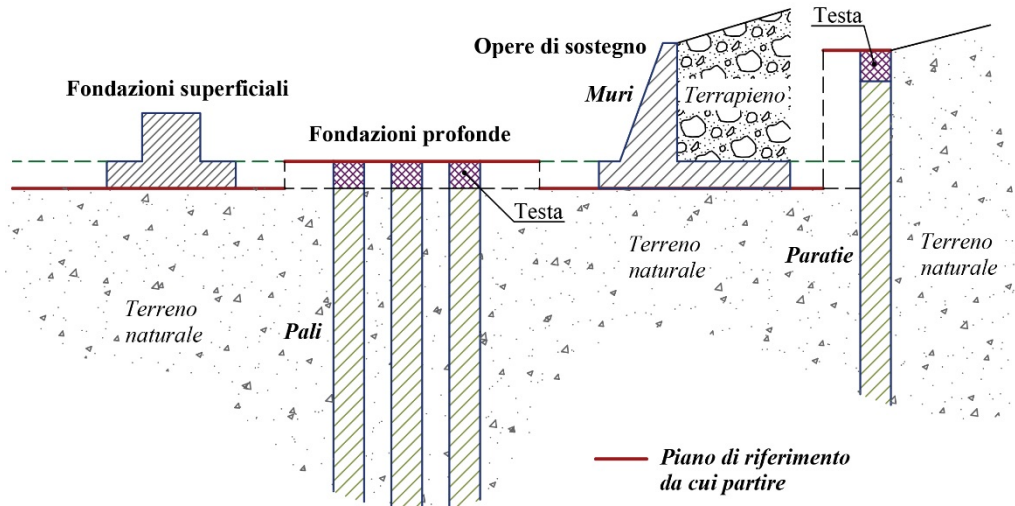
**Diagramma per le categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.**

**Tabella 1- Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato (Tab. 3.2.II delle NTC 2018).**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>A</b>	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> 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>B</b>	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> , 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.
<b>C</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</b> 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.
<b>D</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</b> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	<b>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</b> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### 1.1 Piano di riferimento per le opere di fondazione:

Ricordando che per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni supali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Permuri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.



**Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.**

### Risultati del calcolo

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità  $V_s$  di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

**Tabella 1- Valori utilizzati di riferimento.**

Nr.	H (m)	hi (m)	$V_s$ (m/s)
1	2,00	2,00	340,00
2	6,00	4,00	468,00
3	30,00	24,00	920,00

*Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato,  
H = profondità, hi = spessori,  $V_s$  = velocità onde di taglio.*

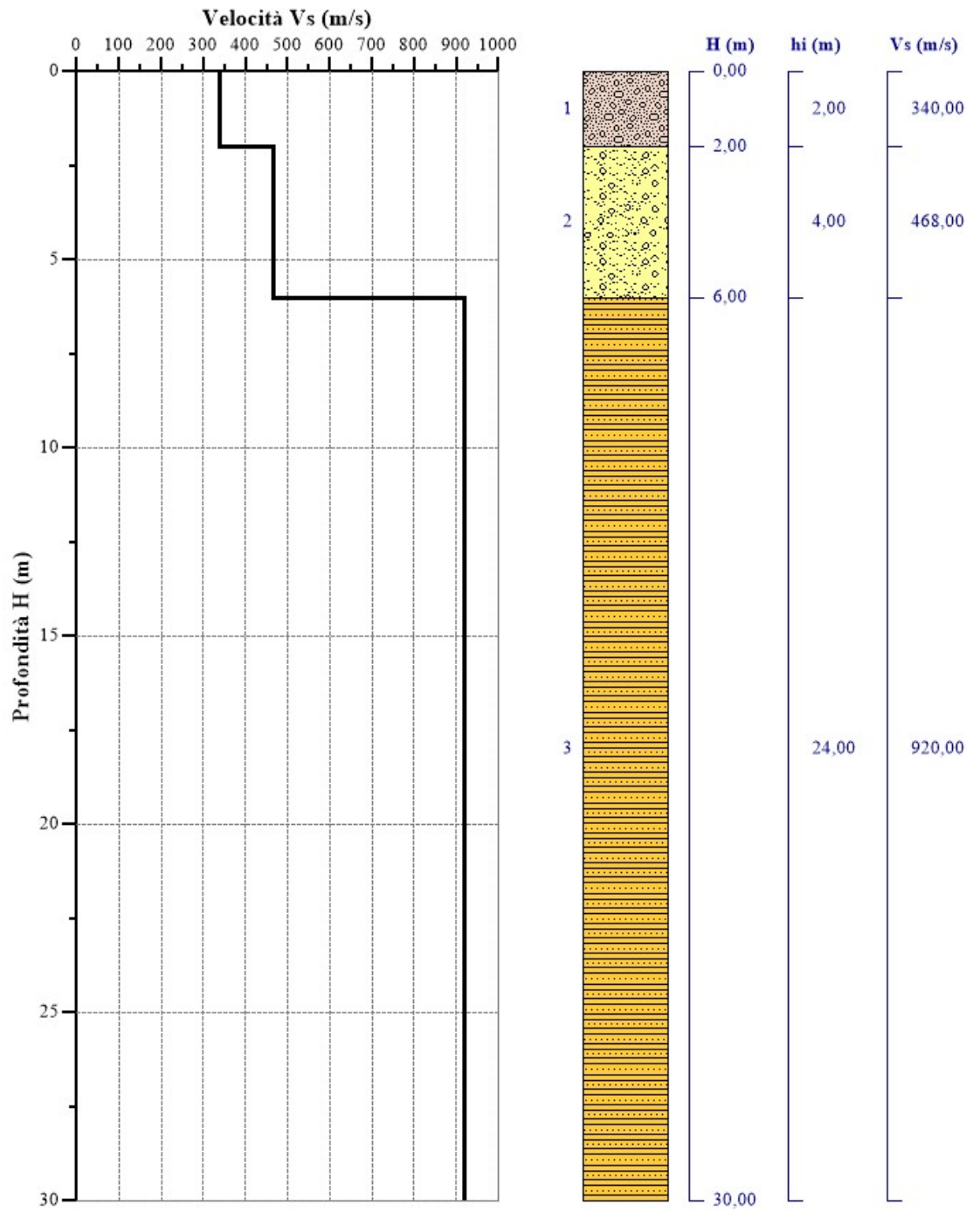
**Tabella 2- Risultati finali.**

$N_l$ .	$Z_{pf}$ (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria
1	2,00	468	B

*$N_l$  = livello,  $Z_{pf}$  = profondità del livello di fondazione.*



SISMOSTRATIGRAFIA



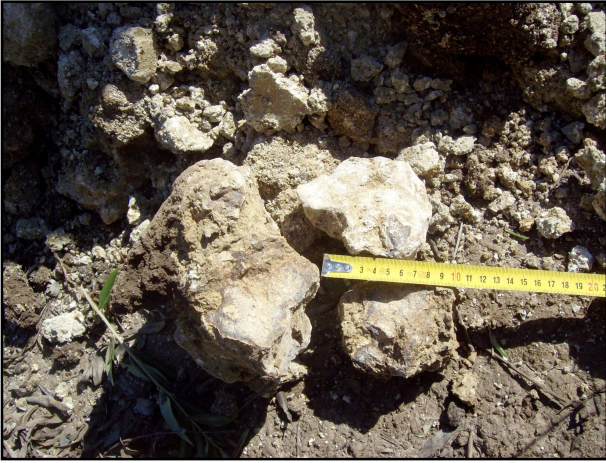
**REPORT INDAGINI PREGRESSE**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SAGGI – TRINCEE**

**SAGGIO S1**



**SAGGIO S2**

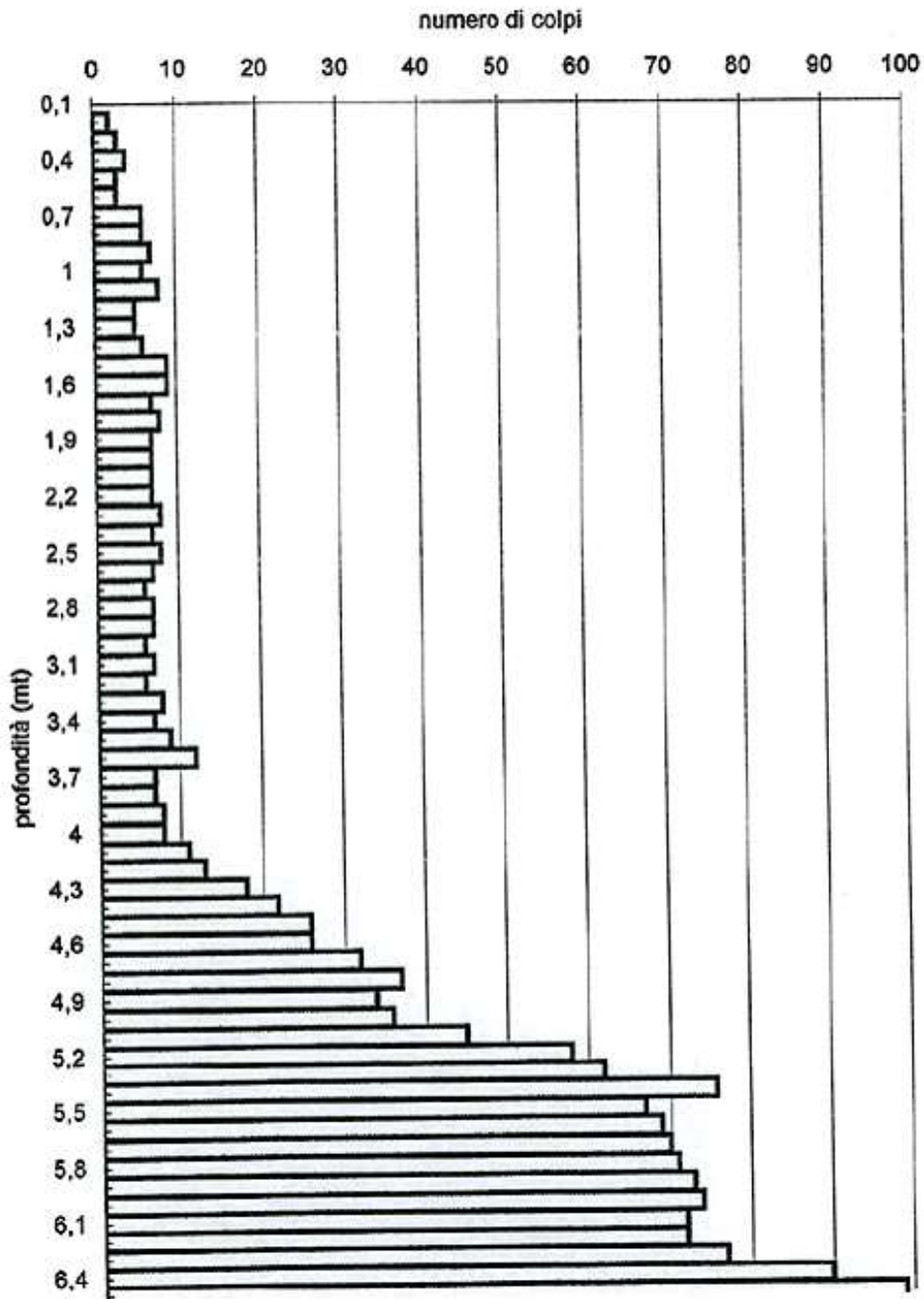


## RISULTATI PENETROMETRIE

Prova penetrometrica n° 3;

Data: 19.06.2000;

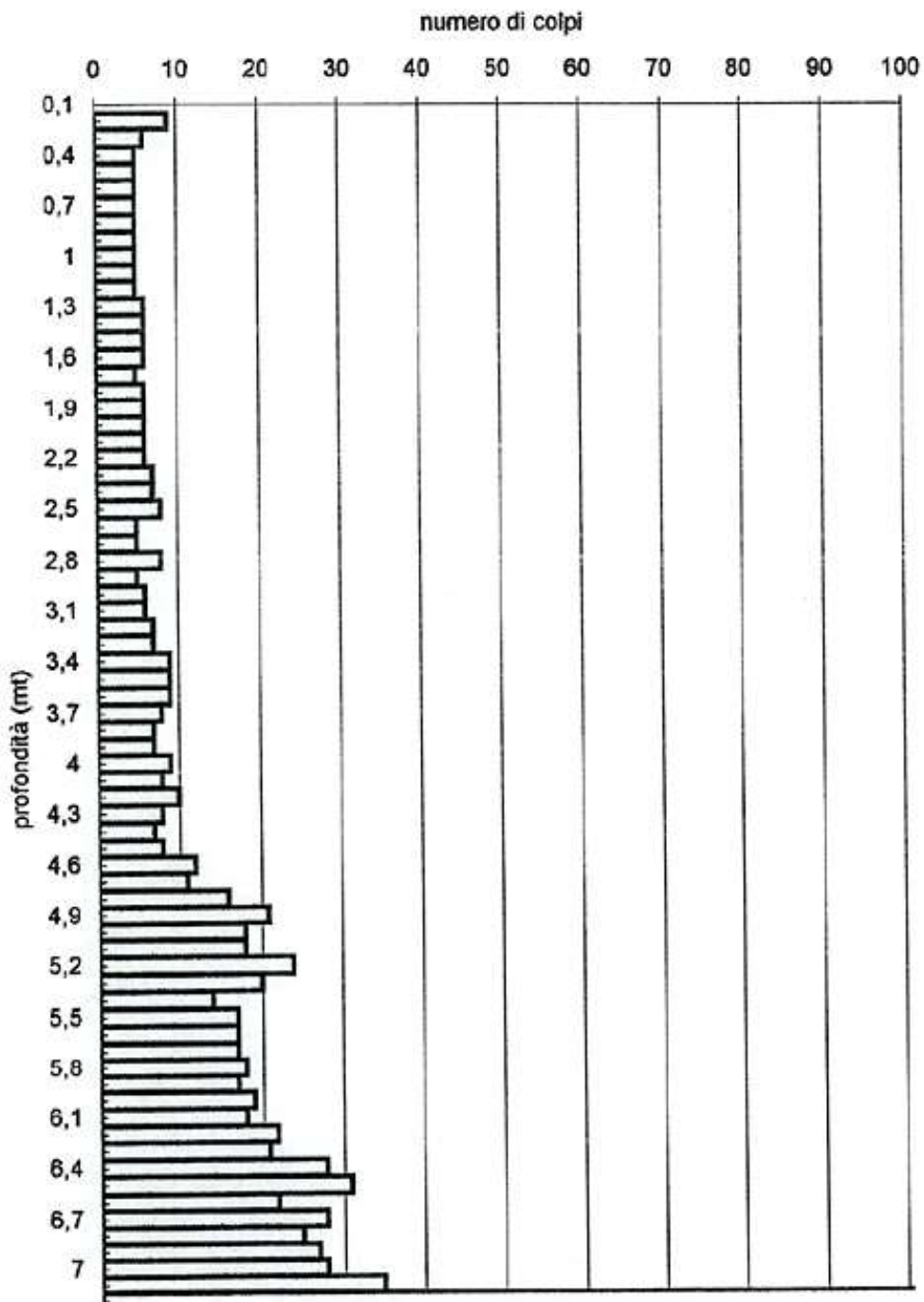
Committente: Amm.ne Comunale;



Prova penetrometrica n° 4;

Data: 19.06.2000;

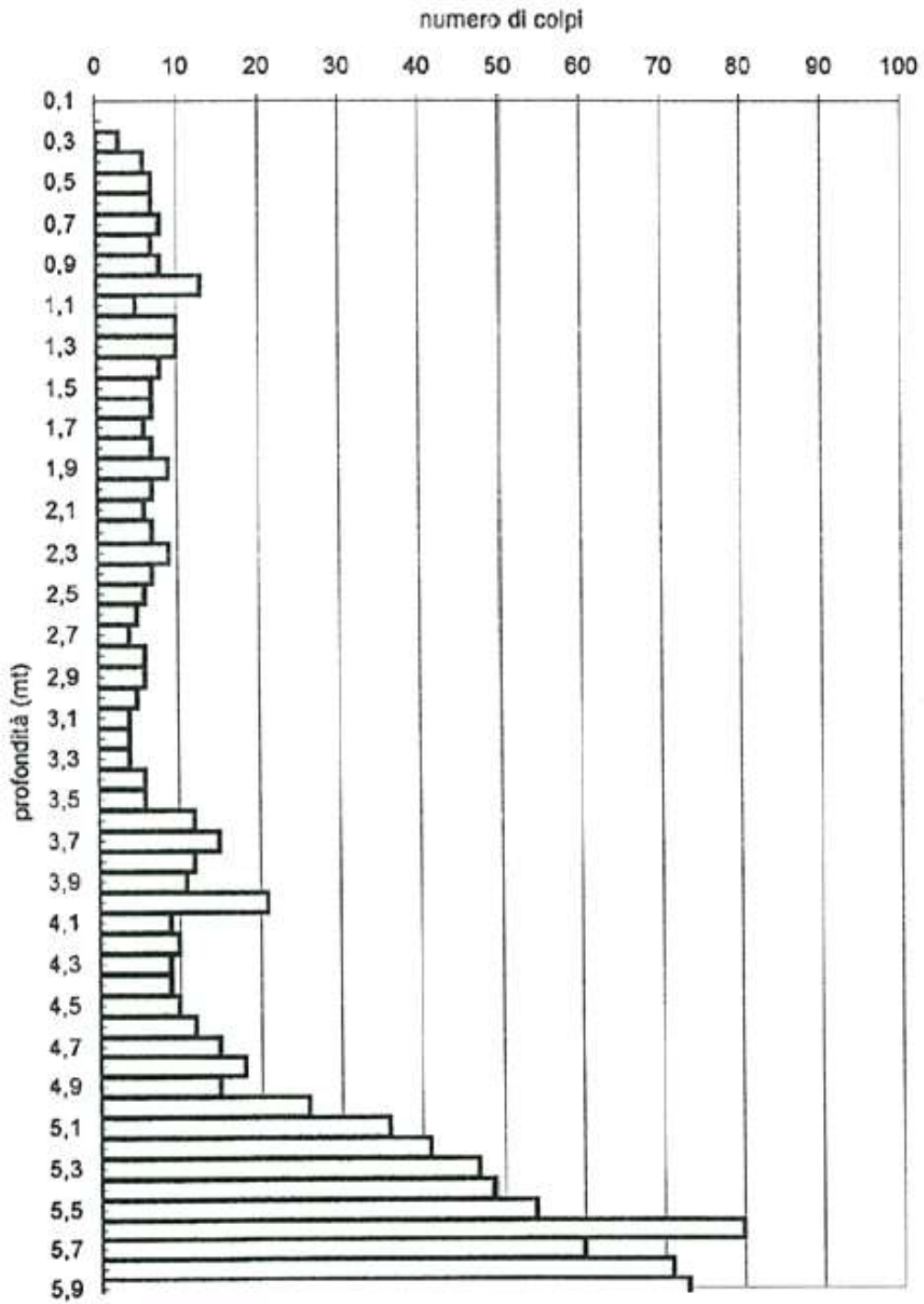
Committente: Amm.ne Comunale;



Prova penetrometrica n° 5;

Data: 19.06.2000;

Committente: Amm.ne Comunale;



## PALI DI FONDAZIONE

### NORMATIVE DI RIFERIMENTO

**NTC2018** - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» - D.M. 17 gennaio 2018

**NTC2008** - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008.

**CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617** - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)

**Eurocodice 7:** Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

**Eurocodice 8:** Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### Carico limite verticale

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno. A riguardo, poiché la realizzazione di un palo, sia esso infisso o trivellato, modifica sempre le caratteristiche del terreno nell'intorno dello stesso, si propone di assumere un angolo di resistenza a taglio pari a:

$$\phi' = \frac{3}{4}\phi + 10 \text{ nei pali infissi}$$

$$\phi' = \phi - 3^\circ \text{ nei pali trivellati}$$

dove  $\phi$  è l'angolo di resistenza a taglio prima dell'esecuzione del palo. Di seguito indicheremo con  $\phi$  il parametro di resistenza scelto.

Ai fini del calcolo, il carico limite  $Q_{lim}$  viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta  $Q_p$  e la resistenza laterale  $Q_l$ .

### Resistenza unitaria alla punta

#### Formula di Terzaghi

La soluzione proposta da Terzaghi assume che il terreno esistente al disopra della profondità raggiunta dalla punta del palo possa essere sostituito da un sovraccarico equivalente pari alla tensione verticale efficace (trascurando pertanto il fatto che l'interazione tra palo e terreno di fondazione possa modificare tale valore) e riconduce l'analisi al problema di capacità portante di una fondazione superficiale.

La formula di *Terzaghi* può essere scritta:

$$Q_p = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45 + \phi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

#### Metodo di Berezantzev

Fondamentalmente *Berezantzev* fa riferimento ad una superficie di scorrimento “alla Terzaghi” che si arresta sul piano di posa (punta del palo); tuttavia egli considera che il cilindro di terreno coassiale al palo ed avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento, sia in parte “sostenuto” per azione tangenziale dal rimanente terreno lungo la superficie laterale. Ne consegue un valore della pressione alla base

inferiore a  $\gamma D$ , e tanto minore quanto più questo “effetto silo” è marcato, cioè quanto più grande è il rapporto  $D/B$ ; di ciò tiene conto il coefficiente  $N_q$ , che quindi è funzione decrescente di  $D/B$ .

La resistenza unitaria  $Q_p$  alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito ( $\phi$ ) e di coesione ( $c$ ), è data dall'espressione:

$$Q_p = c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q$$

Avendo indicato con:

- $\gamma$  peso unità di volume del terreno;
- $L$  lunghezza del palo;
- $N_c$  e  $N_q$  sono i fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare);

### Metodo di Vesic

Vesic ha assimilato il problema della rottura intorno alla punta del palo a quello di espansione di una cavità cilindrica in mezzo elasto-plastico, in modo da tener conto anche della compressibilità del mezzo.

Secondo Vesic i coefficienti di capacità portante  $N_q$  e  $N_c$  si possono calcolare come segue:

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} \left\{ \exp \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \phi \right) \tan \phi \right] \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) I_{rr}^{(4 \sin \phi)} [3(1 + \sin \phi)] \right\}$$

L'indice di rigidezza ridotto  $I_{rr}$  nella precedente espressione viene calcolato a partire dalla deformazione volumetrica  $\varepsilon_v$ .

L'indice di rigidezza  $I_r$  si calcola utilizzando il modulo di elasticità tangenziale  $G'$  e la resistenza a taglio  $s$  del terreno.

Quando si hanno condizioni non drenate o il suolo si trova in uno stato addensato, il termine  $\varepsilon_v$  può essere assunto pari a zero e si ottiene  $I_{rr} = I_r$ .

E' possibile fare una stima di  $I_r$  con i valori seguenti:

TERRENO	$I_r$
Sabbia	75-150
Limo	50-75
Argilla	150-250

Il termine  $N_c$  della capacità portante viene calcolato:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (a)$$

Quando  $\phi = 0$  (condizioni non drenate)

$$N_c = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

### Metodo di Janbu

Janbu calcola  $N_q$  (con l'angolo  $\psi$  espresso in radianti) come segue:

$$N_q = \left( \tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi} \right)^2 \exp(2\psi \tan \phi)$$

$N_c$  si può ricavare dalla (a) quando  $\phi > 0$ .

Per  $\phi = 0$  si usa  $N_c = 5.74$



### Formula di Hansen

La formula di Hansen vale per qualsiasi rapporto  $D/B$ , quindi sia per fondazioni superficiali che profonde, ma lo stesso autore introdusse dei coefficienti per meglio interpretare il comportamento reale della fondazione, senza di essi, infatti, si avrebbe un aumento troppo forte del carico limite con la profondità.

Per valori  $L/D > 1$ :

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{L}{D}$$

Nel caso  $\phi = 0$

$D/B$	0	1	1.1	2	5	10	20	100
$d'_c$	0	0.40	0.33	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

Nei fattori seguenti le espressioni con apici (') valgono quando  $\phi = 0$ .

Fattore di forma:

$$s'_c = 0.2 \cdot \frac{D}{L}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{D}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \cdot \tan \phi$$

$$s_q = 1 + \frac{D}{L} \cdot \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{D}{L}$$

Fattore di profondità:

$$d'_c = 0.4 \cdot k$$

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi) \cdot k$$

$$d_\gamma = 1 \text{ perqualsiasik}$$

$$k = \tan^{-1} \frac{L}{D} \text{ se } \frac{L}{D} > 1$$

### Resistenza del fusto

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo  $\alpha$ , proposto da Tomlinson (1971); la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$Q_1 = (\alpha c + \sigma K \tan \delta) \cdot A_l \cdot f_w$$

$A_l$  = superficie laterale del palo;

$f_w$  = fattore di correzione legato alla tronco-conicità del palo, ossia la diminuzione percentuale del diametro del palo con

$c$  = valore medio della coesione (o della resistenza a taglio in condizioni non drenate);

$\sigma$  = pressione verticale efficace del terreno;

$K$  = coefficiente di spinta orizzontale, dipendente dalla tecnologia di esecuzione del palo e dal precedente stato di addensamento, viene calcolato come segue:

Per pali infissi

$$K = 1 - \tan^2\phi$$

o, nel caso specifico, è possibile assegnare i seguenti valori proposti in tabella:

Palo	K	
	Terreno sciolto	Terreno denso
Acciaio	0.5	1
Calcestr. Pref.	1	2
Legno	1	3

Per pali trivellati

$$K = 1 - \text{sen}\phi$$

$\delta$  = attrito palo-terreno funzione della scabrezza della superficie del palo;

Per pali infissi

$$\delta = 3/4 \tan\phi$$

Per pali trivellati

$$\delta = \tan\phi$$

$\alpha$  = coefficiente d'adesione ricavato come di seguito riportato:

**Pali trivellati:**

$$\text{Caquot - Kerisel} \quad \alpha = \frac{100 + c^2}{100 + 7c^2}$$

*Meyerhof - Murdock (1963)*

$$\alpha = 1 - 0.1 \cdot c \quad \text{per } c < 5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.525 - 0.005 \cdot c \quad \text{per } c \geq 5 \text{ t/m}^2$$

*Whitaker - Cooke (1966)*

$$\alpha = 0.9 \quad \text{per } c < 2.5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.8 \quad \text{per } 2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.6 \quad \text{per } 5 \leq c \leq 7.5 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.9 \quad \text{per } c > 7.5 \text{ t/m}^2$$

*Woodward (1961)*

$$\alpha = 0.9 \quad \text{per } c < 4 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.6 \quad \text{per } 4 \leq c < 8 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.5 \quad \text{per } 8 \leq c < 12 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.4 \quad \text{per } 12 \leq c \leq 20 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha = 0.20 \quad \text{per } c > 20 \text{ t/m}^2$$

**Pali infissi**

Coefficiente $\alpha$ per palo infisso	
$2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$	$\alpha = 1.00$
$5 \leq c < 10$	$\alpha = 0.70$
$10 \leq c < 15$	$\alpha = 0.50$
$15 \leq c < 20$	$\alpha = 0.40$
$c \geq 20$	$\alpha = 0.30$

**Attrito negativo**

Quando un palo viene infisso o passa attraverso uno strato di materiale compressibile prima che si sia esaurito il processo di consolidazione, il terreno si muoverà rispetto al palo facendo insorgere sforzi attritivi tra palo e terreno che inducono al cosiddetto fenomeno dell'attrito negativo. L'effetto dell'attrito negativo è quello di aumentare il carico assiale sul palo, con conseguente aumento del cedimento, dovuto all'accorciamento elastico del palo stesso per effetto dell'aumento di carico. La forza che nasce per effetto dell'attrito negativo è stimata pari alla componente attritiva della resistenza laterale (vedi Resistenza del fusto) lungo la superficie laterale a contatto con lo strato in cui si genera tale fenomeno, ma di verso opposto all'attrito positivo. La risultante così determinata non viene detratta dal carico limite, ma da quello di esercizio.

### Fattore di correzione in condizioni sismiche.

#### Criterio di Vesic

Secondo questo autore per tenere conto del fenomeno della dilatanza nel calcolo della capacità portante è sufficiente diminuire di  $2^\circ$  l'angolo d'attrito degli strati di fondazione. Il limite di questo suggerimento è nel fatto che non tiene conto dell'intensità della sollecitazione sismica (espressa attraverso il parametro dell'accelerazione sismica orizzontale massima). Questo criterio pare però trovare conferma nelle osservazioni fatte in occasione di diversi eventi sismici.

#### Criterio di Sano

L'autore propone di diminuire l'angolo d'attrito degli strati portanti di una quantità data dalla relazione:

$$D_p = \arctg \left( \frac{a_{max}}{\sqrt{2}} \right)$$

dove  $a_{max}$  è l'accelerazione sismica orizzontale massima.

Questo criterio, rispetto a quello di *Vesic*, ha il vantaggio di prendere in considerazione anche l'intensità della sollecitazione sismica. L'esperienza però dimostra che l'applicazione acritica di questa relazione può condurre a valori eccessivamente cautelativi di *Qlim*.

Le correzioni di *Sano* e di *Vesic* si applicano esclusivamente a terreni incoerenti ben addensati. È errato applicarle a terreni sciolti o mediamente addensati, dove le vibrazioni sismiche producono il fenomeno opposto a quello della dilatanza, con aumento del grado di addensamento e dell'angolo d'attrito.

#### Cedimenti metodo di Davis-Poulos

Il cedimento verticale è stato calcolato con il metodo di *Davis-Poulos*, secondo il quale il palo viene considerato rigido (indeformabile) immerso in un mezzo elastico, semispazio o strato di spessore finito.

Si ipotizza che l'interazione palo-terreno sia costante a tratti lungo  $n$  superfici cilindriche in cui viene suddivisa la superficie laterale del palo.

Il cedimento della generica superficie  $i$  per effetto del carico trasmesso dal palo al terreno lungo la superficie  $j$ -esima può essere espresso:

$$W_{i,j} = (\tau_j / E) \cdot B \cdot I_{i,j}$$

Avendo indicato con:

$\tau_j$  = Incremento di tensione relativo al punto medio della striscia

$E$  = Modulo elastico del terreno

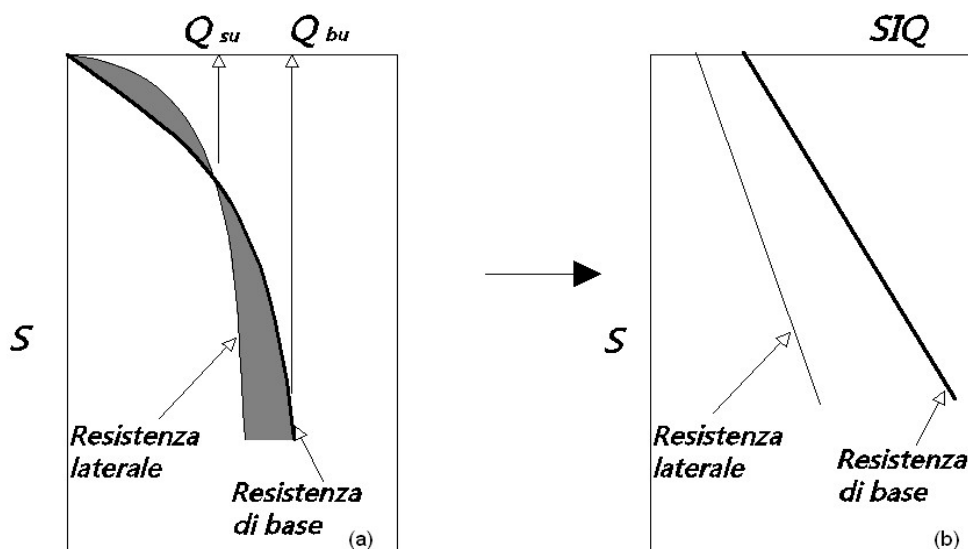
$B$  = Diametro del palo

$I_{i,j}$  = Coefficiente di influenza

Il cedimento complessivo si ottiene sommando  $W_{i,j}$  per tutte le  $j$  aree

#### Cedimento Metodo Iperbolico

Il metodo iperbolico modificato rappresenta uno sviluppo dello studio di Chin (1970,1972,1983) che consente di stimare il cedimento di pali singoli partendo dall'idea che il diagramma carico-cedimento, per il corpo di un palo e la sua base, abbia un andamento iperbolico. I valori del *carico ultimo laterale* ( $Q_{su}$ ) e la *resistenza di base ultima* ( $Q_{bu}$ ) rappresentano i termini asintotici della curva (figura a) (*Terzaghi, 1943*). Sotto queste ipotesi è possibile giungere ad una rappresentazione linearizzata del problema considerando la variazione della quantità  $S/Q$  rispetto allo spostamento  $S$  (figura b).



Grafici cedimento iperbolico (a) e linearizzato (b).

Grafici cedimento iperbolico (a) e linearizzato (b)

Lo studio di *Fleming* ha dimostrato che gli spostamenti totali stimati col metodo di *Chin* erano distorti dall'*accorciamento elastico* del corpo del palo e suggerì una tecnica semplificata per la quale la deformazione elastica del palo può essere determinata, con sufficiente accuratezza, sottraendo alla stima di *Chin* l'*accorciamento* del palo.

Considerando lo schema in figura l'*accorciamento elastico* del palo dipende dal carico applicato  $Q$  in rapporto all'*attrito laterale ultimo*  $Q_{su}$ . In particolare se  $Q \leq Q_{su}$  la deformazione elastica del corpo del palo corrisponde alla somma dell'*accorciamento elastico* lungo la zona ad *attrito basso o nullo* e quello che si sviluppa lungo la parte *attiva* del fusto:

$$S_e = \frac{4Q(L_o + K_e L_a)}{\pi d_s^2 E_c}$$

Se, invece, si ha che  $Q > Q_{su}$  bisogna considerare un ulteriore *accorciamento* legato alla parte attiva del palo che deve essere aggiunta alla deformazione elastica:

$$S_e = \frac{4}{\pi d_s^2 E_c} [Q(L_o + L_a) - L_a Q_{su} (1 - k_e)]$$

I parametri della formula sono:

- $d_s$ : diametro testa del palo.
- $E_c$ : modulo di elasticità del materiale del palo il cui valore può essere ricavato da una interpolazione lineare tra i valori di  $E_c = 26 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$  per calcestruzzo con forza specifica di  $20 \text{ N/mm}^2$  e il valore di  $E_c = 40 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$  per calcestruzzo da  $40 \text{ N/mm}^2$ .
- $L_o$ : lunghezza del palo ad *attrito basso o nullo*.
- $L_a$ : lunghezza attiva del palo.
- $k_e$ : rapporto della lunghezza equivalente del fusto del palo rispetto alla lunghezza attiva  $L_a$ . Si può considerare un valore di 0.5 quando si ha un *attrito* che si sviluppa uniformemente lungo  $L_a$  oppure quando il palo è inserito in sabbia o ghiaia. Per pali in argilla caratterizzati da uno sforzo che cresce in profondità si può usare un valore di 0.45.

Lo spostamento del *palo rigido* può essere calcolato sapendo che la somma dell'*attrito laterale* e della resistenza di base corrisponde al carico totale applicato alla testa del palo.

$$Q=Q_s+Q_b$$

Considerando il palo rigido lo spostamento totale in testa è uguale a quello che si ottiene lungo il fusto ed è uguale a quello misurato alla base del palo:

$$S_t=S_s=S_b$$

Dal grafico linearizzato si può vedere che lo spostamento lungo il fusto del palo può essere calcolato come:

$$S_s = \frac{M_s d_s Q_s}{Q_{su} - Q_s}$$

In cui

- $M_s$ : fattore adimensionale di flessibilità terreno/fusto.
- $d_s$ : diametro testa.
- $Q_s$ : attrito.
- $Q_{su}$ : attrito ultimo determinato col metodo statico (condizione drenata)

L'equazione dello spostamento alla base del palo ricavata da Fleming è:

$$S_b = \frac{0.6 Q_{bu} Q_b}{d_b E_b (Q_{bu} - Q_b)}$$

dove

- $d_b$ : diametro della base del palo.
- $Q_b$ : resistenza alla base.
- $Q_{bu}$ : resistenza ultima alla base
- $E_b$ : modulo di taglio corrispondente a  $Q_{bu}/4$

Infine, ponendo la condizione di uguaglianza  $S_s=S_b$  e considerando il carico totale applicato  $Q$  si ottiene lo spostamento totale di un palo rigido considerando solo i valori positivi della relazione:

$$S_t = \frac{-g \pm \sqrt{g^2 - 4fh}}{2f}$$

In cui le variabili sono così definite:

- $f = \eta(Q - \alpha) - \beta$
- $g = Q(\delta + \lambda\eta) - \alpha\delta - \beta\lambda$
- $h = \lambda\delta Q$
- $\alpha = Q_{su}$
- $\beta = d_b E_b Q_{bu}$
- $\lambda = M_s d_s$
- $\delta = 0.6 Q_{bu}$

$$\bullet \eta = d_b E_b$$

Lo spostamento complessivo del palo comprende la componente di spostamento rigido e quella di accorciamento elastico.

Il modulo elastico del terreno  $E_b$  al di sotto della base del palo è legato alle caratteristiche del terreno ed è fortemente influenzato dalla tecnica di costruzione del palo. Fleming sostiene che è consigliabile che questo parametro di progetto sia determinato da un insieme accurato di prove in cui i pali sono caricati fino al punto in cui viene mobilitata una sostanziale quota della resistenza di punta. In mancanza di questi dati si può scegliere, cautelativamente, il valore di  $E_b$  da range di valori relativi al tipo di terreno e alla tecnica di costruzione del palo.

### CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Il carico limite orizzontale è stato calcolato secondo la teoria sviluppata da Broms il quale assume che il comportamento dell'interfaccia palo-terreno sia di tipo rigido perfettamente plastico, e cioè che la resistenza del terreno si mobilita interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento a rimanga costante al crescere dello spostamento stesso.

Si assume che il comportamento flessionale del palo sia di tipo rigido-perfettamente plastico, vale a dire che le rotazioni elastiche del palo sono trascurabili finché il momento flettente non raggiunge il valore  $M_y$  di plasticizzazione.

Per i terreni coesivi Broms propone di adottare una reazione del terreno costante con la profondità pari a:

$$p = 9 \cdot c_u \cdot B$$

con reazione nulla fino alla profondità di 1.5 d; avendo indicato con:

$c_u$  = Coesione non drenata,

$B$  = Diametro del palo

$p$  = Reazione del terreno per unità di lunghezza del palo.

Per i terreni incoerenti si assume che la resistenza vari linearmente con la profondità secondo la legge:

$$p = 3K_p \gamma z \cdot B$$

avendo indicato con:

$p$  = Reazione del terreno per unità di lunghezza del palo;

$K_p$  = Coefficiente di spinta passiva;

$\gamma$  = Peso unità di volume del terreno;

$z$  = Profondità;

$B$  = Diametro del palo.

### Palo in condizioni d'esercizio

Analisi del palo in condizioni di esercizio: **Metodo degli elementi finiti.**

Il metodo degli elementi finiti modella il palo di fondazione, sottoposto a carichi trasversali, in modo realistico in quanto fa uso sia degli spostamenti che delle rotazioni ai nodi per definire la linea elastica del palo, pertanto rappresenta il metodo più razionale ed efficace attualmente disponibile per analizzare questo tipo di strutture.

Di seguito si richiamano i fondamenti teorici del metodo indicando con  $\mathbf{P}$  la matrice delle forze nodali esterne, con  $\mathbf{F}$  quella delle forze interne e con  $\mathbf{A}$  la matrice dei coefficienti di influenza che, per l'equilibrio tra forze esterne ed interne, lega le prime due secondo la ben nota forma:

$$\mathbf{P} = \mathbf{A}\mathbf{F}$$

Gli spostamenti interni  $\mathbf{e}$  (traslazioni e rotazioni) dell'elemento nel generico nodo sono legati agli spostamenti esterni  $\mathbf{X}$  (traslazioni e rotazioni) applicati ai nodi, dalla seguente relazione:

$$\mathbf{e} = \mathbf{B}\mathbf{X}$$

dove la matrice  $\mathbf{B}$  è dimostrato essere la trasposta della matrice  $\mathbf{A}$ .

D'altra parte, le forze interne  $\mathbf{F}$  sono legate agli spostamenti interni  $\mathbf{e}$  dalla seguente espressione:

$$\mathbf{F} = \mathbf{S}\mathbf{e}$$

Applicando le consuete sostituzioni, si ottiene:

$$\mathbf{F} = \mathbf{SA}^T \mathbf{X}$$

e quindi

$$\mathbf{P} = \mathbf{AF} = \mathbf{A SA}^T \mathbf{X}$$

Pertanto, calcolando l'inversa della matrice  $\mathbf{A SA}^T$  si ricava l'espressione degli spostamenti esterni  $\mathbf{X}$ :

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A SA}^T)^{-1} \mathbf{P}$$

Noti, quindi, gli spostamenti  $\mathbf{X}$  è possibile ricavare le forze interne  $\mathbf{F}$  necessarie per il progetto della struttura.

La matrice  $\mathbf{A SA}^T$  è nota come matrice di rigidità globale in quanto caratterizza il legame tra spostamenti e forze esterni nodali.

Il metodo ad elementi finiti ha, tra l'altro, il vantaggio di consentire di mettere in conto, come condizioni al contorno, rotazioni e spostamenti noti.

Le reazioni nodali delle molle che schematizzano il terreno vengono considerate come forze globali legate al modulo di reazione e all'area d'influenza del nodo. Nella soluzione ad elementi finiti per pali soggetti a carichi trasversali, il modulo di reazione viene considerato nella forma:

$$k_s = A_s + B_s Z^n$$

o, non volendo far crescere illimitatamente il  $k_s$  con la profondità, nella forma:

$$k_s = A_s + B_s \tan^{-1}(Z/B)$$

nella quale  $Z$  è la profondità e  $B$  è il diametro del palo.

I valori di  $A_s$  e  $B_s Z^n$  sono ottenuti dall'espressione della capacità portante (Bowles) con fattori correttivi  $s_i$ ,  $d_i$ , e  $i_i$  pari a 1:

$$k_s = q_{ult}/\Delta H = C(cN_c + 0.5\gamma B N_\gamma)$$

$$B_s Z^n = C(\gamma N_q Z^1)$$

Dove  $C = 40$  è ottenuto in corrispondenza di un cedimento massimo di 25 mm.

### Momenti cinematici

In presenza dell'azione sismica la risposta del palo è il risultato di una complessa interazione terreno-palo, resa di difficile interpretazione a causa dei fenomeni di non linearità nel terreno e degli effetti cinematici associati al moto del terreno.

Generalmente, alle sollecitazioni trasmesse dalla sovrastuttura si aggiungono, applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, quelle derivanti dall'interazione cinematica che produce nei pali sollecitazioni aggiuntive dipendenti principalmente dalla rigidità relativa palo-terreno.

Dalla letteratura esistente in merito a questo tipo di studi, emerge che nel caso di palo immerso in terreni stratificati, la sollecitazione flettente subisce un pronunciato incremento in prossimità dell'interfaccia fra strati di differente rigidità e tale incremento è tanto maggiore quanto più elevato è il contrasto di rigidità. In alcuni casi il valore del momento prodotto da questo effetto potrebbe superare quello che insorge nei pali in testa in presenza di incastro.

Da un'analisi di numerosi risultati, *Nikolaou et al. 2001*, ha proposto una relazione che consente di calcolare, in maniera approssimata, il momento flettente massimo in corrispondenza dell'interfaccia tra due strati di differente rigidità, in condizioni di moto stazionario con frequenza prossima alla frequenza fondamentale del deposito in cui è immerso il palo:

$$M = 0.042 \cdot \tau_c \cdot d^3 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0.30} \cdot \left(\frac{E_p}{E_1}\right)^{0.65} \cdot \left(\frac{E_p}{E_1}\right)^{0.65} \cdot \left(\frac{V_{s2}}{V_1}\right)^{0.50}$$

in cui  $\tau_c = a_{\max} \rho_1 H_1$ ;  $a_{\max}$  accelerazione sismica,  $\rho_1$  densità del terreno,  $H_1$  spessore dello strato,  $V_{s1}$  e  $V_{s2}$ , rispettivamente, la velocità delle onde di taglio nei due strati;  $E_1$  è modulo di rigidezza dello strato superiore di terreno,  $E_p$  modulo di elasticità del palo,  $d$  diametro del palo,  $L$  lunghezza del palo.



**Dati generali...**

Diametro punta	1,00 m
Lunghezza	15,00 m
Tipo	Trivellato
Portanza di punta calcolata con:	Berezantzev
Calcestruzzo tipo	1
Acciaio tipo	1

**SISMA**

Accelerazione sismica	0,072
Coefficiente di intensità sismico [Kh]	0,0129
Coefficiente di intensità sismico [Kv]	0,0065

**Coefficienti sismici [N.T.C.]****Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O. - SLE	30,0	0,422	2,527	0,257
S.L.D. - SLE	50,0	0,539	2,504	0,270
S.L.V. - SLO	475,0	1,177	2,620	0,297
S.L.C. - SLO	975,0	1,471	2,615	0,307

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Opere di sostegno

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,5064	1,0	0,0516	0,0258
S.L.D.	0,6468	0,47	0,031	0,0155
S.L.V.	1,4124	0,38	0,0547	0,0274
S.L.C.	1,7652	1,0	0,18	0,09

Dati Generali							
<b>Località</b>	<b>Dati opera</b>						
Indirizzo	Tipo opera: 2 - Opere ordinarie						
Racale	Classe d'uso: Classe II						
Lat. Long. 41.902783 12.496365	V. Nominale: 50 V. Rif. 50						
Parametri sismici su sito di riferimento							
SL	TR [Anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec.]	Categoria sottosuolo	B	
SLO	30,00	0,422	2,527	0,257	Categoria topografica	T1	
SLD	50,00	0,539	2,504	0,270			
SLV	475,00	1,177	2,620	0,297			
SLC	975,00	1,471	2,615	0,307			
Coefficienti sismici orizzontali e verticali							
Opera	Muri di sostegno (NTC 2018)	SL	amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta	khk [-]	kvk [-]	Khi [-]
		SLO	0,5064	1,0	0,0516	0,0258	0,0
		SLD	0,6468	0,47	0,031	0,0155	0,0
		SLV	1,4124	0,38	0,0547	0,0274	0,0
		SLC	1,7652	1,0	0,18	0,09	0,0
Stato limite di riferimento		SLO					

## Archivio materiali

### Conglomerati

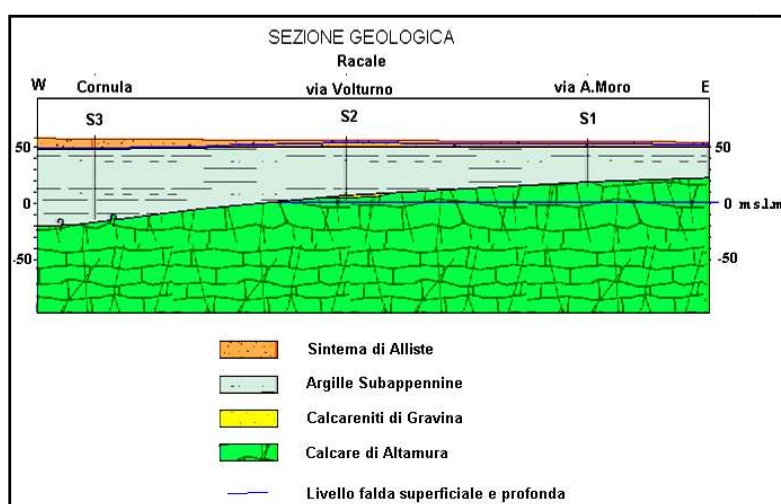
Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ec [Kg/cm <sup>2</sup> ]	fck [Kg/cm <sup>2</sup> ]	fcd [Kg/cm <sup>2</sup> ]	fctd [Kg/cm <sup>2</sup> ]	fctm [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1	C20/25	250	299600	200	113,3	10,1	22,1
2	C25/30	300	314750	250	141,6	11,4	25,6
3	C28/35	350	323080	280	158,6	12,6	27,6
4	C40/50	500	352200	400	226,6	16,3	35

### Acciai:

Nr.	Classe Acciaio	Es [Kg/cm <sup>2</sup> ]	fyk [Kg/cm <sup>2</sup> ]	fyd [Kg/cm <sup>2</sup> ]	ftk [Kg/cm <sup>2</sup> ]	ftd [Kg/cm <sup>2</sup> ]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 in.	β1*β2 fin.
1	B450C	2000000	4500	3913	4500	3913	.075	.0675	1	0,5
2	B450C*	2000000	4500	3913	5400	4500	.075	.0675	1	0,5
3	B450C**	2000000	4500	3913	4582	3985	.012	.01	1	0,5
4	S235H	2141370	2447,28	2128,11	3670,92	2128,11	0,012	0,01	1	0,5
5	S275H	2141370	2855,16	2482,97	4384,71	2482,97	0,012	0,01	1	0,5
6	S355H	2141370	3670,92	3191,66	5200,47	3670,92	0,012	0,01	1	0,5

### Stratigrafia

Nr.: Numero dello strato. Hs: Spessore dello strato. Fi: Angolo di attrito. c: Coesione Alfa: Coefficiente adesione attrito laterale. Vs: Velocità onde di taglio.



### Caratterizzazione Geotecnica

Descrizione Litologica	Calcareniti
Peso volume medio	$\rho = 20,0 \text{ KN/m}^3$

Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungotermine)	$\phi_m = 28^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c'_m = 9,8 \text{ kN/m}^2$
Coesione non drenata	$C_m = 15,69 \text{ kN/m}^2$
Modulo di Edometrico medio	$E_m = 22,00 \text{ MPa}$
Modulo di Poisson	$\nu = 0.40$
Modulo di Young dinamico	$E_{din} = 87 \text{ MPa}$
Modulo di Taglio dinamico	$G_d = 11 \text{ MPa}$

**Carico limite**

Stratigrafia	Nq	Nc	Fi/Cstrato punta Palo (°)/[kg/cm <sup>2</sup> ]	Peso palo [kg]	Carico limite punta [kg]	Carico limite laterale [kg]	Carico limite [kg]	Attrito negativo [kg]	Carico limite orizzontale [kg]
A1+M1+R3	27,16	38,78	34/0,00	19634,95	0,00	92708,34	73073,39	--	--

**RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI**

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione:

Numero verticali di indagine	1
Fattore correlazione verticale indagate media (xi3)	1,00
Fattore correlazione verticale indagate minima (xi4)	1,00

	Rc, Min [kg]	Rc, Media [kg]	Rc, Max [kg]
Base	--	--	--
Laterale	92708,34	92708,34	92708,34
Totale	73073,39	73073,39	73073,39

Coefficiente parziale resistenza caratteristica	R3
Laterale	2,50
Resistenza di progetto laterale	37083,34 kg
Resistenza di progetto	17448,38 kg

**Cedimento (Poulos e Davis 1968)**

Carico applicato	100,00 kg
Coefficiente influenza	0,15
Cedimento	0,00 cm

**Modello ad elementi finiti**

Max spostamento lineare del terreno	0,013 cm
Tipo analisi	Lineare
Massimo numero di iterazioni	1,00
Fattore di riduzione molla fondo scavo	1,00
Numero di elementi	9,00
Nodo sulla superficie del terreno [ $< n^\circ$ nodi]	1,00
Modulo di reazione Ks	Bowles

**ANALISI AD ELEMENTI FINITI [Stratigrafia di riferimento...1]**

El. No	Lunghezza [m]	Ks [kg/cm <sup>3</sup> ]	Sforzo normale [kg]	Momento [kgm]	Taglio [kg]	Reazione terreno [kg]	Rotazione (°)	Spostamento [m]	Pressione terreno [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	1,67	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,67	0,087	3272,49	0	0	0	0	0	0
3	1,67	11,566	6544,98	0	0	0	0	0	0

4	1,67	11,566	9817,48	0	0	0	0	0	0	0
5	1,67	11,566	13089,97	0	0	0	0	0	0	0
6	1,67	11,566	16362,46	0	0	0	0	0	0	0
7	1,67	11,566	19634,95	0	0	0	0	0	0	0
8	1,67	11,566	22907,45	0	0	0	0	0	0	0
9	1,67	11,566	26179,94	0	0	0	0	0	0	0
10		11,566	29452,43	0	0	0	0	0	0	0

**ARMATURE**

Nodo	Z [m]	Nd [kg]	Md [kgm]	Td [kg]	Nr. Barre Diametro	Nu [kg]	Mu [kgm]	Cond. Verifica Flessione	Ver. Presso-Flessione	Def. Max Cls	Def. Max Fe	Asse Neutro [cm]	Passo Staffe [cm]	Res. Taglio [kg]	Sicurezza taglio	Cond. Verifica Taglio
1	0	--	--	--	12Ø16	-0,55	28648,91	2864,89	Verificata	5,79E-04	-1,96E-03	27,16	--	--	--	Verificata
2	1,67	3272,49	--	--	12Ø16	3272,50	29770,87	2977,09	Verificata	6,02E-04	-1,96E-03	26,47	--	--	--	Verificata
3	3,33	6544,98	--	--	12Ø16	6544,62	30883,53	3088,35	Verificata	6,24E-04	-1,96E-03	25,80	--	--	--	Verificata
4	5	9817,48	--	--	12Ø16	9816,79	31986,31	3198,63	Verificata	6,46E-04	-1,96E-03	25,17	--	--	--	Verificata
5	6,67	13089,97	--	--	12Ø16	13090,52	33080,22	3308,02	Verificata	6,68E-04	-1,96E-03	24,55	--	--	--	Verificata
6	8,33	16362,46	--	--	12Ø16	16362,46	34164,72	3416,47	Verificata	6,89E-04	-1,96E-03	23,96	--	--	--	Verificata
7	10	19634,95	--	--	12Ø16	19634,10	35240,39	3524,04	Verificata	7,10E-04	-1,96E-03	23,38	--	--	--	Verificata
8	11,67	22907,45	--	--	12Ø16	22907,31	36307,91	3630,79	Verificata	7,30E-04	-1,96E-03	22,83	--	--	--	Verificata
9	13,33	26179,94	--	--	12Ø16	26179,39	37366,50	3736,65	Verificata	7,50E-04	-1,96E-03	22,29	--	--	--	Verificata
10	15	29452,43	--	--	12Ø16	29451,47	38416,62	3841,66	Verificata	7,70E-04	-1,96E-03	21,77	--	--	--	Verificata