

 <b>ENGINEERING AND CONSTRUCTION</b>				<b>Relazione Geotecnica</b>											
				Document / Documento <b>PBPGX12971</b>						Sheet <i>Pagina</i> <b>1</b> of <i>di</i> <b>95</b>					
PROJECT <i>Progetto</i>				<b>PRIOLO GARGALLO</b> <b>CAPACITY MARKET ITALY</b>								Security Index <i>Indice Sicurezza</i>			
												<b>Riservato Aziendale</b>			
TITLE <i>Titolo</i>				<b>RELAZIONE GEOTECNICA DI CARATTERIZZAZIONE</b>											
CLIENT <i>Cliente</i>				<b>ENEL PRODUZIONE S.p.A</b>											
JOB no. .... Document no. ....															
CLIENT SUBMITTAL <i>Inoltro al Cliente</i>		<input type="checkbox"/> FOR APPROVAL <i>Per Approvazione</i>			<input type="checkbox"/> FOR INFORMATION ONLY <i>Per Informazione</i>			<input type="checkbox"/> NOT REQUESTED <i>Non Richiesto</i>							
SYSTEM <i>Sistema</i>	<b>00B</b>	DOCUMENT TYPE <i>Tipo Documento</i>	<b>TH</b>	DISCIPLINE <i>Disciplina</i>	<b>C</b>	FILE <i>File</i>	<b>PBPGX12971.doc</b>								
REV	DESCRIPTION OF REVISIONS / <i>Descrizione delle revisioni</i>														
00	Prima emissione														
00	16.02.21	ES												 FAVATA	 ZANELLO
			IGES WORLD	PRO	ELE	I&C	MEC	CIV	C&E	COS	AVV	QUA	MAC	PE	
REV	Date <i>Data</i>	Scope <i>Scopo</i>	Prepared by <i>Preparato</i>	Co-operations <i>Collaborazioni</i>								Approved by <i>Approvato</i>	Issued by <i>Emesso</i>		

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.

This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.

**INDICE**

1. INTRODUZIONE .....	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
3. BIBLIOGRAFIA ENEL .....	3
4. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO .....	4
4.1. Inquadramento geografico .....	4
4.2. Inquadramento geologico e geomorfologico generale.....	5
4.2.1. Inquadramento geomorfologico.....	5
4.2.2. Inquadramento topografico .....	6
4.2.3. Inquadramento geologico.....	7
4.3. Rischio geologico relativo all'area in esame .....	18
4.3.1. Inquadramento idrogeologico .....	18
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA: AZIONE SISMICA .....	21
6. QUADRO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE DISPONIBILI .....	27
6.1. Prove di laboratorio .....	30
6.1.1. Analisi granulometrica .....	30
6.1.2. prove triassiali CIU e UU .....	32
6.1.3. Prove Edometriche .....	33
6.2. Prove in situ .....	35
6.2.1. Prove SPT .....	35
6.2.2. Prove CPT .....	39
6.3. Caratterizzazione sismica .....	39
6.3.1. Prove MASW .....	39
6.3.2. Misure sismiche passive HVSR .....	42
7. MODELLO GEOTECNICO DELL'AREA DI STUDIO .....	44
8. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE .....	47
8.1. Definizione dell'input sismico .....	50
8.2. Verifiche a liquefazione .....	50

## 1. INTRODUZIONE

La presente Relazione Geotecnica si riferisce al Progetto per la realizzazione di un edificio per il trattamento dell'ammoniaca nella Centrale di Priolo Gargallo in provincia di Siracusa.

Scopo del presente elaborato tecnico di sintesi è quello di:

- descrivere i caratteri geologici generali dell'area;
- descrivere le condizioni di sismicità del sito;
- esaminare e interpretare le indagini geognostiche e geotecniche condotte in sito;
- fornire una descrizione litologica delle formazioni presenti;
- fornire una caratterizzazione geomeccanica di massima dei litotipi presenti, necessaria per la descrizione di un modello geologico di riferimento.

Il sito in questione è stato oggetto di varie campagne d'indagine, che si sono susseguite a partire dal 1971.

Tutte le indagini eseguite nell'area oggetto di studio, sono state utili ad integrare le informazioni esistenti nonché quelle di carattere bibliografico ricavate dalla letteratura geologica di questo settore della Sicilia sud-orientale.

L'analisi dei dati provenienti dalle varie campagne d'indagine, consente la formulazione di un modello geologico-tecnico indicativo del sottosuolo che sarà strumento utile in fase di progettazione delle nuove opere previste da ENEL.

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», DECRETO 17 gennaio 2018. Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 42 del 20 febbraio 2018 - MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI.
- CIRCOLARE 21 gennaio 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.
- Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65pp. + 5 appendici.

## 3. BIBLIOGRAFIA ENEL

- ENEL, 2000 - Doc. B12PR00092 - Centrale termoelettrica di Priolo Gargallo – Trasformazione in ciclo combinato – Indagini geognostiche e geotecniche – GEOMERID.
- ENEL, 2001 - Doc. B12PR00092 - Centrale termoelettrica di Priolo Gargallo – Trasformazione in ciclo combinato sez. 1 e 2 – Edificio turbogas-alternatore e trasformatori- Relazione geotecnica.
- ENEL, 2002 - Doc. B12PR01907 - Centrale termoelettrica di Priolo Gargallo – Trasformazione in ciclo combinato sez. 1 e 2 – Camino, Pipe-Rack, Tettoia Caldaia Ausiliaria- Relazione geotecnica.
- ENEL, 2020 - Doc. PBPGX00421 - Centrale termoelettrica di Priolo Gargallo – Realizzazione caldaia ausiliaria – Indagini geotecniche e geofisiche - GEOGAV.
- ENEL, 2020 - Doc. PBPGX00423 - Centrale termoelettrica di Priolo Gargallo – Realizzazione caldaia ausiliaria – Relazione Geologica.

#### 4. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

##### 4.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La centrale termoelettrica di Priolo Gargallo è situata lungo la costa orientale della Sicilia a sud-est dell'abitato di Priolo Gargallo (SR), sulla fascia costiera ionica, ad una quota di 3-5 m s.l.m..

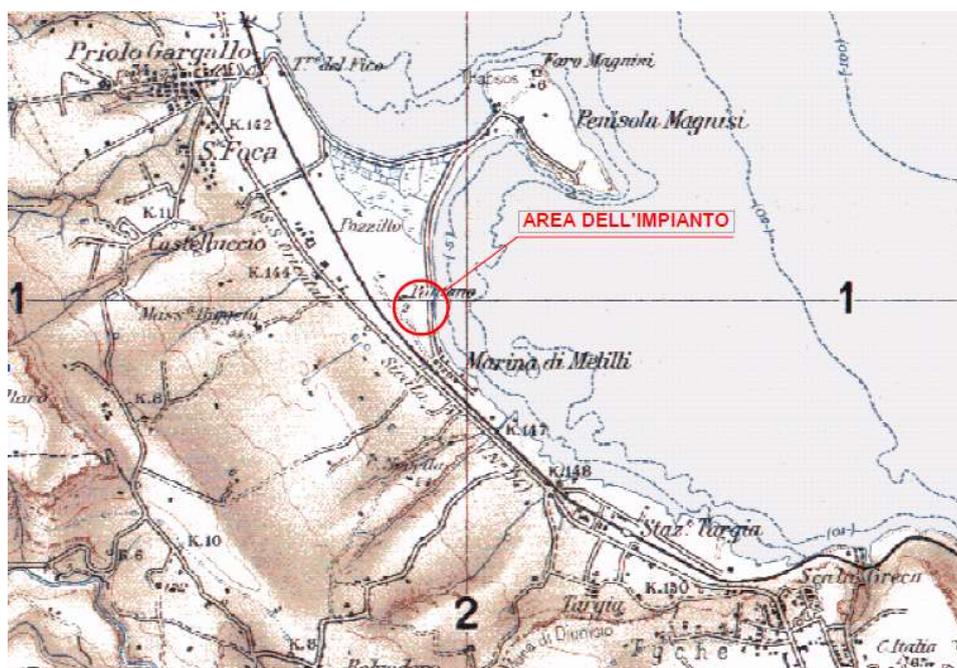
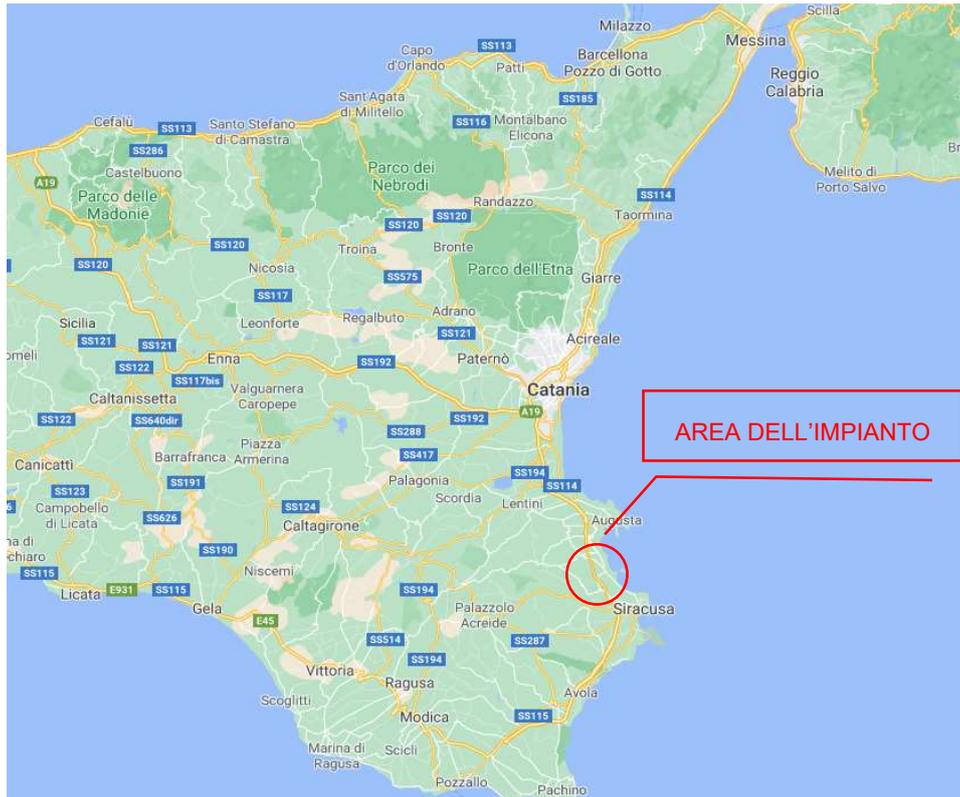


Figura 4-1: Localizzazione dell'impianto



**Figura 4-2: Ubicazione dell'area d'intervento**

## **4.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO GENERALE**

### **4.2.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'area della centrale di Priolo Gargallo ricade, geologicamente, nel cosiddetto Plateau Ibleo (Sicilia sudorientale) costituito da una potente successione meso-cenozoica, fino a oligo-miocenica, prevalentemente carbonatica, con ripetute intercalazioni di vulcaniti basiche.

Questa potente successione sedimentaria costituisce l'avampese della catena a sovrascorrimenti che è presente a Nord Ovest dell'allineamento Gela - Catania. Più in particolare, nell'area della centrale il substrato roccioso profondo è costituito da una calcarenite sabbiosa molto ricca di resti fossiliferi di colore giallastro passante da poco cementata al tetto a fortemente cementata. Questa formazione è stata rinvenuta nei tre sondaggi profondi a quote variabili tra i -56 e i -60 metri dal piano campagna ed è in parte affiorante all'apice della penisola di Magnisi. Circa il vulcanismo che caratterizza la Sicilia Sudorientale esso è legato una evoluzione iniziata da già nel mesozoico (Monti Iblei) spostandosi però successivamente sempre più a Nord fino a raggiungere, nel Pleistocene medio, la posizione attualmente occupata dall'Etna. Durante questo lungo periodo le formazioni vulcaniche e vulcanoclastiche, che si sono depositate in condizioni prevalentemente sottomarine ma anche subaeree, si trovano spesso alternate con le formazioni sedimentarie marine sopra descritte.

Tutta la successione iblea è stata ricoperta nel Pliocene inferiore da micriti calcareo -marnose pelagiche note col nome di Trubi. Infine, la trasgressione Pliocenica ha depositato una potente sequenza pelitica argilloso - siltosa grigio-azzurra talora con intercalazioni sabbioso - siltose fossilifere.

Questa formazione assume particolare sviluppo e spessore (fino a 300metri) a causa della presenza della depressione tettonica di Augusta.



Questo orizzonte presenta una permeabilità molto bassa e costituisce il substrato impermeabile dell'acquifero superiore contenuto in sabbie e calcareniti grossolane organogene ("panchina") giallastre a stratificazione incrociate.

Al di sopra di questa successione si sono depositati sedimenti sciolti di origine alluvionale che passano gradualmente verso i sedimenti marini di spiaggia.

L'evoluzione tettonica dell'area del sito è stata caratterizzata da movimenti prevalentemente verticali, prima legati al sollevamento del Plateau Ibleo dimostrato dalla presenza di terrazzi marini del Pleistocene inferiore e medio a quote rispettivamente di 800 e 200 metri s.l.m.

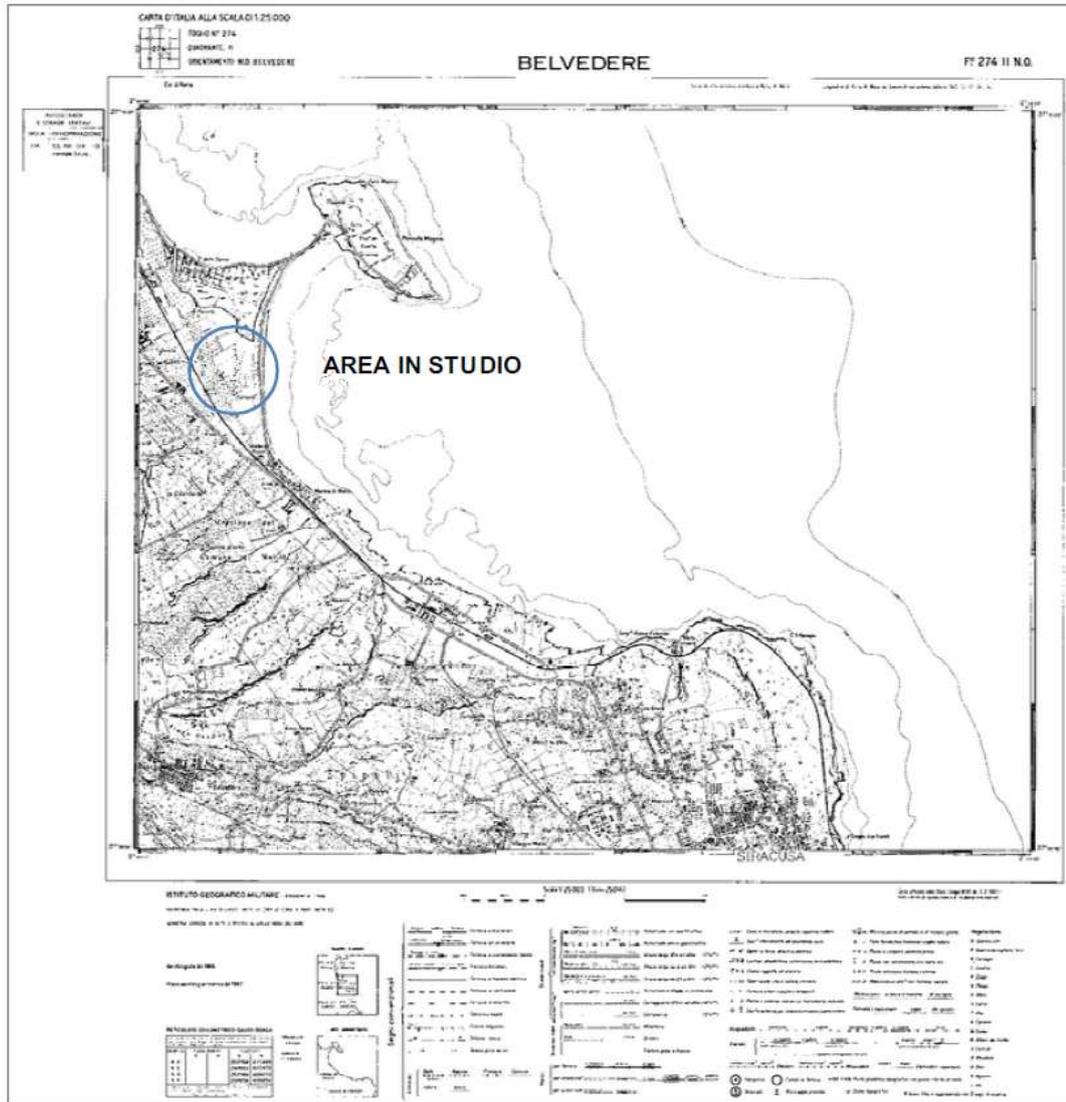
Successivamente l'attività tettonica della zona è stata guidata dai movimenti distensivi del margine orientale del blocco Ibleo legati principalmente ai movimenti lungo la cosiddetta "Scarpata di Malta" una zona di frattura che borda il lato orientale della Sicilia. Nell'area del sito quest'attività distensiva ha portato alla formazione della depressione tettonica di Augusta che presenta un'orientazione NW - SE circa parallela alla zona di frattura principale.

Il D.M. 23 settembre 1981, che aggiorna le zone sismiche della Regione Sicilia, ha classificato il comune di Priolo Gargallo, in provincia di Siracusa, tra le località sismiche di seconda categoria (S=9).

Dal punto di vista geologico il sito è caratterizzato dalla presenza di alluvioni fluviali e depositi palustri recenti ed attuali sovrastanti una formazione di sabbie gialle, calcareniti organogene ("panchina"), conglomerati e ghiaie (Pleistocene medio superiore), che costituiscono il tetto di una formazione di calcareniti, sabbie giallastre e calciruditi organogene massive, che passano verso l'alto e lateralmente ad argille siltose-marnose grigio azzurre (Pliocene inferiore).

#### **4.2.2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

L'area d'interesse ricade nella Tavoletta "Belvedere" F. 274 II NO a scala 1:25.000 della Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano. Il sito di progetto risulta ubicato nel settore nord-orientale Ibleo, a sud-est del centro abitato di Priolo Gargallo e con precisione in c. da Pantano Pozzillo.



**Figura 4-3: Tavoletta IGM Belvedere**

Dal punto di vista morfologico l'area in esame si presenta sub-pianeggiante ed è topograficamente ubicata ad una quota media di circa 4,5 metri s.l.m, con una leggera pendenza verso est. A nord di tale area sono presenti le saline di Priolo Gargallo mentre verso est si rileva la spiaggia di Marina di Melilli. Dal un punto di vista più generale la morfologia dell'area è conseguenza di eventi tettonici, protrattisi dal Miocene al recente, che hanno determinato la presenza di alti e bassi strutturali denominati horst e graben. Ad ogni modo i processi morfogenetici in atto hanno scarsa rilevanza e influenza sull'assetto geostatico dell'area che risulta infatti priva di qualunque forma di erosione e/o dissesto, assetto che è quindi allo stato soddisfacente.

### **4.2.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'area in studio ricade nell'Avampese ibleo che costituisce, insieme con la Catena settentrionale e l'Avanfossa Gela-Catania, uno dei principali elementi strutturali della Sicilia orientale. Il Plateau Ibleo si presenta complessivamente come un horst calcareo allungato in senso NE-SW, delimitato a NW da una fossa asimmetrica incuneata tra l'avampese e la catena, denominata Fossa o Bacino di Caltanissetta la cui posizione sud-orientale costituisce l'Avanfossa Gela-Catania. Al largo della costa orientale l'Avampese Ibleo è troncato dalla



Scarpata Ibleo-Maltese.

Le successioni che affiorano nell'area iblea sono caratterizzate da sequenze prevalentemente carbonatiche di età Cretaceo-Quaternario, cui si intercalano orizzonti di vulcaniti basiche, talora di notevole potenza. Le formazioni di sottosuolo, per altro, sono ben conosciute a partire dal Trias medio dal momento che l'area è stata sede di intensa ricerca petrolifera da più di un trentennio.

L'area iblea è stata interessata, in tempi geologici, da movimenti di tipo distensivo, rappresentati da sistemi di faglie normali ad andamento parallelo che determinano depressioni interposte a zone rialzate. Queste depressioni limitate in entrambi i lati da una serie di faglie normali che ribassano verso una zona comune, prendono il nome di graben, viceversa le porzioni rialzate che contengono i graben prendono il nome di horst, infatti nella parte settentrionale della provincia di Siracusa sono facilmente individuabili il graben di Scordia - Lentini - Agnone, il graben di Augusta - Melilli - Priolo e il graben di Florida, inoltre sono facilmente individuabili l'horst di Lentini Agnone, l'horst di Monte Tauro, Costa Mendola, l'horst di Melilli, l'horst dei Monti Climiti e l'horst di Siracusa.

Per evidenziare i rapporti stratigrafici delle formazioni affioranti nell'area vasta, è stata redatta una carta geologica a scala 1: 35.000 e due profili geologici schematici ricadenti nella stessa carta (Tavola 1 e Tavola2).

In tali elaborati sono evidenti le strutture, partendo da nord, dell'horst di Costa Mendola, del graben di Melilli, dell'horst di Melilli, del graben di Priolo, dell'Horst dei Monti Climiti e di Siracusa, e a sud del graben di Florida.

#### **a) Inquadramento geologico dell'area in studio**

Lungo la costa ionica, da Agnone a Siracusa affiora una successione stratigrafica spesso lacunosa e caratterizzata da facies marine di acque basse di età compresa tra il Cretaceo e il Miocene superiore, alla quale si intercalano due orizzonti di vulcaniti basiche.

Al di sopra delle vulcaniti cretacee si estende una copertura oligo-miocenica rappresentata da calcari bianchi a macroforaminiferi e dalla Formazione dei M. Climiti, suddivisa nei Membri di Melilli in basso e dei Calcari di Siracusa in alto. Il Membro di Melilli è rappresentato da calcareniti polverulente biancastre, mentre il Membro dei Calcari di Siracusa è caratterizzato da biolititi algali con rodoliti, in cui sono riconoscibili grossi litotamni e talora anche resti di coralli coloniali e Clypeaster. Quest'ultima facies tende a progredire verso Ovest, sostituendosi al Membro di Melilli.

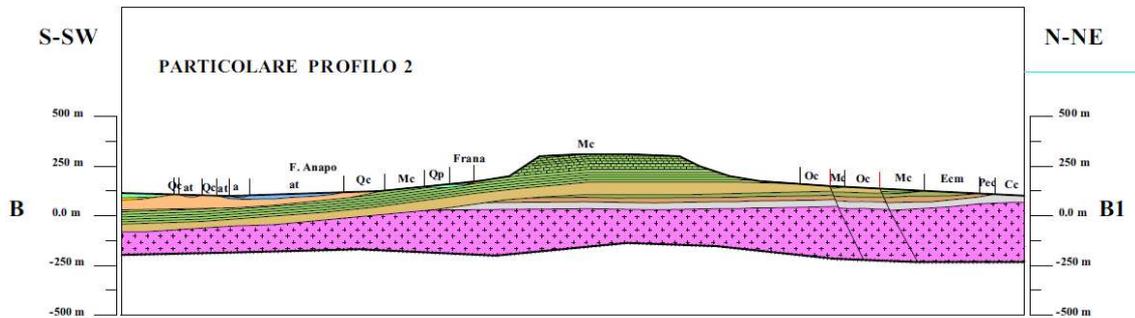
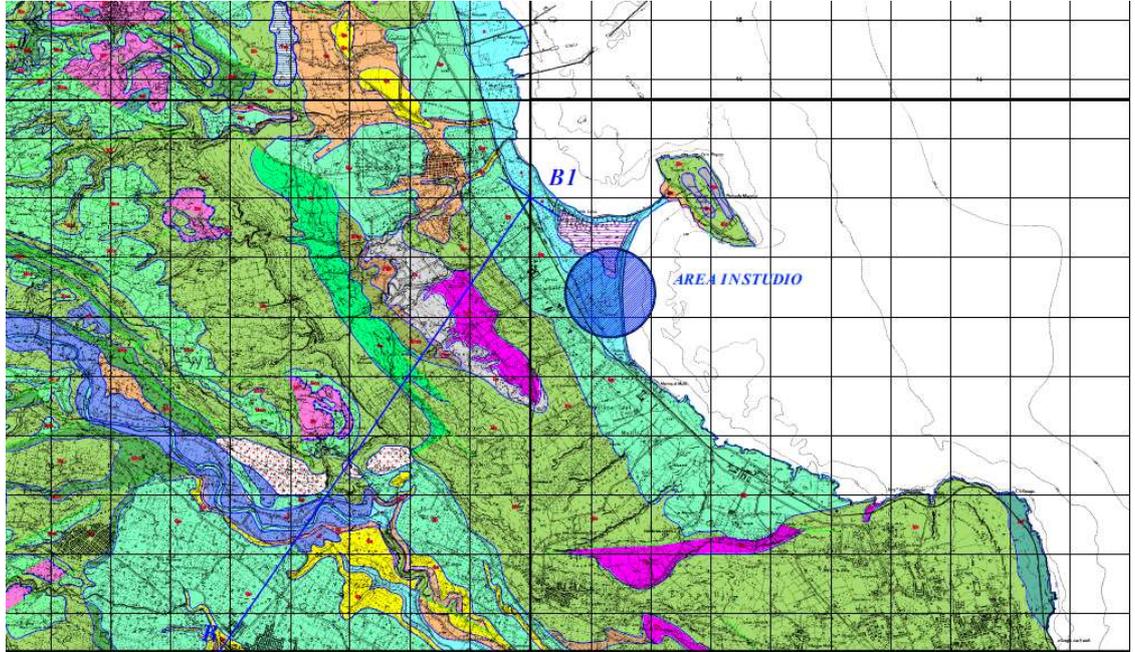
Lo spessore dell'intervallo carbonatico descritto è variabile, da alcune centinaia di metri lungo la bassa valle dell'Anapo e in corrispondenza dei Monti Climiti, ai pochi metri nei dintorni di Brucoli.

L'intervallo calcareo sopra delineato passa bruscamente in alto ad una sequenza di vulcanoclastiti con abbondante frazione sedimentaria, generatesi per esplosioni freatomagmatiche in ambiente marino di acque basse o subaereo (CARBONE & LENTINI, 1981).

Intercalate al materiale vulcanico, si sviluppano sottili ed estesi livelli biohermali con associazioni faunistiche varie. A questo intervallo di età tortoniana GRASSO et al. (1982) hanno dato il nome di Formazione Carlentini. In alto la successione viene chiusa da calcari teneri con faune marine, attribuibili al Tortoniano superiore, ed infine da "lumachelle" inframesiniane con faune oligotipiche a Cardiidae. Tale unità litostratigrafica è stata denominata Formazione M. Carrubba da GRASSO et al. (1982).

Tutta la sequenza oligo-miocenica finora descritta è ascrivibile a condizione di sedimentazione in ambiente marino di scarsa o scarsissima profondità.

Le formazioni plioceniche sono distribuite in maniera discontinua lungo i bordi dell'altopiano ibleo. Nel settore nord-orientale, da Siracusa ad Agnone e da qui fino a Lentini-Francofonte, mancano totalmente oppure sono rappresentate da colate basaltiche.



## LEGENDA

- sp**



Spiagge e alluvioni attuali.  
(Olocene)
- f**

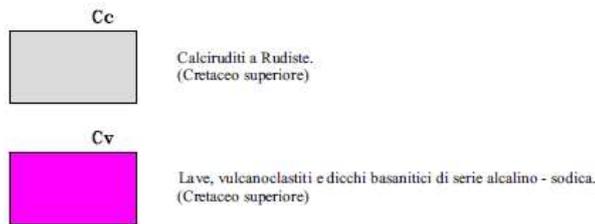


Frane e detriti di falda.  
(Olocene)
- l**



Saline, stagni costieri e depositi palustri (pantani).  
(Olocene)

<b>a</b>		Alluvioni recenti. (Olocene)
<b>at</b>		Depositi terrazzati fluviali di vario ordine, costituiti da ghiaie, sabbie e limi. (Pleistocene superiore - Olocene)
<b>Qs</b>		Depositi terrazzati marini, costituiti da sabbie, calcareniti e conglomerati fossiliferi a <i>Strombus tubonius</i> . (Tirreniano)
<b>tm</b>		Superfici terrazzate e principali spianate di abrasione, con limitati lembi di breccie o ghiaie, correlabili con terrazzi marini di vario ordine. (Pleistocene medio)
<b>Qp</b>		Sabbie e calcareniti grossolane organogene (panchina) giallastre a stratificazione incrociata, sovente terrazzate alla sommità. Spessore da 0 fino ad una decina di metri al massimo. (Pleistocene medio)
<b>Qa</b>		Argille siltose - marnose grigio - azzurre, talora con intercalazioni sabbioso - siltose ad <i>Arctica islandica</i> . Spessore da 0 a 300 metri. (Pleistocene inferiore)
<b>Qc</b>		Calcareniti, sabbie giallastre e calciruditi organogene (Qc) massive o a stratificazione incrociata con livelli e lenti di conglomerati. Spessori da 0 ad oltre 100 metri. (Pleistocene inferiore)
<b>Pv</b>		Lave basaltiche a fessurazione colomare di colore da nero antracite a grigiastro, spesso con vistose desquamazioni globulari. Spessore affiorante da pochi metri a 250 metri. (Pliocene medio - superiore)
<b>Ms</b>		Formazione di Monte Carrubba. Successione carbonatica, costituita da un intervallo inferiore di calcareniti friabili bianco - giallastre ad ostreidi e pettinidi e da un intervallo superiore di calcareniti tenere laminate e marne calcaree passanti a lumachelle. (Tortoniano superiore - Messiniano inferiore)
<b>Mv</b>		Formazione Carlentini. Prodotti di manifestazioni vulcaniche basiche a carattere prevalentemente esplosivo, mescolate ad una frazione carbonatica di origine sedimentaria (Mv). La successione passa lateralmente a calcari a <i>Clypeaster</i> e molluschi (Mca). Spessore da 10 a 50 metri. (Tortoniano)
<b>Mca</b>		
<b>Mc</b>		Formazione dei Monti Climiti. Membro dei Calcari di Siracusa (Mc). Calcareniti e calciruditi algali di colore bianco - grigiastre, irregolarmente stratificate e spesso notevolmente carsificati. Membro di Melilli (Mec). Calcareniti bianco - giallastre friabili, in strati di spessore da pochi decimetri ad oltre 10 metri. (Oligocene medio - Tortoniano)
<b>Mec</b>		
<b>Oc</b>		Calcari bianchi a macroforaminiferi, coralli ed alghe calcaree, in strati decimetrici, localmente carsificati. (Oligocene medio - superiore)
<b>Ecm</b>		Calcareniti bianche e grigiastre a macroforaminiferi ed alghe calcaree. (Oligocene medio - superiore)
<b>PEc</b>		Calcareniti a Nummuliti e breccie e marne con macroforaminiferi rimaneggiati. (Paleocene - Eocene)



**Figura 4-4: Carta geologica e profile geologico - area intervento - scala 1:35000**

I prodotti pliocenici sono rappresentati inferiormente da lave a pillow e superiormente da colate subaeree, con un'età compresa tra la parte alta del Pliocene inferiore e il Pliocene superiore.

I depositi quaternari, che orlano il Plateau Ibleo, sono da ricondurre essenzialmente a due principali cicli sedimentari, di età infra e medio-pleistocenica.

I terreni del Pleistocene inferiore, di gran lunga più rappresentati, formano una cintura continua attorno all'Altopiano calcareo, raggiungendo spessori notevoli lungo i bordi settentrionale ed occidentale e specialmente in corrispondenza delle depressioni strutturali, che coincidono con i graben costieri ionici. I litotipi sono dati da biocalcareni tenere giallastre discordanti sul substrato miocenico o sulle vulcaniti plioceniche, sovente con tipiche sequenze trasgressive alla base, a volte caratterizzate da clinostratificazioni e da vistosi fenomeni di tettonica sinsedimentaria, come sul sistema di faglie Lentini-Agnone.

Le calcareniti passano verso l'alto e lateralmente ad argille grigio-azzurre a Hyaline baltica, che in corrispondenza delle strutture più depresse raggiungono spessori considerevoli (Augusta) e che rappresentano il prodotto odi una sedimentazione in acque profonde oppure protette. L'analisi della distribuzione delle facies, in rapporto alle principali faglie presenti in questa zona, ha evidenziato che i depositi quaternari trasgressivi hanno riempito dei graben di una struttura già delineatasi nel Pliocene (Carbone, 1985).

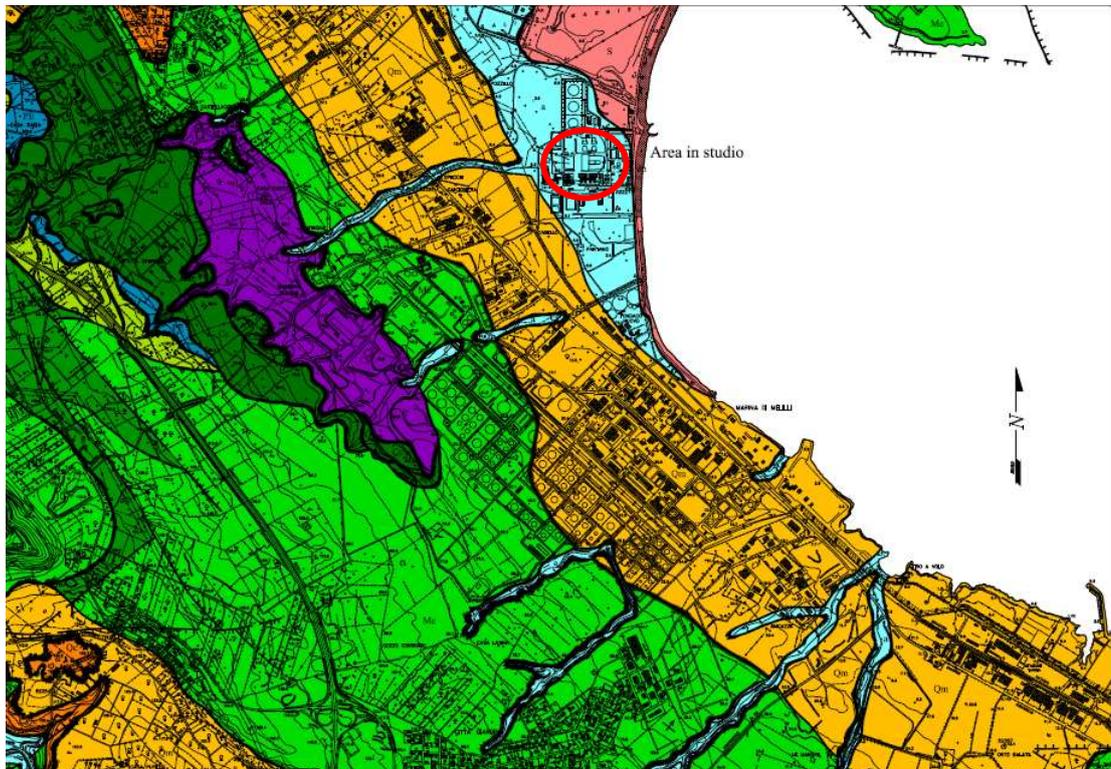
Il secondo ciclo del Pleistocene medio è rappresentato dalla cosiddetta "Panchina" crotoniana, che ricopre in discordanza termini di varia età con alla base un paleosuolo originatosi nel periodo della "Regressione Romana".

Le particolari condizioni geologiche hanno dato vita a delle falde sia profonde sia superficiali, contenute in acquiferi prevalentemente carbonatici, separati da formazioni vulcaniche ed argillose che rappresentano il livello impermeabile.

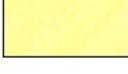
Gli acquiferi superficiali, contenuti nelle formazioni calcarenitiche quaternarie, sono in grado di immagazzinare limitate quantità d'acqua ed ormai quasi unicamente alimentati da precipitazioni locali, mentre l'acquifero più profondo, localizzato nelle formazioni calcaree maastrichtiano-mioceniche, è alimentato dalle precipitazioni che ricadono nel settore nord-orientale dell'altopiano Ibleo.

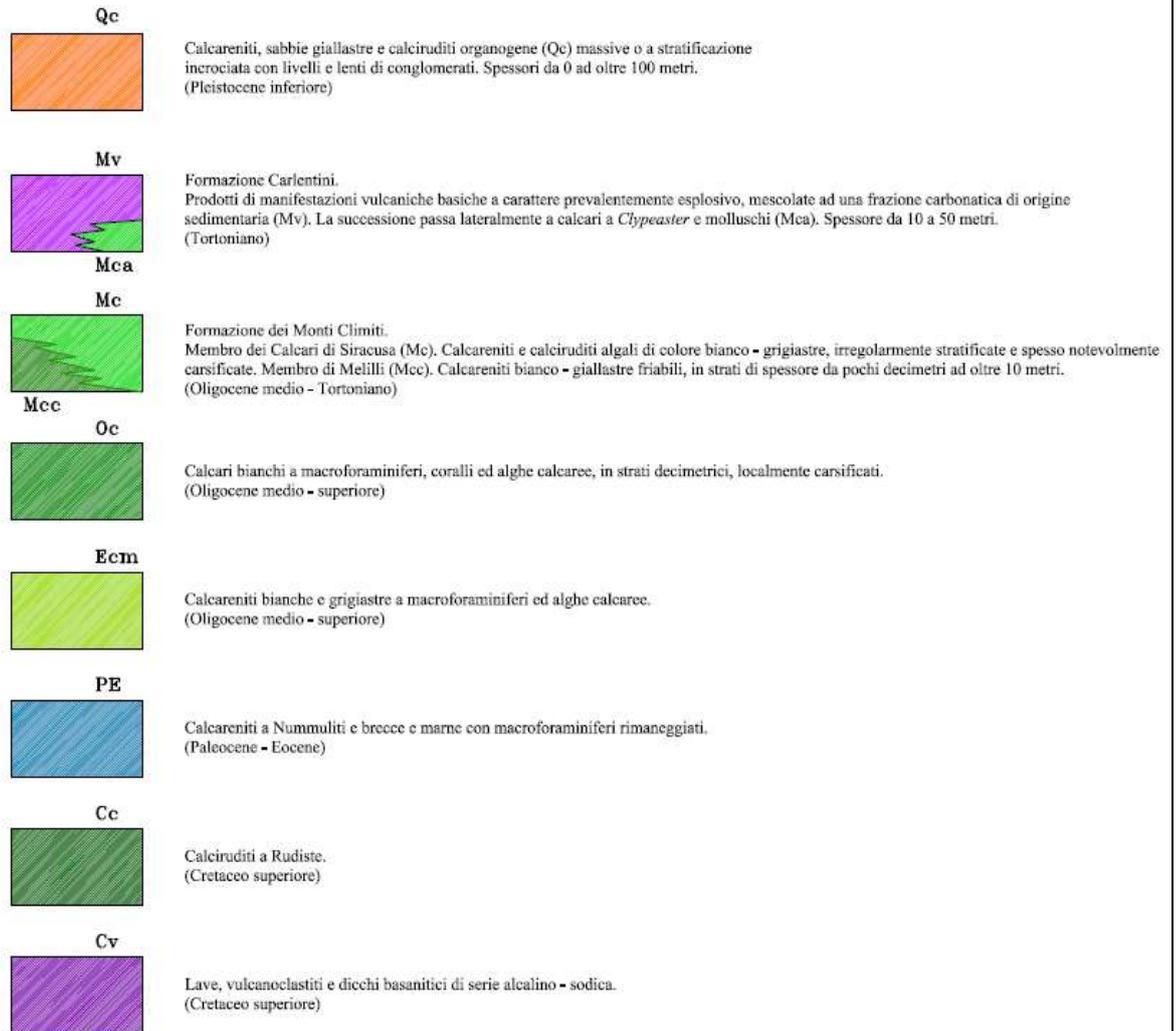
#### **Successione Lito-stratigrafica**

Un rilevamento geologico di campagna più dettagliato si è sviluppato per un'area di circa 50 Km<sup>2</sup> utilizzando come base topografica, alla scala 1: 10.000, la carta tecnica regionale. È stato così possibile definire in maniera più dettagliata, con l'ausilio dei dati stratigrafici provenienti da varie perforazioni effettuate recentemente e nell'area vasta, la successione stratigrafica dei litotipi affioranti, la loro distribuzione areale e il loro assetto geologico-strutturale.



## LEGENDA

<b>sp</b>		Spiagge. (Olocene)
<b>d</b>		Frane e detriti di falda. (Olocene)
<b>S</b>		Saline, stagni costieri e depositi palustri (pantani). (Olocene)
<b>a</b>		Alluvioni recenti e attuali. (Olocene)
<b>tf</b>		Depositi terrazzati fluviali di vario ordine, costituiti da ghiaie, sabbie e limi. (Pleistocene superiore - Olocene)
<b>Qm</b>		Sabbie e calcareniti grossolane organogene (panchina) giallastre a stratificazione incrociata, sovente terrazzate alla sommità. Spessore da 0 fino ad una decina di metri al massimo. (Pleistocene medio)
<b>Qa</b>		Argille siltoso - marnose grigio - azzurre, talora con intercalazioni sabbioso - siltose ad <i>Arctica islandica</i> . Spessore da 0 a 300 metri. (Pleistocene inferiore)



**Figura 4-5: Carta geologica e profilo geologico - area intervento - scala 1:10000**

Le Formazioni affioranti nell'area in studio presentano un carattere prevalentemente carbonatico di età compresa tra il Cretaceo superiore ed il Quaternario; in questa successione si intercalano, a vari livelli, prodotti vulcanoclastici e lave basaltiche.

Nel dettaglio le caratteristiche delle diverse Formazioni geologiche sono:

**a. Vulcaniti cretacee (Cv)**

Gli affioramenti di tali litotipi, stratificati e dal colore bruno rossastro, si limitano a piccole aree nei pressi di C. da Petraro, lungo il fianco occidentale di Monte Tauro e a sud del torrente Cantera in località S. Cusumano; e a nord di Siracusa; il loro riconoscimento fa riferimento alla bibliografia già esistente.

Presso M.te Tauro è possibile distinguere dei prodotti vulcanoclastici, non cartografabili a causa delle modeste superfici, ma che si ritrovano estesamente in sottosuolo, la cui giacitura risulta nettamente discordante con il litotipo calcareo sovrastante. Tale affioramento, insieme ai dati noti da indagini geognostiche dirette, evidenzia come le vulcaniti cretacee e costituiscano la base su cui poggiano i calcari maastrichtiano-miocenici. In affioramento sono spesso evidenti avanzati stadi di argillificazione.

Nell'area in studio, le vulcaniti cretacee affiorano a nord, in prossimità del plesso industriale Lukoil, e a sud-est all'ingresso di Siracusa.

**b. Calciruditi a Rudiste (Cc)**

Nel sottosuolo di Augusta e un po' ovunque calcari cretacei sono stati segnalati poggianti su vulcaniti basiche sub-marine (DI GRANDE, 1972; G RASSO et alii, i 1979).

Nel sottosuolo di Augusta e un po' ovunque lungo la costa ionica sondaggi geognostici incontrano sovente, al disotto di una sottile copertura miocenica e quaternaria, calcari di facies recifale di età surpacretacica passanti verso il basso a vulcaniti basiche: in tutto questo settore gli orizzonti cretacei non sembrano limitati a qualche affioramento ma risultano formare un corpo geologico continuo, esteso da Siracusa fino al margine settentrionale del Plateau Ibleo.

Nella zona di Priolo i livelli cretacei affioranti sono rappresentati da facies di margine, e cioè da megabrecce e da risedimenti grossolani ad elementi originariamente recifali, sovente chiaramente canalizzati, alternati a livelli calcareo-marnosi e a marne emipelagiche con faune della zona a Globotruncana elevata (CITA et alii, i 1980). La sezione geologica ivi affiorante costituisce un punto chiave per la conoscenza dei rapporti tra le aree di bacino ed i seamounts.

L'originaria interpretazione di ALLISON (1953) è stata revisionata da GRASSO et alii (1979), da CARBONE et alii (1982 a) e ristudiata in dettaglio da MONTANARI (1982); quest'ultimo autore ha fornito un modello deposizionale di quest'area.

Ulteriori conferme si ottengono dalla reinterpretazione di alcuni sondaggi ubicati a NW di Priolo, dove il passaggio Cretaceo-Eocen è caratterizzato dallo sviluppo di breccie con elementi di calcari a Rudiste intercalate a calcari marnosi e marne emipelagiche. Uno degli elementi fondamentali è che, mentre tra le megabrecce appaiono frequenti calcari a Nummuliti o ad Alveoline, non si ha traccia di questi al tetto dei livelli cretacei, che invece sono sormontati direttamente da formazioni oligo-mioceniche.

Nella zona di Priolo affiorano breccie e megabrecce con elementi calcarenitici e calciruditi a Rudiste e Gasteropodi, alternate a marne a Globotruncana elevata (BROTZEN), e costituenti una tipica facies di margine di scogliera (LENTINI et alii, i 1986).

In tutti gli affioramenti la formazione presenta uno spessore massimo di alcune decine di metri; la permeabilità è medio-elevata per fratturazione e per porosità.

Nell'area in studio i calcari a rudiste affiorano estesamente a nord, al di sopra dei termini vulcanici cretacei. L'età è maastrichtiana (Cretaceo superiore).

**c. Calcareniti a Nummuliti (PE)**

Nella zona di Priolo, dove la formazione presenta uno spessore variabile da 0 a 50 metri, la successione è costituita dal basso verso l'alto da: calcareniti candide in strati centimetrici, con fauna caratterizzata da *Miscellana amiscella* (D'ARCHIA C& HAIME), *Alveolina primaeva* REICHEL, *Discocyclusina seunesi* DOUVILLÉ, caratteristica facies di banco e suoi margini, passanti lentamente, nella zona di Belvedere, a micriti di retroscogliera (backreef) del Paleocene; calcareniti grigio chiare in strati centimetrici a *Nummulites cf. deserti*, *Nummulites distans* DESHAYES, *Operculina gr. Operculina canalifera*, *Alveolina ellipsoidalis*, *Alveolina schwageri* dell'Eocene inferiore; calcari beige in banchi decimetrici *Nummulites millicaput*, *Nummulites perforatus* (MONFORT), *Assilina spira* dell'Eocene medio. Alla base sono intercalate megabrecce formate da frammenti provenienti dalle sottostanti calcareniti cretacee e alla sommità megabrecce ad elementi provenienti dall'erosione di formazioni infraeoceniche (LENTINI et alii, i 1984; 1986). L'età è ascrivibile all'intervallo Paleocene-Eocene.

#### d. Calcareniti bianco-grigiastre (Ecm)

Affiorano al di sopra delle precedenti nella zona a sud di Priolo Gargallo (ad ovest dell'area in studio). Lo spessore massimo è di 15 metri; in Contrada Mostrigiano le calcareniti passano verso l'alto a marne cineree di colore verdognolo dello spessore massimo di 5 metri.

Le calcareniti contengono coralli costruttori e alghe calcaree (calcarei di banco), oppure sono formate da bioaccumuli di Macroforaminiferi (depositi di scarpata) tra cui sono state classificate le specie: *Nummulites vascus*, *Nummulites bouille*, *Nummulites striatus*, *Pellatispira madaraszii*, *Discocyclina sella*, *Chapmanina gassinensis*.

Le marne contengono macroforaminiferi risedimentati e rimaneggiati e Globorotalie, fra cui *Globorotalia cerroazzulensis*.

La formazione è stata ascritta al Priaboniano (LENTINI et alii, 1984; 1986).

#### e. Calcari bianchi a macroforaminiferi (Oc)

Rappresentano una Formazione carbonatica con frequenti eteropie latero-verticali tra diverse litofacies (calcareniti bianche a Lepidocline, Amphistegine, Alghe e Coralli), in strati decimetrici e passanti lateralmente e verso il basso a biocalcareniti grigio-verdastre a arne siltose con intercalazioni conglomeratiche silico-clastiche.

I calcari bianchi a macroforaminiferi affiorano per contatto stratigrafico in località S. Cusumano e, poco più a sud, per contatto tettonico.

Nell'area in studio affiorano estesamente a nord-ovest al di sopra della formazione Ecm.

#### f. Formazione dei Monti Climiti (Mc-Mcc)

Nell'area in esame, la Formazione dei Monti Climiti è costituita da calcareniti e calciruditi algali con rodoliti che rappresentano il Membro dei Calcari di Siracusa (Mc).

In superficie tali calcareniti costituiscono il litotipo principale affiorante nell'horst calcareo di Monte Tauro e di contrada Costa-Mendola dove appaiono irregolarmente stratificate a giacitura sub-orizzontale immergente verso, est. Inoltre, tale litotipo risulta spesso alterato ad opera di superfici di abrasione di origine marina e di fauna marina litofaga.

Lungo il fianco orientale di Monte Tauro le calcareniti e calciruditi passano a calcari più recenti e ai termini dell'alternanza calcareo marnosa. Nel fianco occidentale si osserva un passaggio, per contatto tettonico, direttamente ai terreni del Pleistocene.

Nel quadro strutturale descritto, si può supporre che la Formazione dei Monti Climiti costituisca il substrato su cui si sono impostati i terreni del Pleistocene inferiore nell'ambito dei graben di Augusta, Melilli, Priolo Gargallo e Florida e ciò anche in relazione alle informazioni desunte dalla letteratura e da dati in possesso che riportano uno spessore di tali terreni intorno ai 100 metri.

Nella zona centrale dell'area in studio affiorano estesamente in corrispondenza dei Monti Climiti e a nord di Siracusa.

In prossimità di Melilli, affiora il Membro dei Calcari di Melilli (Mcc) che costituisce, come già detto, la parte inferiore della Formazione dei M.ti Climiti. Questo litotipo è costituito da una monotona sequenza di calcareniti, da fini a grossolane, notevolmente bioturbate, talora con Pettinidi o altri modelli interni di bivalvi. Tale formazione affiora

ad ovest dell'area in oggetto, al di sotto del membro di Siracusa con varie faglie dirette che la dislocano.

#### **g. Formazione Carlentini (Mv-Mca)**

Tale Formazione è caratterizzata principalmente da vulcanoclastiti e da subordinate colate basaltiche a desquamazione globulare che è possibile individuare in affioramento, in alcune aree, per la presenza di tutta una serie di faglie a carattere distensivo, che rialzano tali terreni rispetto ai termini più recenti, come si evince nella zona ad ovest dell'area cartografata.

Le vulcaniti Mv hanno un carattere prevalentemente esplosivo ed infatti è possibile distinguere varie facies vulcanoclastiche che, nell'area in studio, sono date da brecciole ad elementi vulcanici e da vulcaniti a laminazione parallela dal colore giallo-bruno con una granulometria da pselitica a psammitica, soggette a fenomeni di argillificazione. L'affioramento esaminato si sviluppa nei pressi del Fiume Mulinello e nella zona di Melilli in cui il riconoscimento è avvenuto considerando sia le sue caratteristiche tessiturali nonché la posizione stratigrafica sottostante alle calcarenitie marne dell'alternanza di età più recente. In prossimità di località San Fratello è possibile osservare delle vulcanoclastiti costituite da sabbie e lapilli con diametro dell'ordine del millimetro che includono frammenti calcarei eterometrici. Lo spessore raggiunge valori intorno ai 70-80 metri.

Ulteriori affioramenti della Formazione Carlentini si ritrovano nella zona interna, ad ovest del graben compreso tra i fiumi Mulinello e Marcellino, ad ovest e a sud dell'horst dei Melilli.

#### **h. Calcareniti e sabbie giallastre (Qc)**

Si tratta di una sequenza di banconi calcarenitici giallastri con spessori da centimetrici a decimetrici a giacitura sub-orizzontale lievemente pendente verso sud-est. È possibile distinguere in affioramento porzioni a stratificazione incrociata o ondulata che passano verso l'alto a delle calcareniti prettamente organogene.

Le facies osservate nelle "Calcareniti e sabbie giallastre" indicano un ambiente deposizionale di tipo costiero infra e circa-litorale con una profondità massima di circa 30-40 metri. Dal punto di vista cronostratigrafico, l'elemento che caratterizza questa successione è la presenza di un bivalve l'Arctica islandica, che permette l'attribuzione dell'unità al Pleistocene inferiore. Nell'ambito dei graben, in sottosuolo, raggiungono spessori notevoli ai lati degli horst, mentre all'interno dei graben gli spessori si riducono a favore delle "Argille azzurre" così come si evince da studi fatti in tali aree e da indagini geoelettriche specifiche. È possibile ritrovarle in piccoli affioramenti sparsi nell'area iblea nord-orientale come ad esempio nei tratti a monte dei corsi d'acqua Mulinello, Marcellino, Cantera e Anapo (a sud-ovest dell'area in oggetto).

#### **i. Argille azzurre (Qa)**

In continuità stratigrafica con le sottostanti "Calcareniti e sabbie giallastre" ed in parziale eteropia laterale, segue una Formazione argillosa definita come "Argille Azzurre".

Questa Formazione è sempre individuabile in corrispondenza di depressioni morfologiche di natura strutturale, evidenziando come i sedimenti che la compongono siano legati allo stesso ciclo sedimentario delle "Calcareniti e sabbie giallastre" nell'ambito di una complessa situazione strutturale. Dai rapporti deposizionali con le sottostanti calcarenitie dalle associazioni macro e micropaleontologiche note in letteratura, l'età della Formazione è riferibile al Pleistocene inferiore.



Affiorano a nord del centro abitato di Augusta dove risultano avere spessori sull'ordine dei trecento metri, nei tratti a valle dei fiumi Mulinello e Marcellino, a nord di Priolo e ad ovest di Belvedere. Altri affioramenti si hanno nella zona di Punta Cugno lungo il litorale mentre, nelle zone più interne, bordano i depositi alluvionali dei fiumi Mulinello, Marcellino e Anapo.

La parte superiore alterata delle argille Qa, è costituita da argille giallastre sabbiose contenenti clasti eterometrici. Nell'isola di Augusta, nella zona costiera, e in prossimità del fiume Mulinello e della penisola Magnisi si rilevano localmente delle "argille giallastre" al di sopra della Formazione Qa, che non risultano cartografabili per le modeste superfici di affioramento.

#### **j. Calcareniti organogene ("Panchina" Qm)**

I terreni fin qui descritti sono ricoperti da una successione di rocce detritiche organogene prevalentemente marine e subordinatamente continentali con giacitura sub-orizzontale ed immersione generale verso mare.

Si presentano come delle superfici terrazzate notevolmente estese e di origine marina, regolarmente degradanti verso est.

Sono rappresentate da calcareniti organogene giallastre cementate, spesso a stratificazione incrociate, per le quali è utilizzato il termine "Panchina" (ACCORDI, 1962, 1963). Si tratta di un deposito trasgressivo, che si estende oltre i termini del ciclo infra-pleistocenico fino a ricoprire Formazioni pre-quadernarie.

Sono particolarmente diffuse nell'area ad ovest di Monte Tauro dove costituiscono un ampio "piastrone" calcareo poggiante direttamente sulle Argille Azzurre, dallo spessore di circa 10 m.

La "Panchina" costituisce la Formazione che più estesamente affiora nella zona costiera con spessori sull'ordine di qualche metro; nell'area rilevata tale formazione si ritrova ad est in prossimità della costa e a sud-ovest nell'area interessata dal fiume Anapo. L'età della "Panchina" risulta compresa tra la "Regressione Romana" conseguente alla chiusura del ciclo infra-pleistocenico e la fase di ritiro del mare che ha generato la serie di terrazzi marini surpa-pleistocenici.

#### **k. Terrazzi fluviali (tf)**

Deposti terrazzati fluviali di vario ordine costituiti da ghiaie, sabbie e limi. Pleistocene superiore Olocene.

#### **l. Alluvioni recenti e attuali (a)**

Nell'area esaminata sono presenti dei depositi alluvionali di origine fluviale costituiti da materiale ciottoloso, presenti nei letti, in prossimità delle foci dei corsi d'acqua e in prossimità dei valloni. In prossimità dei meandri abbandonati si rilevano dei depositi alluvionali di sedimento fine utilizzati per la piantumazione di colture varie.

Nell'area in studio spostandosi dalla linea di costa verso l'entroterra si rilevano alluvioni attuali formate da limi argillosi bruno grigio scuro.

#### **m. Saline costiere e depositi palustri (s)**

Nell'area che si affaccia nel Golfo Megarese, in quello Xifonio e presso la Penisola Magnisi (area in studio), sono presenti delle saline anticamente sfruttate dall'uomo e



oggi abbandonate.

#### **n. Frane e detriti di falda (d)**

Nella zona a sud-ovest dell'area in studio, in prossimità delle scarpate dei monti Climiti, si rilevano delle frane e dei detriti di falda di natura calcarenitica.

#### **o. Spiagge (sp)**

Lungo tutta la costa, lì dove sono presenti delle insenature, si sono impostate delle spiagge formatesi per erosione dei litotipi affioranti e per apporto di sedimenti da parte dei corsi d'acqua. Nell'area in studio, tali spiagge si rinvencono a nord-est, di fronte la penisola Magnisi.

Entrando nello specifico, il sito di progetto ricadente nella Centrale Termoelettrica di Priolo Gargallo, risulta interessato in superficie da materiale da bonifica costituito da misto granulometrico con blocchi di natura carbonatica.

Da un'attenta analisi della situazione tettonica, infine, si può escludere con certezza che l'area dove verrà ubicata l'opera in oggetto sia interessata in superficie da faglie e/o da lineamenti tettonici di alcun tipo.

Infatti, le faglie più vicine all'area di interesse sono state rilevate a circa 3 km ad ovest dell'area in oggetto.

### **4.3. RISCHIO GEOLOGICO RELATIVO ALL'AREA IN ESAME**

L'area in esame non presenta particolari problemi di dissesto idrogeologico in grado di poter modificare in medio e lungo termine l'aspetto morfologico. La natura, in gran parte lapidea, dei terreni affioranti e le discrete caratteristiche geotecniche dei terreni coesivi, nonché un'adeguata vegetazione, opportunamente distribuita in tutta l'area, conferisce alla zona soddisfacenti condizioni di stabilità.

In passato però, l'area di interesse, che comprende i Comuni di Augusta, Melilli e Priolo Gargallo, è stata sede di diversi fenomeni sismici di discreta magnitudo e per tale motivo è stata inserita tra le zone sismiche di II categoria (D.M.L.P. del 23/09/1981) sostituito dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni di zone sismiche"; modificata e integrata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3316 del 02/10/2003, modificata e integrata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3431 del 03/05/2005 e successive integrazioni che dichiarano il territorio dei comuni di Priolo Gargallo, Augusta e Melilli, Zone ad Alto Rischio Sismico appartenenti alla zona sismica 2.

#### **4.3.1. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

I reticoli idrografici interessano quasi tutte le formazioni affioranti nell'area in studio, che presentano diverse caratteristiche di permeabilità. Le formazioni argillose e quelle di origine vulcanica hanno valori di permeabilità bassi, tali da permettere alle acque meteoriche di ruscellare e di convogliarsi verso gli alvei principali. Nelle zone in cui affiorano formazioni carbonatiche che hanno discrete caratteristiche di permeabilità, invece, le acque meteoriche tendono essenzialmente ad infiltrarsi nel sottosuolo, raggiungendo le falde sottostanti.

Il reticolo idrografico che interessa l'area è costituito da diversi corsi d'acqua a regime



torrentizio.

I più apprezzabili corsi d'acqua che si rilevano nell'area, da nord verso sud, sono nell'ordine:

- Torrente Canniolo;
- Torrente Priolo;
- Fosso Castellaccio;
- Fosso di Melilli;
- Vallone Mostrigiano
- Vallone Contessa
- Vallone in prossimità di casa Gallo
- Cava Salerno
- Vallone Picchio
- Fiume Anapo

Tra i sopra menzionati, il fiume Anapo che si ritrova a sud-ovest dell'area studiata, sfocia nel Porto Grande di Siracusa e risulta il più importante per dimensione e portata; mentre i diversi valloni sopra citati, nel periodo delle piogge invernali tendono a far confluire le acque meteoriche verso la zona costiera interessata dal Mar Ionio, mentre nel periodo estivo risultano prive di manifestazioni idriche superficiali degne di nota.

Questi corsi d'acqua, soprattutto a carattere torrentizio, ad esclusione dell'Anapo che per le sue dimensioni e portata è classificato come fiume, presentano topograficamente un andamento sinuoso incidendo le formazioni che attraversano, determinando localmente degli ampi valloni; nella parte terminale, in prossimità delle foci, si rileva l'accumulo delle alluvioni recenti provenienti dall'erosione delle formazioni più a monte.

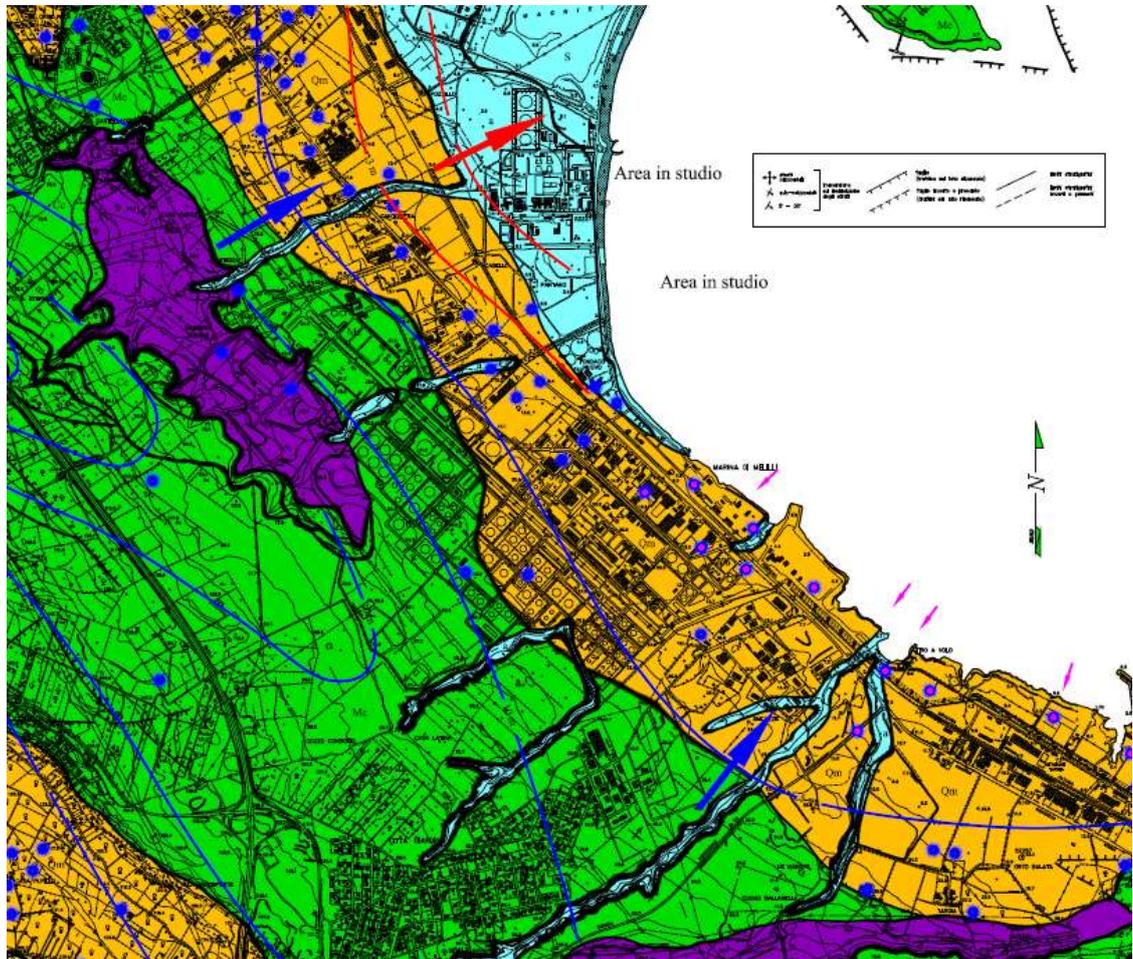
Negli ultimi vent'anni le portate hanno subito una notevole diminuzione determinando quindi una riduzione degli apporti solidi ad eccezione per il Fiume Anapo dove il trasporto della componente solida sembra non aver subito nessuna alterazione.

È interessante notare come nell'area iblea, sia individuabile uno strato superficiale calcarenitico, rappresentato dalla "Panchina", che stratigraficamente poggia al di sopra delle "argille azzurre". Tale particolare giacitura determina la venuta a giorno di piccole sorgenti effimere, classificate come sorgenti per limite di permeabilità. I ridotti spessori di questo acquifero superficiale calcarenitico, sull'ordine di qualche metro, immagazzinano ridotte quantità d'acqua, solo nei periodi di precipitazione fino a qualche settimana successiva all'evento meteorico.

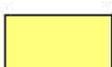
Le ex-saline presenti lungo la costa, ormai abbandonate da anni, risultano isolate, quindi non ricevendo apporti di acqua marina, si possono considerare dei veri e propri stagni alimentati solo dalle precipitazioni locali.

Dalla carta idrogeologica scala 1:10.000 è possibile suddividere la formazione nelle seguenti unità:

- Formazioni permeabile ghiaioso-sabbiose
- Formazioni permeabile calcareo-sabbiose mediamente cementate
- Formazioni permeabile calcaree litoidi
- Formazione impermeabile argillosa
- Formazioni impermeabili vulcani



**LEGENDA IDROGEOLOGICA**

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | Formazioni permeabili ghiaioso - sabbiose                      |   |  |
|  | Formazioni permeabili calcareo - sabbiose mediamente cementate |   |  |
|  | Formazioni permeabili calcaree litoidi                         |   |  |
|  | Formazione impermeabile argillosa                              |   |  |
|  | Formazioni impermeabili vulcaniche                             |   |  |
|  | Ubicazione pozzi di captazione a scopo industriale o agricolo  |  | pozzi trivellati salmastri                       |
|   |  |  | intrusione marina                                |
|   |  |  | isopiezometriche s.l.m. della falda superficiale |
|   |  |  | direzione di flusso della falda superficiale     |
|   |  |  | isopiezometriche s.l.m. della falda profonda     |
|   |  |  | direzione di flusso della falda profonda         |

**Figura 4-6: Carta idrogeologica - scala 1:10.000**

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA: AZIONE SISMICA

La recente classificazione della sismicità del territorio (a partire dall'Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003) ha individuato quattro valori di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; il territorio nazionale è di conseguenza, stato suddiviso in quattro zone. Ogni zona è stata individuata in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella a seguire:

Tipi di costruzione		$V_N$ [anni]
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	$\leq 10$
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	$\geq 50$
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	$\geq 100$

**Tabella 5-1: NTC 18 - Tab. 2.4.1 – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

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

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100 \text{anni}$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso:

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_u$	0.7	1.0	1.5	2.0

**Tabella 5-2: NTC18 - Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_u$** 

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

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

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di 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;

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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

Stati limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 5-3: NTC18 - Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_S$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di  $V_S$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Con:

- $h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali 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. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

I risultati delle prove geofisiche condotte (due prove MASW) hanno fornito i seguenti valori della velocità equivalente delle onde di taglio:

- MASW-1:  $V_{S,eq}=388$  m/s
- MASW-2:  $V_{S,eq}=465$  m/s

Sulla base dei risultati ottenuti e di quanto riportato nella tab 3.2.II, ai fini della definizione della risposta sismica, all'area di interesse può essere associata una categoria di suolo B.

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore minimo pari a 3m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>

<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Tabella 5-4: NTC 18 - Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Descrizione
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella 5-5: NTC 18 - Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR. Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi oppure l'azione sismica deve essere descritta mediante storie temporali del moto del terreno.

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

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

nelle quali T ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale; S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione

topografica;

$\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$T_C^*$  è definito al § 6.2 e  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:

$$T_B = T_C / 3$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico  $S_s$ , il coefficiente topografico  $S_T$  e il coefficiente  $C_C$  che modifica il valore del periodo  $T_C$ .

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_C$  valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti  $S_s$  e  $C_C$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella a seguire, nelle quali  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_C$
<b>A</b>	1.00	1.00
<b>B</b>	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
<b>C</b>	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
<b>D</b>	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$

<b>E</b>	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$
----------	---	------------------------------

**Tabella 5-6: NTC 18 - Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$** 

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella tabella a seguire, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>	-	1.0
<b>T2</b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
<b>T3</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
<b>T4</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

**Tabella 5-7: NTC 08 - Tab. 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$** 

Si riportano a seguire i valori dei parametri sismici per ogni stato limite.

Stato limite	$T_R$	$a_g$	$T_c^*$	$F_0$
	[anni]	[g]	[sec]	[-]
SLO	60	0.079	0.276	2.510
SLD	101	0.112	0.309	2.379
SLV	949	0.365	0.465	2.352
SLC	1950	0.481	0.524	2.341

**Tabella 5-8: Parametri sismici per il sito di riferimento**

*Spectral parameters for considered limit state*

$a_g$	=	<b>0,481</b> g	Maximum acceleration
$T_c^*$	=	<b>0,524</b> sec	Start period for constant velocity part of the horizontal acceleration spectrum
$F_0$	=	<b>2,341</b> -	Amplification factor for horizontal acceleration spectrum
$F_v$	=	<b>2,192</b> -	Amplification factor for vertical acceleration spectrum

*Nominal life*

$V_N$	=	<b>50</b> years	Nominal life
-------	---	-----------------	--------------

$C_U$  = 2 - Use coefficient

$V_R$  = 100 years Reference period

*In situ condition*

Soil category = B - Soil category (A, B, C, D, E)

Topo category = T1 - Topographic category (T1, T2, T3, T4)

$S_s$  = 1,000 - Stratigraphic amplification coefficient

$C_c$  = 1,252 - Soil amplification coefficient

$S_T$  = 1,000 - Topographic amplification coefficient

*Spectral characteristic*

$S$  = 1,000 Soil and topographic coefficient

$T_B$  = 0,219 sec Start period for constant acceleration part of the horizontal acceleration spectrum

$T_c$  = 0,66 sec Start period for constant velocity part of the horizontal acceleration spectrum

$T_D$  = 3,52 sec Start period for constant displacement part of the horizontal acceleration spectrum

DESIGN SPECTRUM

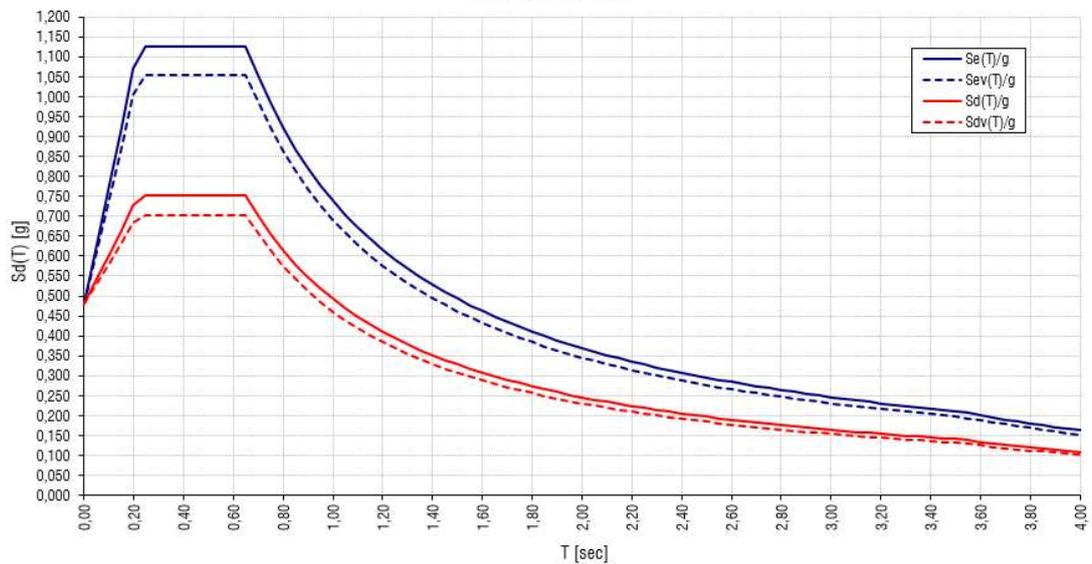


Figura 5-1: Spettri di risposta SLC

**6. QUADRO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE DISPONIBILI**

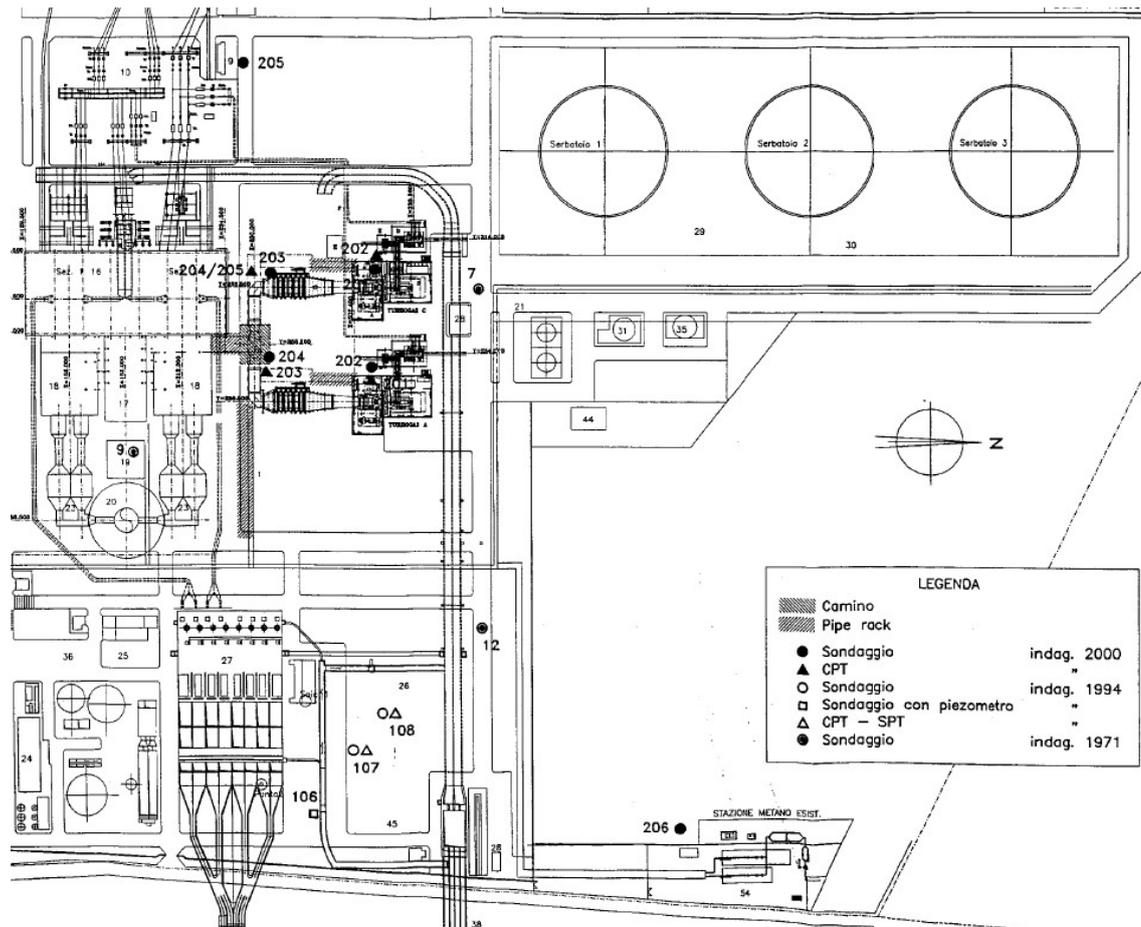
In questa sede si utilizzeranno i dati raccolti nelle varie campagne d'indagine fornite da ENEL, svolte nel 2000 e nel 2020 riportate nella seguente tabella



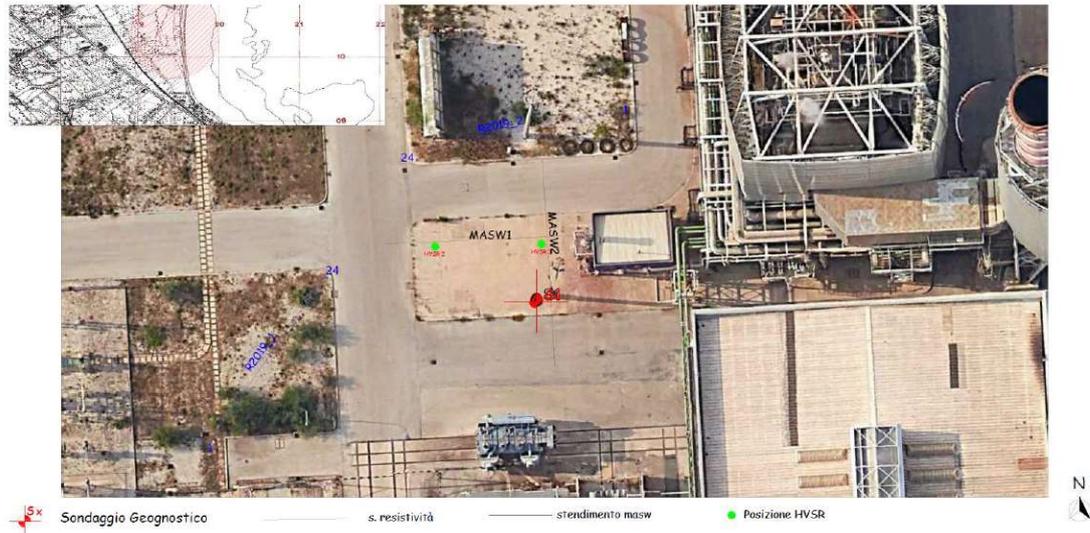
Campagne di indagine	Tipologia d'indagine	Nome	Profondità [m]	Indagini in foro
Indagini 1971	Sondaggi geognostici	7	60	
		9	60	
		12	68	
Indagini 1994- Ismes	Sondaggi geognostici	S105	7	
		S106	11	
		S107	19	
		S108	20	
	Sondaggi geognostici	S201	35	N.4 SPT
		S202	35	N.3 SPT
		S203	30	n.6 SPT
		S204	35	n.3 SPT
		S205	20	n.1 SPT
		S206	20	n.2 SPT
Indagini 2000 GEOMERID s.r.l.-Indagini geognostiche e geotecniche	Cone Penetration Test (CPT)	CPT1	30	
		CPT2	30	
		CPT3	30	
		CPT4	30	
		CPT5	30	
	Sondaggi geognostici	S301	10	n.4 SPT
		S302	11	n.4 SPT
		S303	15	n.4 SPT
		S304	15	n.4 SPT
		S305	10	n.4 SPT
Indagini 2004- GEOMERID s.r.l.	Cone Penetration Test (CPT)	S306	15	n.4 SPT
		P301	7	
		P302	6,8	
		P303	6,2	
		P304	5,4	
		P305	5,4	
		P306	6,2	
		P307	5,6	
		P308	6,4	
		P309	6,2	
P310	5,8			
Indagini 2020- GEOGAV.it Rapporto di prova indagini geognostiche e geofisiche	Sondaggi geognostici	S1	30	n.5 SPT
		Prova sismica HVSR	HVSR1	
	MASW	HVSR2		
		Masw1		
		Masw2		

Tomografia R2019\_1  
elettrica R2019\_2

**Tabella 6-1: Indagini pregresse**



**Figura 6-1: Ubicazione delle indagini utilizzate nello studio dal 1971 al 2004**



**Figura 6-2: Ubicazione delle indagini utilizzate nello studio del 2020**

## **6.1. PROVE DI LABORATORIO**

### **6.1.1. ANALISI GRANULOMETRICA**

L'analisi comparata dei risultati delle prove di caratterizzazione fisica di laboratorio ha consentito di tracciare un quadro complessivo al variare della profondità delle principali grandezze fisiche dei terreni indagati. I valori individuati a ciascuna profondità di prelievo dei campioni indisturbati sono stati inoltre differenziati rispetto a ciascuna verticale di indagine ai fini di individuare possibili variazioni spaziali delle grandezze analizzate. Tali valori sono stati utili ai fini dell'individuazione delle principali litologie e alla previsione del comportamento a carattere maggiormente coesivo ed incoerente.

Nelle figure illustrate di seguito sono riportate, ai fini di una miglior interpretazione dei dati, le elaborazioni dei risultati delle prove condotte nella campagna di indagine 2000 e 2020 considerando per quanto concerne quella relativa al 2000 i sondaggi più prossimi all'area da investigare:

-indagini del 2000: sondaggi S202, S203, S204;

-indagini 2020: sondaggio S01.

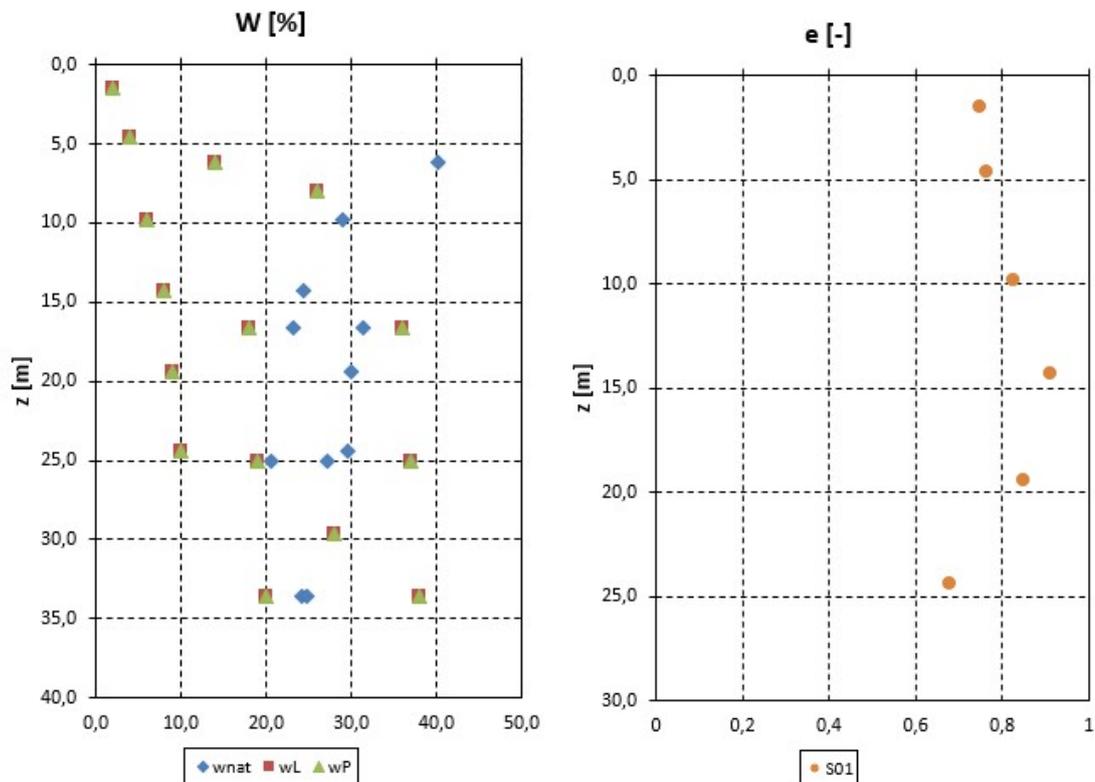


Figura 6-3: Andamento del contenyto d'acqua, dei limiti di Atterberg e dell'indice dei vuoti con la profondità

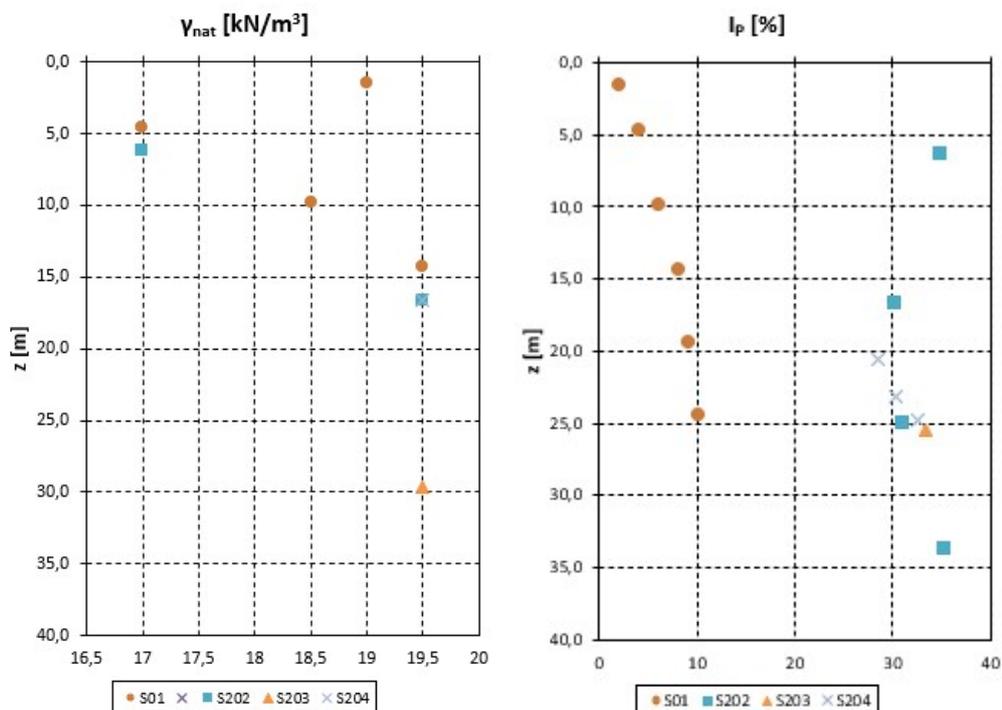


Figura 6-4: Andamento del peso specifico naturale e dell'indice di plasticità con la profondità

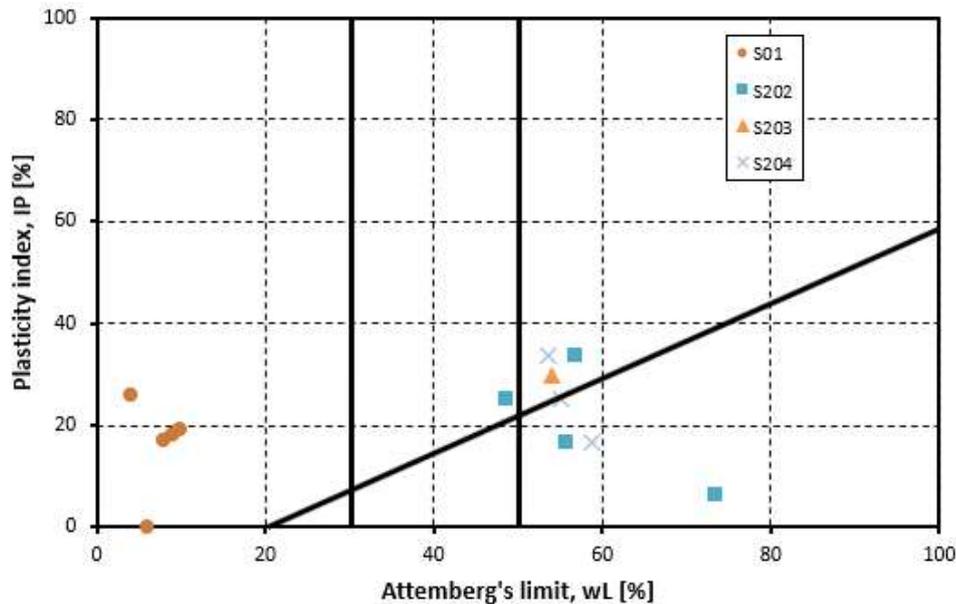


Figura 6-5: Carta di plasticità di Casagrande

### 6.1.2. PROVE TRIASSIALI CIU E UU

Sono stati analizzati ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di laboratorio effettuate su campioni indisturbati relativi alla campagna di indagine 2000 e 2020 considerando per quanto concerne quella relativa al 2000 i sondaggi più prossimi all'area da investigare:

-indagini del 2000: sondaggi S202, S203, S204

-indagini 2020: sondaggio S01

I risultati evinti dalle prove sono stati utili alla caratterizzazione in condizioni drenate e non drenate delle varie litologie in relazione alle condizioni di drenaggio imposte alle prove di laboratorio. Nella fattispecie, per quanto attiene le prove triassiali CIU, si sono determinati i parametri di resistenza in condizioni drenate  $c'$  e  $\phi'$ , mentre per quanto attiene le prove triassiali UU si sono determinati i valori di resistenza al taglio non drenata  $c_u$ . Di seguito vengono riportati i dati delle varie unità litologiche.

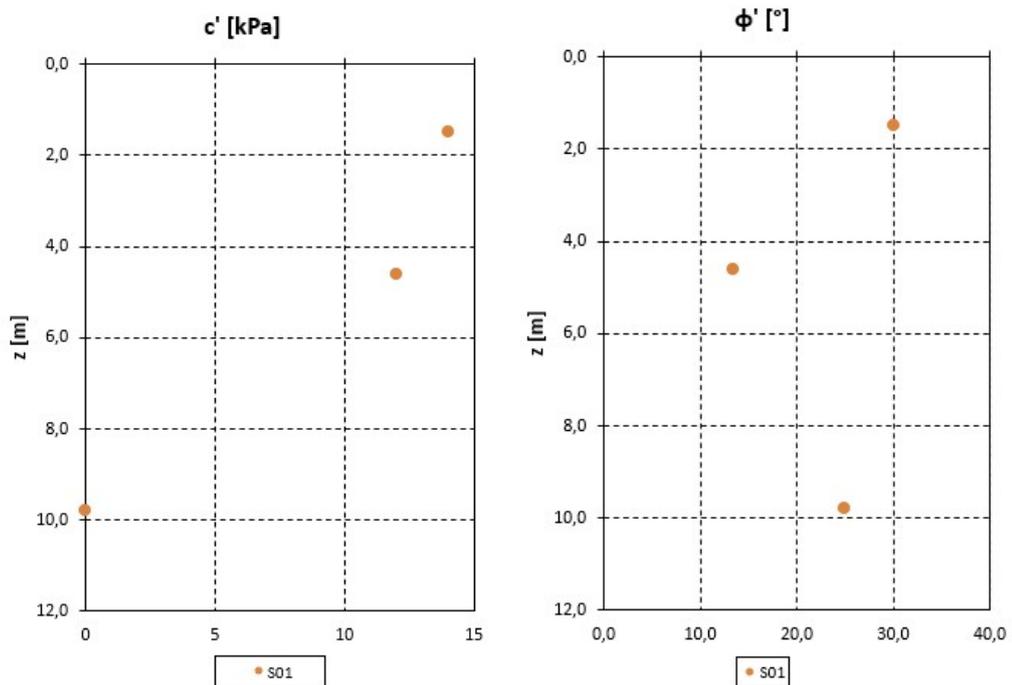


Figura 6-6: Andamento della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità

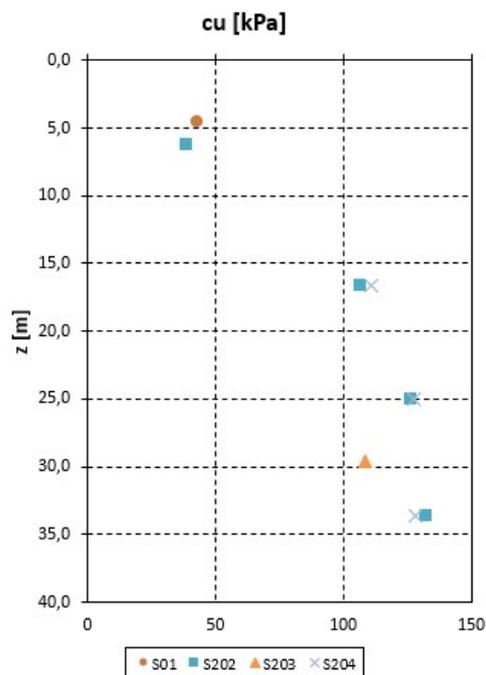


Figura 6-7: Andamento della resistenza non drenata con la profondità

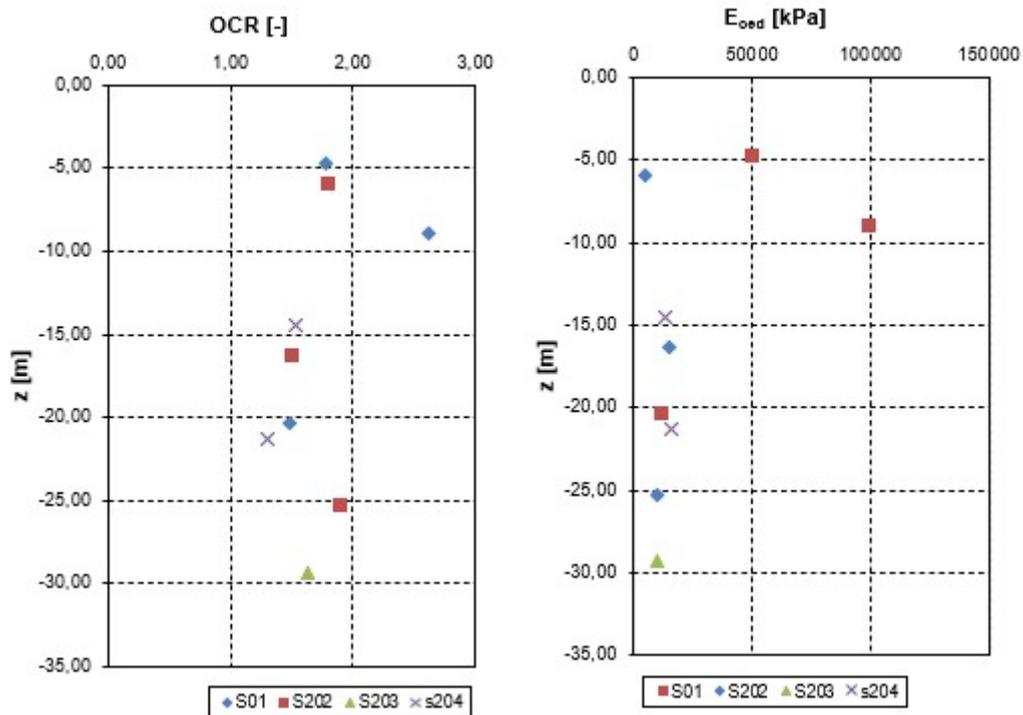
### 6.1.3. PROVE EDOMETRICHE

Sono stati analizzati ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di laboratorio effettuate su campioni indisturbati relativi alla campagna d'indagine del 2020 ossia:

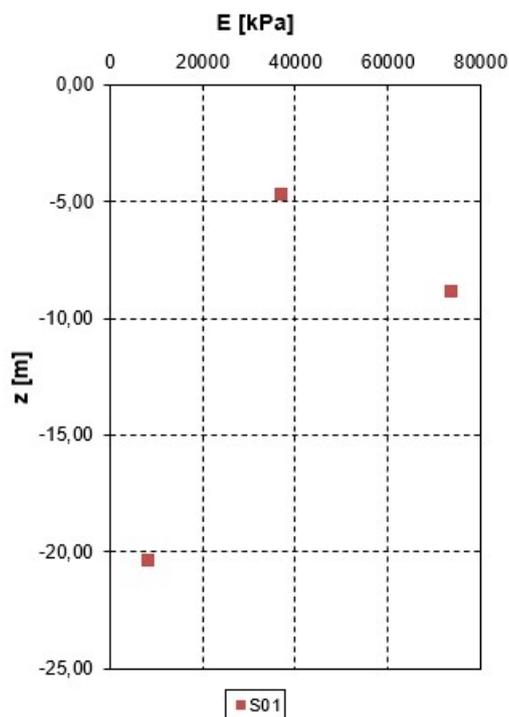
-indagini del 2000: sondaggi S202, S203, S204;

-indagini 2020: sondaggio S01

I risultati evinti dalle prove sono stati utili alla caratterizzazione in condizioni drenate o non drenate delle varie litologie in relazione alle condizioni di drenaggio imposte alle prove di laboratorio. Le prove edometriche hanno consentito di stimare la compressibilità dei litotipi coesivi.



**Figura 6-8: Andamento di  $E_{ed}$  e dell'OCR con la profondità**



**Figura 6-9: Andamento del modulo di Young con la profondità**



## 6.2. PROVE IN SITU

### 6.2.1. PROVE SPT

Durante l'esecuzione dei fori di sondaggi sono stati considerati n.15 prove penetrometriche standard SPT. Vengono riportate, ai fini di una miglior interpretazione dei dati, le elaborazioni dei risultati delle prove condotte nella campagna di indagine 2000 e 2020 considerando per quanto concerne quella relativa al 2000 i sondaggi più prossimi all'area da investigare:

-indagini del 2000: sondaggi S202, S203, S204

-indagini 2020: sondaggio S01

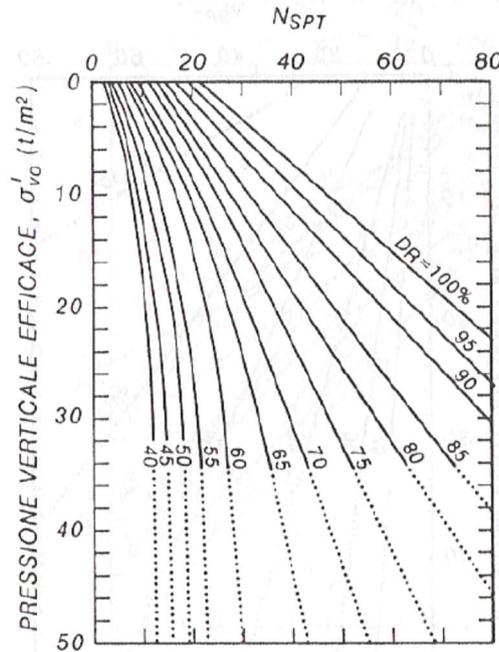
L'interpretazione delle prove SPT è stata orientata fondamentalmente alla caratterizzazione meccanica dei litotipi incoerenti attraverso le note correlazioni con il numero di colpi NSPT.

L'analisi dei risultati ottenuti dalle prove SPT consente, quindi, di ottenere una stima significativa dei parametri di resistenza dei terreni, nonché una stima sullo loro di addensamento.

Per quanto attiene la stima della densità relativa le correlazioni più utilizzate sono quelle proposte da Gibbs e Holtz (1957), valide per sabbie quarzose non cementate, graficamente rappresentate in Figura, che corrispondono all'equazione:

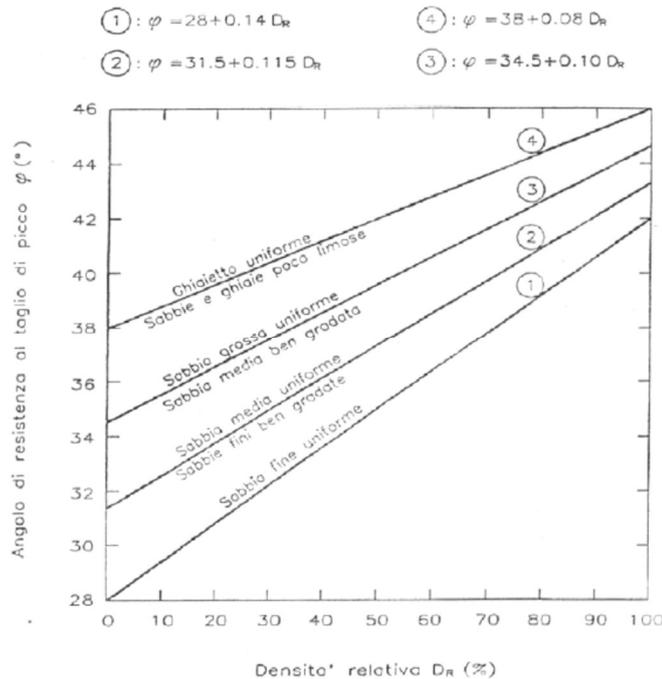
$$D_r = 21 \cdot \left( \frac{N_{SPT}}{\sigma'_{v0}} + 0.7 \right)^{0.5}$$

in cui  $\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica verticale efficace alla profondità di prova in kg/cm<sup>2</sup> e NSPT il numero di colpi medio misurato nello strato.



**Figura 6-10: Densità relativa - Nspt -  $\sigma'_{v0}$  (da Gibbs e Holtz 1957)**

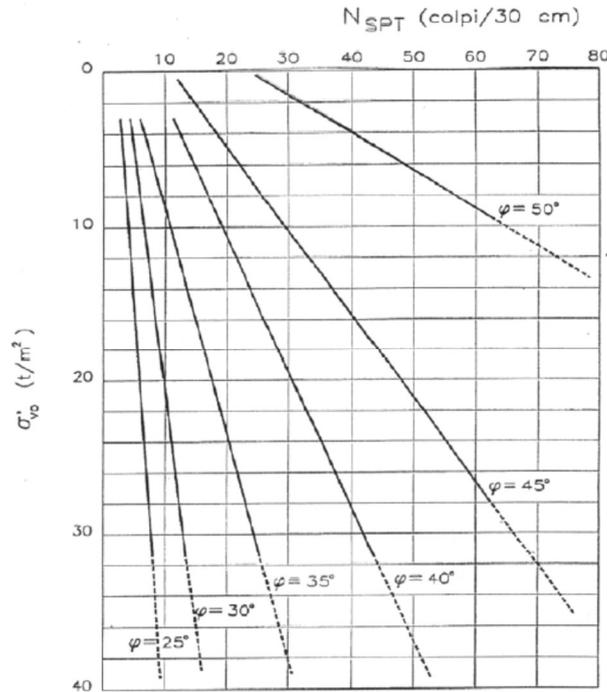
Attraverso la stima della densità relativa è possibile determinare i valori dell'angolo di attrito alle varie profondità di prova attraverso le correlazioni proposte da Schmertmann (1977), riportate in Figura.



**Figura 6-11: Densità relativa – angolo d'attrito (da Schmertmann 1977)**

Tali correlazioni portano in generale ad una sovrastima dei parametri di resistenza, pertanto, per il caso in esame, si è preferito calibrare la stima dell'angolo d'attrito attraverso le

correlazioni dirette proposte dal metodo di De Mello.



**Figura 6-12: N<sub>spt</sub> –  $\sigma'_{v0}$  – angolo d'attrito (da De Mello)**

La correlazione rappresentata in forma grafica è esprimibile dalla seguente espressione:

$$\phi' = 19 - 0.38 \cdot \sigma'_{v0} + 8.73 \cdot \log(N_{SPT})$$

in cui  $\sigma'_{v0}$  è la tensione geostatica verticale efficace alla profondità di prova in kg/cm<sup>2</sup> e NSPT il numero di colpi medio misurato nello strato.

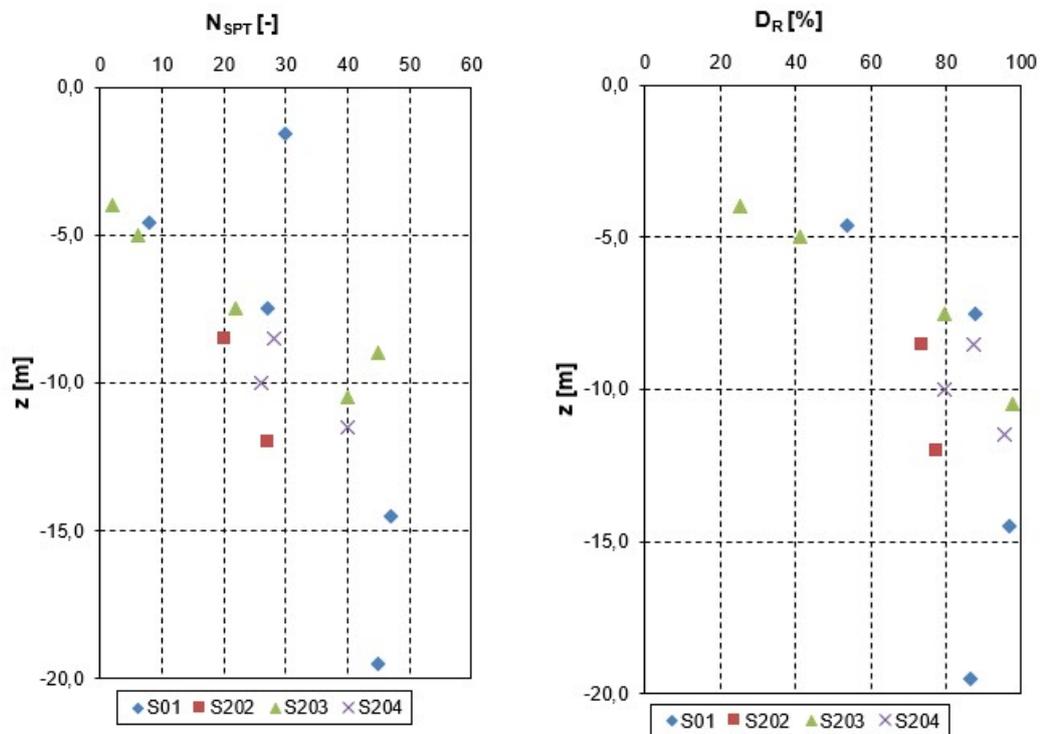
Ai fini di completare il quadro interpretativo, soprattutto in relazione alle verticali di prova relative ai litotipi più tipicamente coesivi si sono adottate alcune correlazioni ai fini della valutazione della coesione non drenata dei terreni argillosi.

Per la determinazione del modulo di Young ci si è riferiti alla seguente formulazione proposta da Denver:

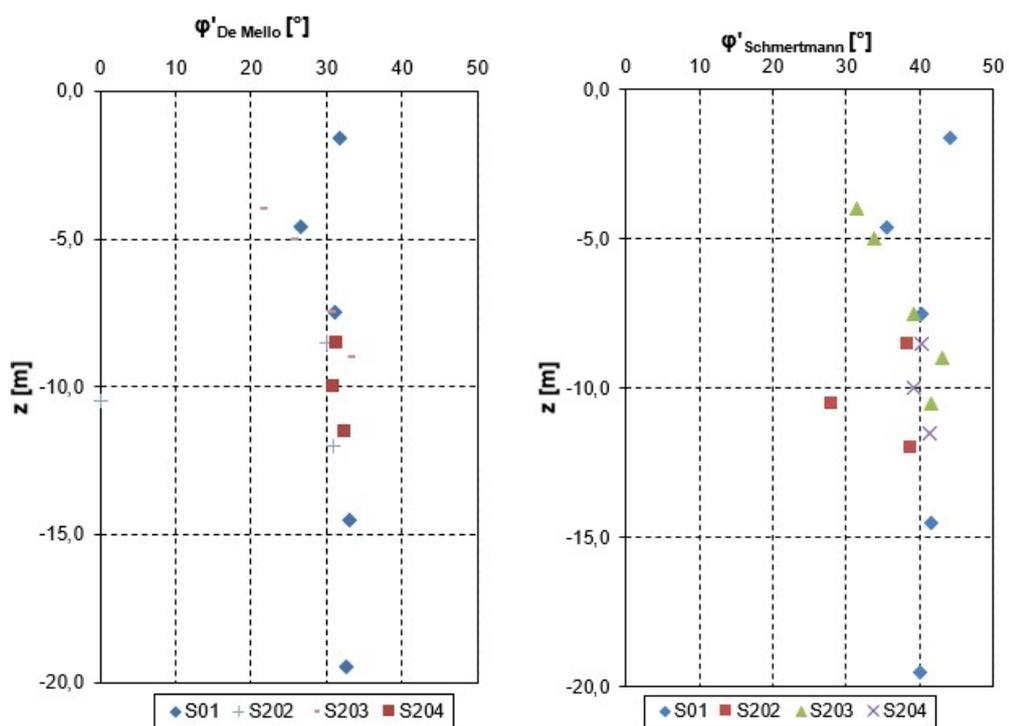
$$E_y = 0.326 \cdot N_{SPT} + 1.58 \quad [MPa] \quad Denver$$

I valori di  $N_{SPT}$  riscontrati nei primi 40m, si rilevano in generale piuttosto bassi con andamento crescente con la profondità. I valori registrati si attestano compresi tra 10 e 50. In relazione

alle correlazioni adottate in termini di densità relativa, i materiali possono definirsi in generale da sciolti e mediamente addensati.



**Figura 6-13: Andamento di  $N_{SPT}$  e della  $D_R$  con la profondità**



**Figura 6-14: Andamento dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità, Abaco De Mello e Schmertmann**

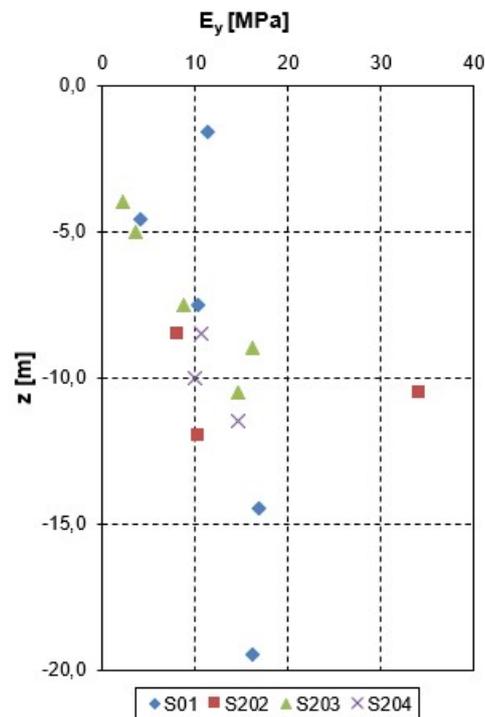


Figura 6-15: Andamento del modulo di rigidezza con la profondità

### 6.2.2. PROVE CPT

La prova penetrometrica statica considerata di seguito riportata, ai fini di una miglior interpretazione dei dati, è quella relativa alla campagna di indagine 2000 ossia la S203.

I risultati ottenuti in termini di coesione non drenata sono i seguenti:

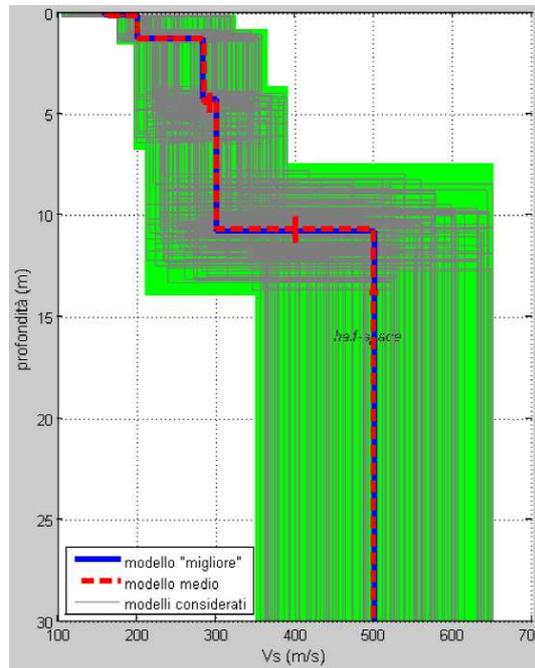
	campione	z	Cu
		[m]	[kPa]
S203	CPT5	8	40-100
	CPT3	23	180-240

Tabella 6-2: Valori di coesione non drenata

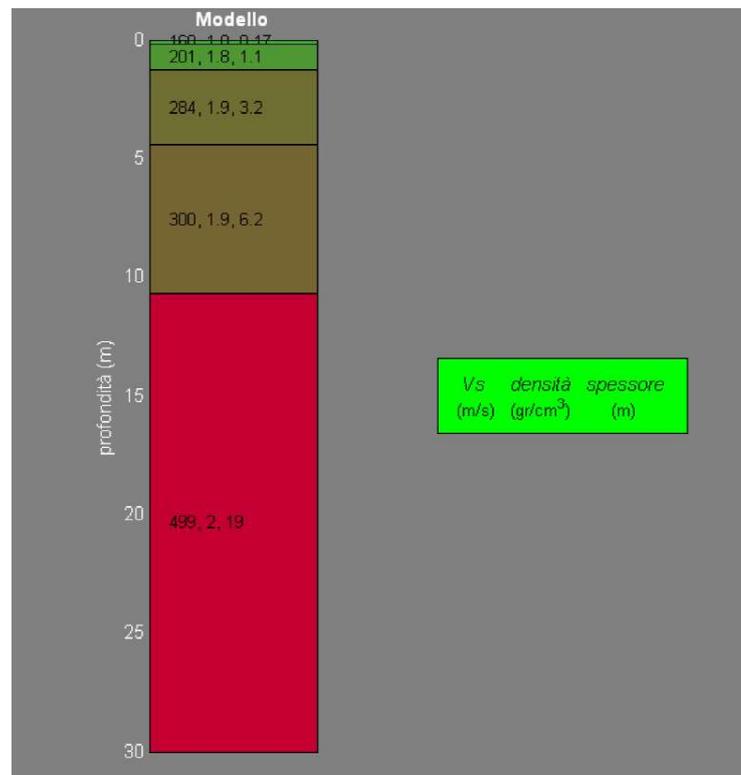
## 6.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

### 6.3.1. PROVE MASW

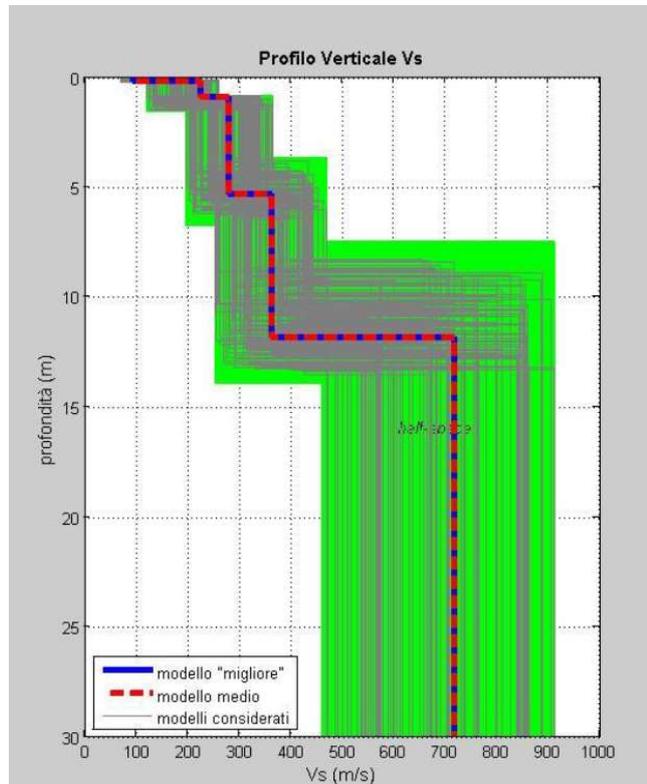
Al fine di caratterizzare la risposta sismica dell'area in esame, nell'ambito del progetto definitivo, sono state eseguite due (2) acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva).



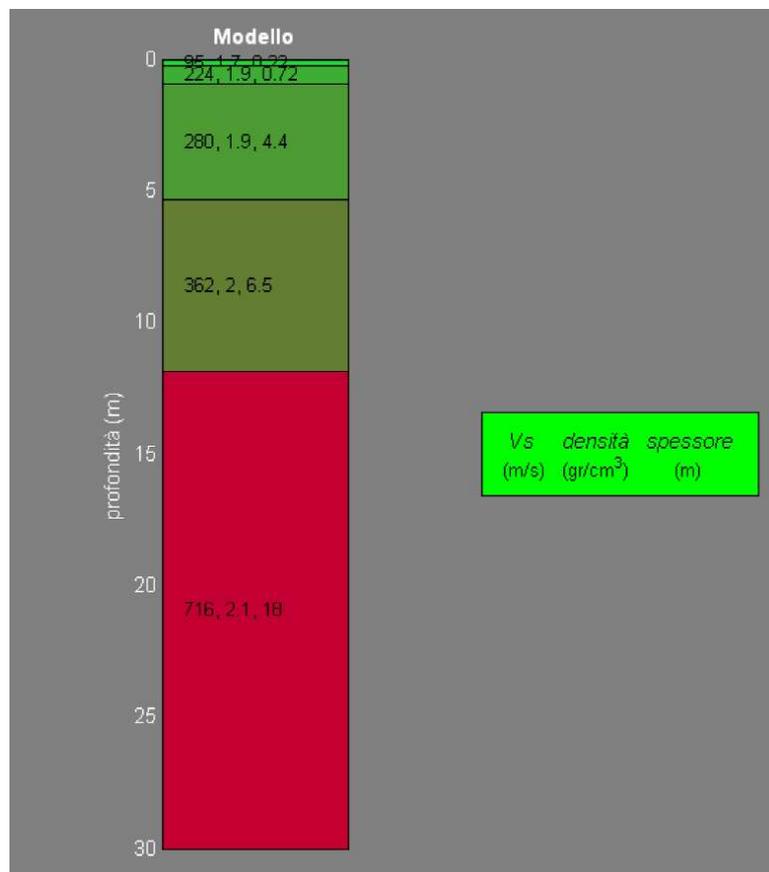
**Figura 6-16: Profili Vs MASW1**



**Figura 6-17: Colonna sismostratigrafica MASW1**



**Figura 6-18: Profili Vs MASW2**



**Figura 6-19: Colonna sismostratigrafica MASW1**

Riguardo alla determinazione del parametro sintetico  $V_{s,30}$ , utile ad una caratterizzazione sismica del sito in forma preliminare secondo la classificazione speditiva delle NTC 18, i dati ottenuti dalle suddette prove hanno consentito di determinare i seguenti valori:

- MASW 1 -  $V_{s,30}=388$  m/s
- MASW 2 -  $V_{s,30}=485$  m/s

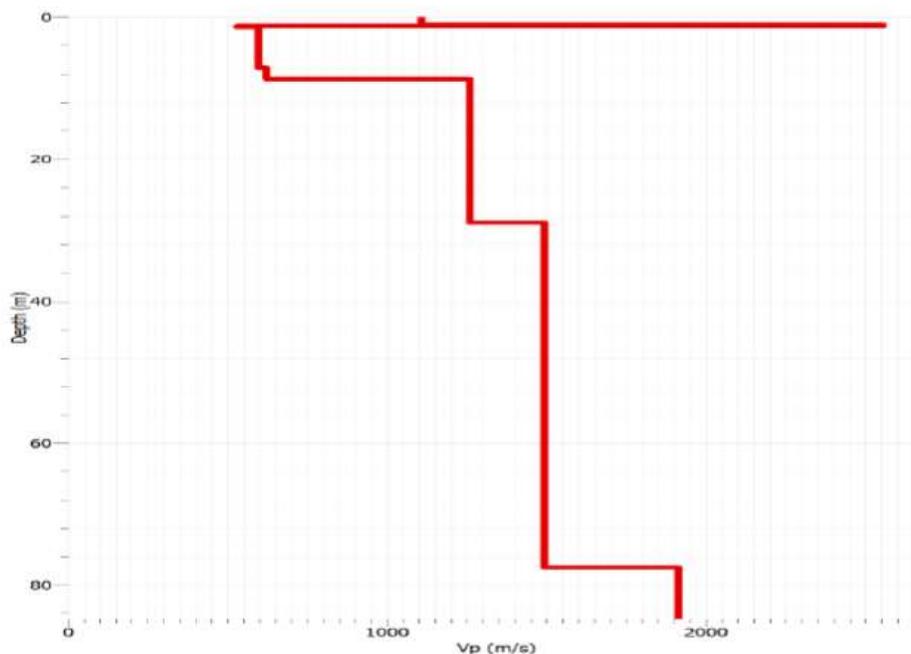
### 6.3.2. MISURE SISMICHE PASSIVE HVSR

Ai fini della caratterizzazione sismica sono state inoltre condotte misure sismiche passive HVSR eseguite contestualmente alle prove MASW.

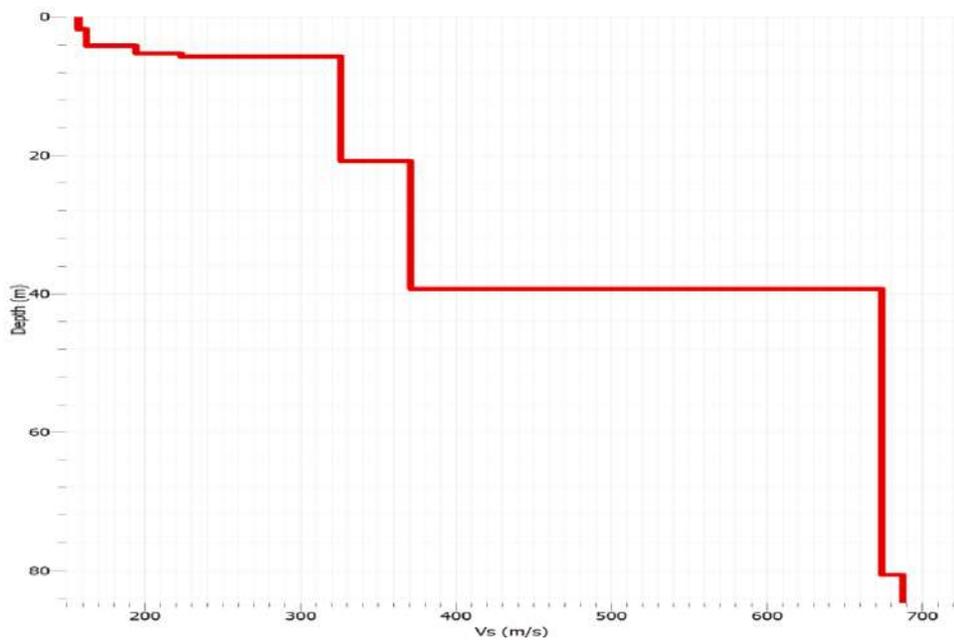
La metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), detta anche Metodo di Nakamura, si basa sulla misura dei rapporti fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale dei microtremori ambientali e sull'individuazione di massimi in frequenza della funzione H/V così ottenuta.

Tali misure sono state interpretate in termini di stima delle velocità di propagazione delle onde elastiche, seppur indirettamente, secondo il medesimo approccio seguito per le prove MASW.

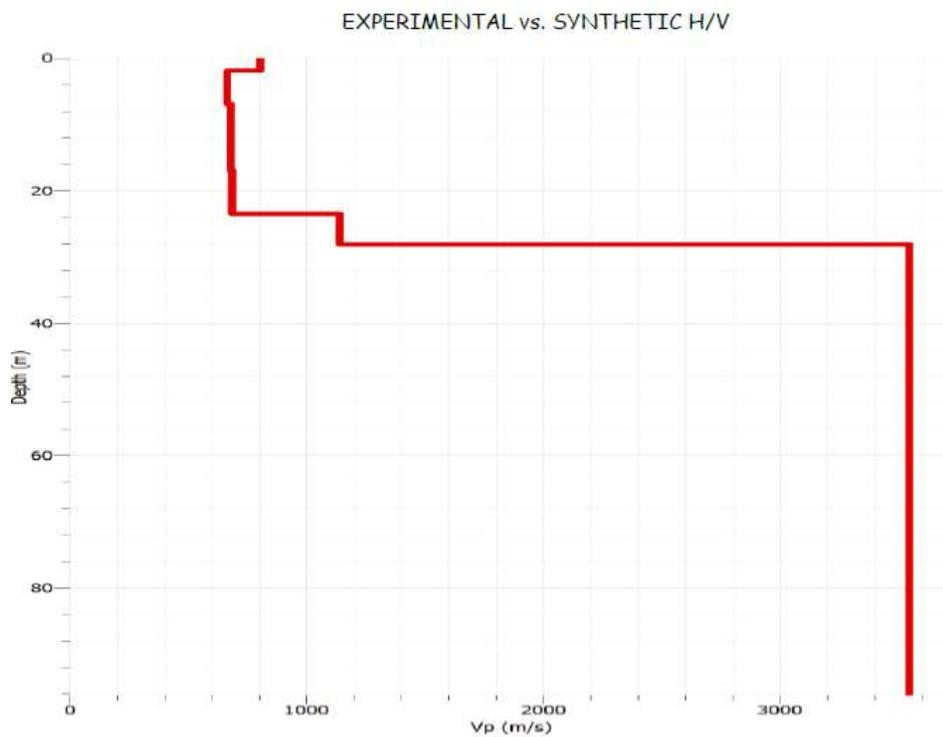
Di seguito si riportano le stime indirette delle velocità di onde di taglio e di pressione ( $V_s$ ,  $V_p$ ) lungo la profondità, anch'esse interpretate attraverso la teoria dell'elastici in termini i moduli di Young e di elasticità trasversale e le curve H/V in funzione della frequenza.



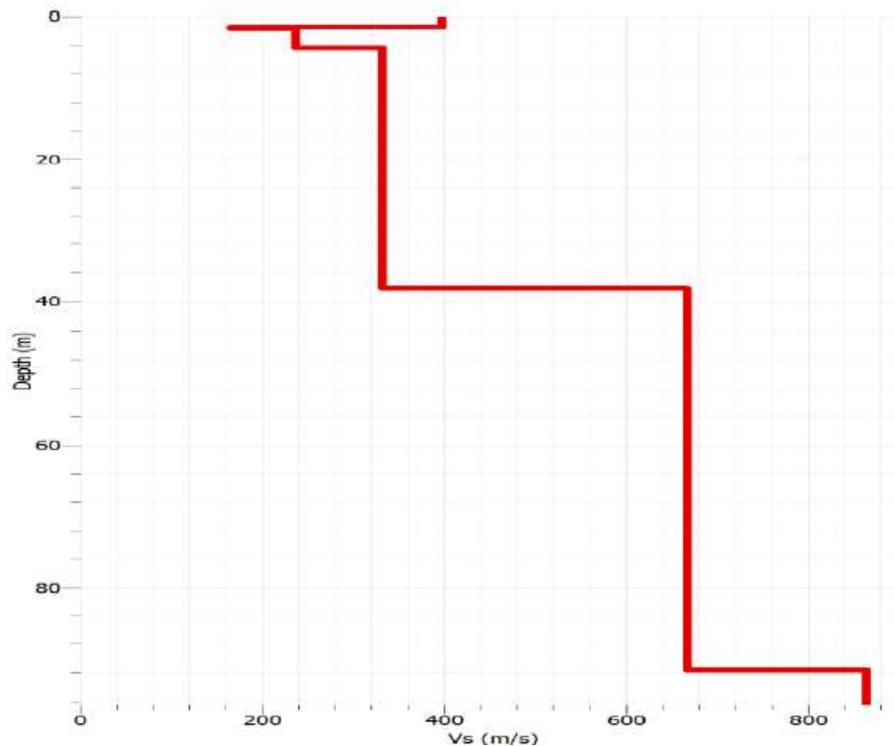
**Figura 6-20: Profili Vp HVSR01**



**Figura 6-21: Profili Vs HVSR01**



**Figura 6-22: Profili Vp HVSR02**



**Figura 6-23: Profili Vs HVS02**

## **7. MODELLO GEOTECNICO DELL'AREA DI STUDIO**

Sulla base dell'interpretazione delle prove eseguite con particolare riferimento al volume significativo interagente con le opere di Progetto, è possibile delineare una successione stratigrafica costituita essenzialmente dai litotipi di seguito descritti:

(R) Riporto costituito prevalentemente da materiale calcareo grossolano, ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa;

- A. Limo argilloso sabbioso marrone con tracce di torba;
- B. Sabbia fine limosa, localmente torbosa con intercalati livelli centimetrici di calcarenite, che nella parte basale dello strato, diventano calcareniti a cementazione irregolare con intercalati livelli sabbiosi;
- C. Argilla grigio-azzurra a tratti debolmente limose o debolmente sabbiose;

Dallo studio delle informazioni disponibili si evince la presenza di una falda freatica il cui livello di soggiacenza medio è localizzato, in base alla lettura effettuata nel 2020 dal sondaggio 204, prossimo all'area di intervento, alla profondità di circa 2m dal piano campagna.

Le indagini effettuate in sito e la successiva analisi dei valori ottenuti, hanno consentito la stima dei valori caratteristici dei parametri più rappresentativi del terreno investigato. Di seguito viene fornita una caratterizzazione litotecnica di massima delle litologie presenti nell'area e interessate dalle opere di progetto, accorpando i singoli strati di terreno in "Unità litotecniche" composte da litotipi caratterizzati da caratteristiche fisiche e da un comportamento reologico assimilabile.

Rispetto a quanto sopra descritto, la definizione preliminare delle unità litotecniche ai fini della verifica di stabilità delle aree può essere sintetizzata come segue.

<b>SPESSORE [m]</b>	<b>UNITÀ LITOTECNICA</b>
<b>0 ÷ 2,4m</b>	<b>(R) – Materiale di riporto di origine antropica</b>
<b>2,4 ÷ 7,1m</b>	<b>Unità A – Formazioni limo argillose</b>
<b>7,1 ÷ 10,7m</b>	<b>Unità B – Formazioni sabbie limose ghiaiose con calcareniti</b>
<b>10,7 ÷ 30m</b>	<b>Unità C – Formazioni argille grigio-azzurre</b>

Tabella 7-1: Unità litotecniche riconosciute

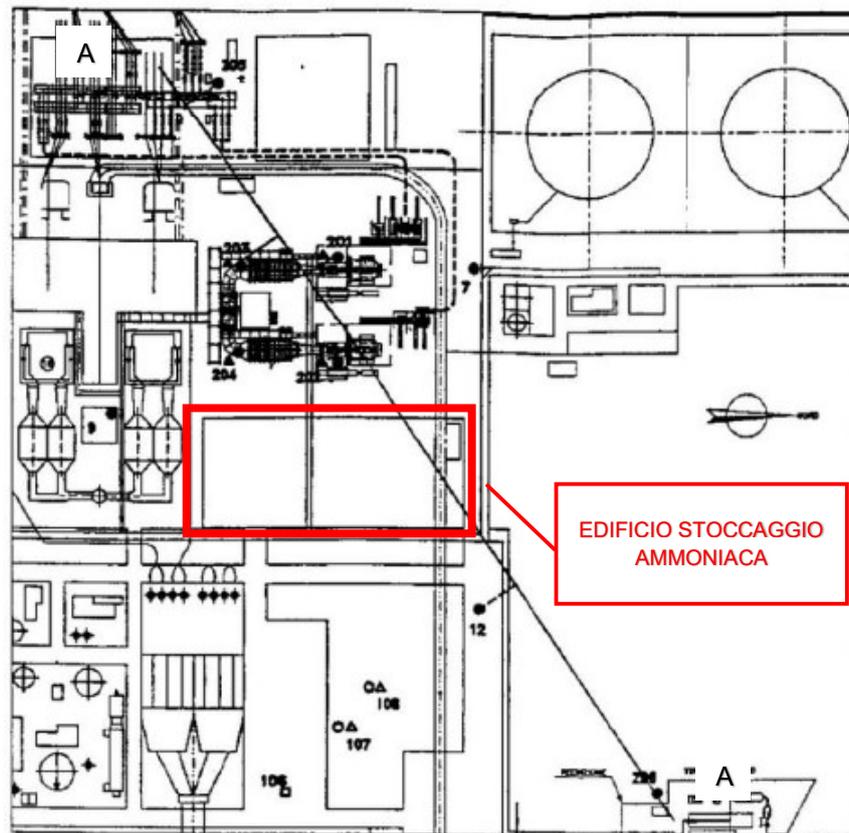
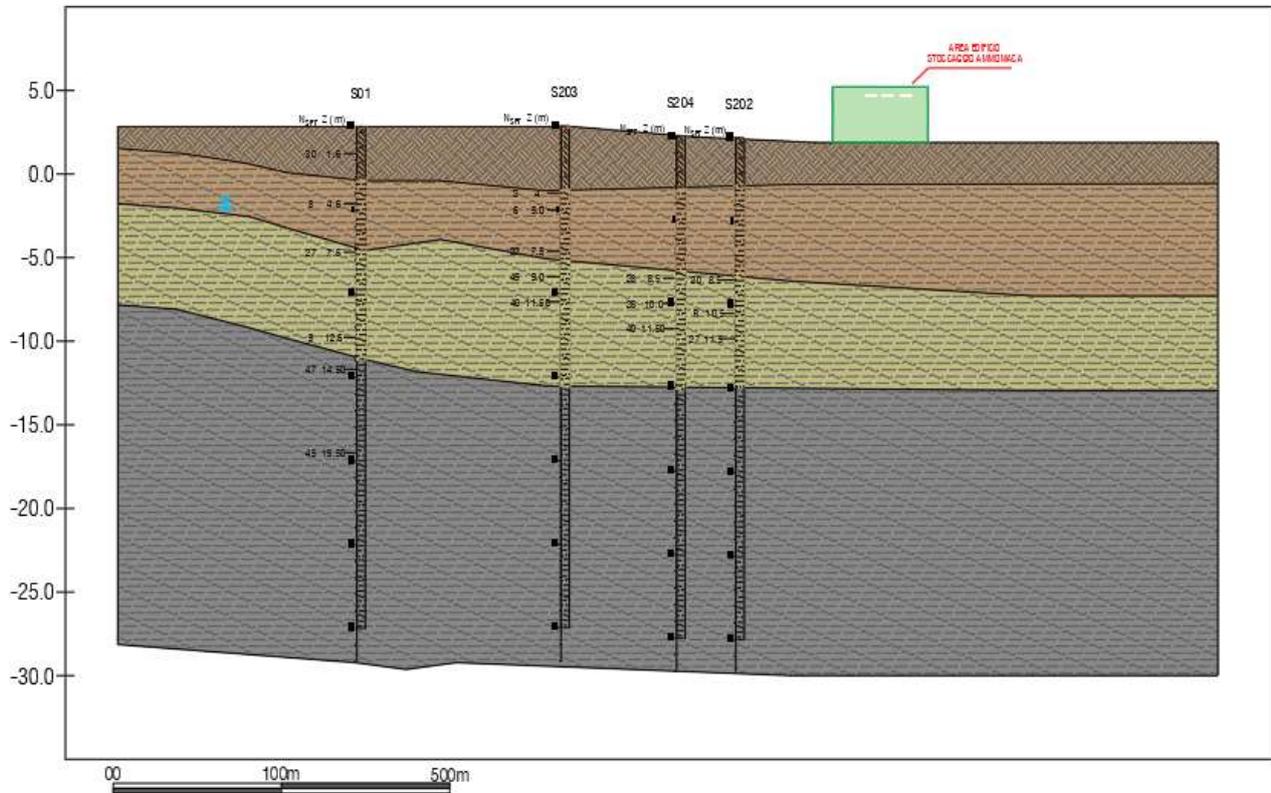


Figura 7-1: Pianta chiave



**Figura 7-2: Profilo litostratigrafico - Sezione A-A**

UNITA' LITOLOGICA	$\gamma$	$\Phi'$	$c'$	$c_u$	$V_s$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[m/s]
<b>(R)</b> – Materiale di riporto di origine antropica	19	34	0	-	242
<b>Unità A</b> – Formazioni limo argillose	17	25	12	45	282
<b>Unità B</b> – Formazioni sabbie limose ghiaiose con calcareniti	18,5	34	0	-	331
<b>Unità C</b> – Formazioni argille grigio-azzurre	19	37	-	100	607

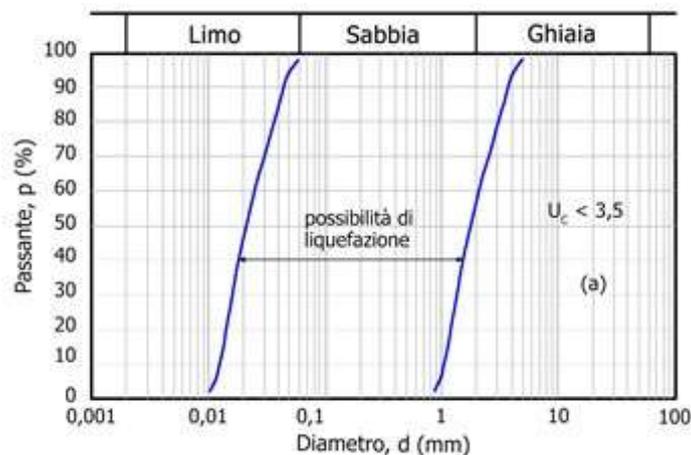
**Tabella 7-2: Parametri geotecnici di progetto**

## 8. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

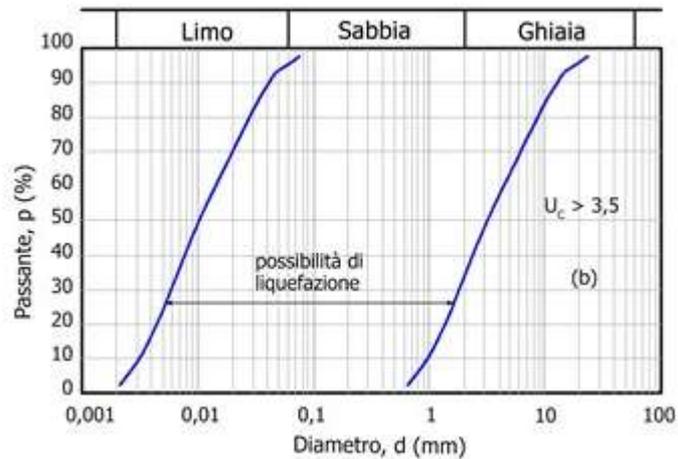
La verifica del potenziale di liquefazione viene effettuata in conformità con quanto previsto dalla normativa (NTC 2018).

È necessario considerare che la liquefazione non può avvenire se, in linea generale, si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- evento sismico atteso di magnitudo  $M < 5$  o secondo le formule più accreditate per la relazione Magnitudo/Distanza (P. Galli, 2000 - New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction, Tectonophysic n. 324-2000);
- accelerazione massima attesa al p.c. in assenza di manufatti (free-field) minori di  $0,1g$ ;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e dove  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8-1 successive nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 8-2 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



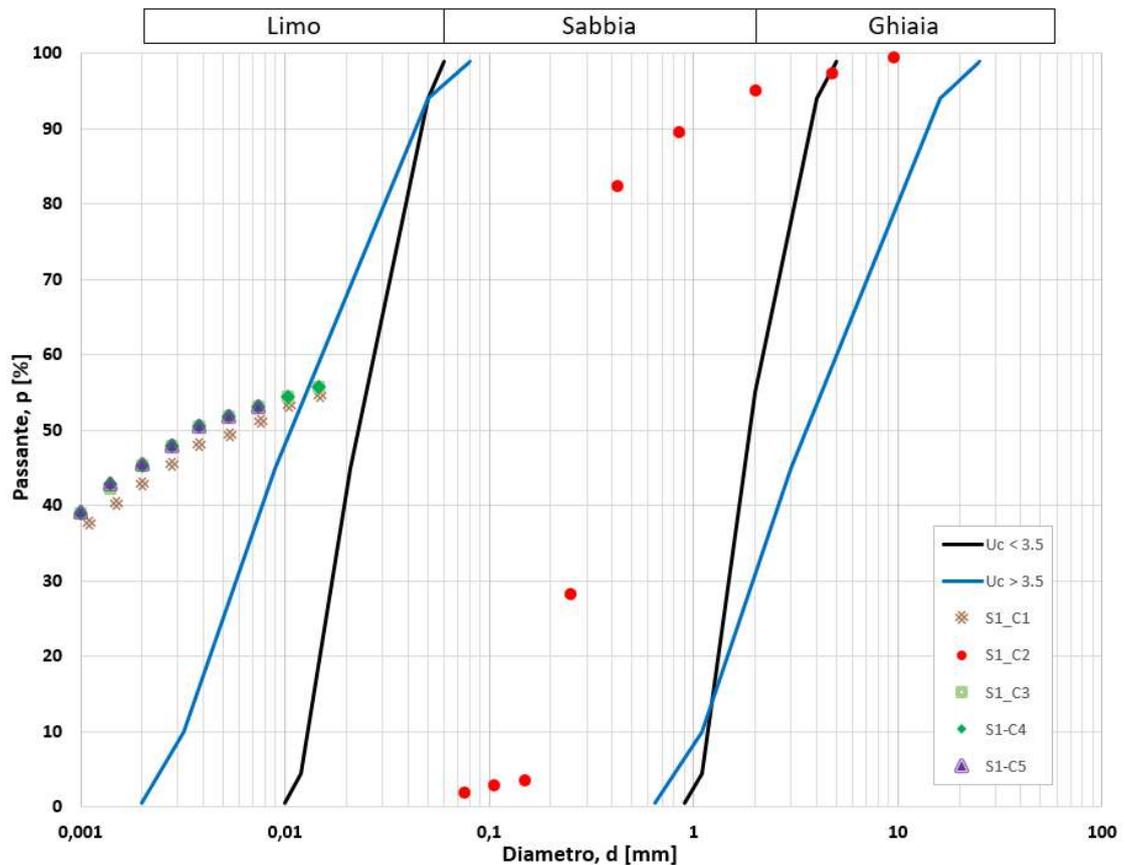
**Figura 8-1: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione per  $U_c < 3,5$**


**Figura 8-2: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione per  $U_c > 3,5$** 

La verifica a liquefazione, come sintetizzato nella tabella seguente, è stata svolta per i cinque campioni relative alle indagini svolte nel 2020, in quanto sono gli unici ad essere correlati di granulometria e sono i seguenti:

Sondaggi	Campione	Nome	z [m]
S01	C1	<b>S1CI1</b>	4.6
	C2	<b>S1CI2</b>	9.8
	C3	<b>S1CI3</b>	14.3
	C4	<b>S1CI4</b>	19.4
	C5	<b>S1CI5</b>	29.3

**Tabella 8-1: Sondaggi analizzati (indagini geognostiche 2020)**



**Figura 8-3: Fuso granulometrico per potenziale liquefazione**

La distribuzione granulometrica dei campioni analizzati è del tutto esterna ai fusi granulometrici ad eccezione del campione S1C2 il quale ricade internamente ai fusi riportati nella NTC18 paragrafo 7.11 figura.7.11.1 (Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione), per tanto, per le unità litologiche analizzate, è possibile escludere la verifica del potenziale di liquefazione, ad eccezione dell'unità B per la quale è necessaria la valutazione numerica dell'indice di potenzialmente liquefacibile.

Per le valutazioni della suscettibilità alla liquefazione sono indispensabili dati su:

- scuotimenti in superficie (in genere, in termini di accelerazione massima al suolo, PGA);
- magnitudo degli eventi attesi;
- litostratigrafia;
- granulometria;
- profondità della falda;
- resistenza dei terreni sotto carico ciclico.

Nelle verticali caratterizzate, la stima del potenziale di liquefazione può essere effettuata attraverso i classici metodi basati essenzialmente su prove CPTU e SPT, valutando il Fattore di Sicurezza di ogni strato individuato (FL). La potenziale suscettibilità a liquefazione viene valutata come segue:

- $FL < 1,25$  la liquefazione è possibile;
- $FL > 1,25$  la liquefazione è da escludere.

## 8.1. DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO

La definizione dell'input sismico in termini di magnitudo del momento sismico  $M_w$  è stata ricavata dagli studi di pericolosità sismica effettuato dall'INGV e risulta pari a 6,51.

Per quanto concerne la PGA, si considera il valore di 0,481g, ricavato rispetto all'affioramento rigido di riferimento, considerando una  $V_N$  di 50 anni, Classe d'uso IV -  $C_U=2.0$  e stato limite SLC.

Magnitudo sisma ( $M_w$ )	P.G.A. ( $a_g/g$ )	Profondità falda
[-]	[g]	[m da p.c.]
6,51	0,481	2

Tabella 8-2: Tabella parametri di input per la verifica del potenziale di liquefazione

## 8.2. VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Le verifiche a liquefazione sono state condotte con metodi di tipo semplificato basati essenzialmente sui risultati delle indagini in sito (SPT).

Il metodo utilizzato per la verifica a liquefazione è quello proposto dall'EC8 per le prove SPT - (Seed e Idris, 1982). Tale metodo è basato sul concetto di rapporto tra il tensionale ciclico (CSR), che esprime il carico sismico, e di rapporto di resistenza ciclica (CRR), che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione. Il rapporto tra le due variabili, da stimare alle diverse profondità del deposito, costituisce il coefficiente di sicurezza rispetto al potenziale di liquefazione FL. I valori di CSR dipendono essenzialmente dall'entità dell'azione sismica in termini di PGA mentre il calcolo della capacità resistente in termini di CRR viene basato su dati di prove in sito tipo SPT.

Lo studio dei dati provenienti dalle SPT è stato svolto con l'ausilio del software LiqIT v.4.7.7.5- Geologismiki.

Le verifiche sono state eseguite sulla base dei risultati della totalità delle prove SPT eseguite nell'ambito delle seguenti campagne di indagine:

- GEOMERID s.r.l. 2000;
- GEOGAV.it 2020;

Ai fini delle verifiche puntuali del potenziale di liquefazione stati considerati i soli valori di SPT all'interno dei materiali suscettibili di liquefazione per caratteristiche granulometriche, ossia lo strato B (*Formazioni sabbie limose ghiaiose con calcareniti*) caratterizzato da profondità comprese tra circa -7.0m e -11.0m.

I risultati ottenuti in termini di indici di potenziale liquefazione mostrano valori globali compresi nel range di liquefazione non probabile-poco probabile. Tenuto conto della bassa probabilità di accadimento fenomeno, associata alle caratteristiche strutturali dell'edificio e dei relativi apparati fondali, è possibile ritenere che i potenziali effetti deformazionali indotti, siano di fatto trascurabili nei confronti dell'esercizio del fabbricato, e pertanto, di poter escludere interventi specifici finalizzati al miglioramento dei terreni di fondazione.

Di seguito sono riportati gli output della verifica eseguita.



Engineering & Construction

# CENTRALE DI PRIOLO GARGALLO

## Nuovo edificio stoccaggio ammoniaca

Document  
Documento n.

**PBPGX12971**

Sheet  
Pagina **51** of  
di **53**



**GeoLogismiki**  
Geotechnical Engineering Software  
Merarhias 56, 621 25 - Serrai, Greece  
url: <http://www.geobgismiki.gr> - email: [info@geobgismiki.gr](mailto:info@geobgismiki.gr)

### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

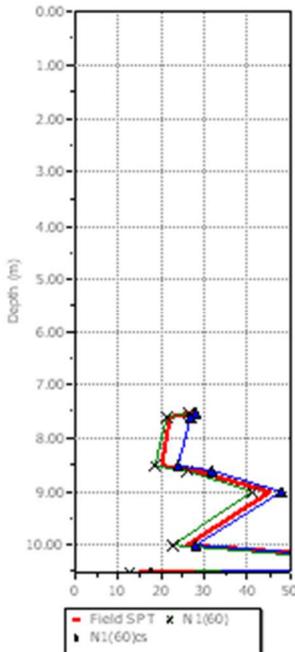
Project title : Enel green power

Project subtitle : Priolo Gargallo

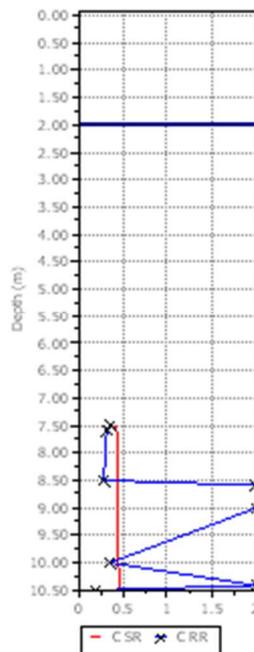
#### Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	2.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude $M_w$ :	6.51
Analysis method:	Eurocode 8	Peak ground acceleration:	0.48 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.25

SPT data graph



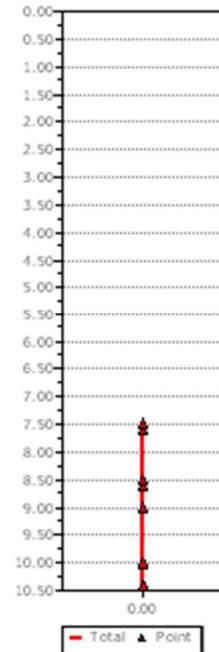
Shear stress ratio



Factor of safety



Settlements (cm)





**Field input data :**

Point ID	Depth (m)	Field $N_{60}$ (blows/30 cm)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Fines content (%)
1	7.50	27.00	18.50	10.00
2	7.60	22.00	18.50	20.00
3	8.50	20.00	18.50	20.00
4	8.60	28.00	18.50	20.00
5	9.00	45.00	18.50	20.00
6	10.00	26.00	18.50	20.00
7	10.40	100.00	18.50	20.00
8	10.50	15.00	18.50	20.00

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)  
 Field SPT : SPT blows measured at field (blows/30 cm)  
 Unit weight : Bulk unit weight of soil at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)

**Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) :**

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	$r_u$	CSR	MSF	CSR <sub>M=7.5</sub>	$K_{sigma}$	CSR'
1	7.50	138.75	63.77	74.98	1.00	0.72	1.68	0.43	1.00	0.43
2	7.60	140.60	64.75	75.85	1.00	0.72	1.68	0.43	1.00	0.43
3	8.50	157.25	73.58	83.67	1.00	0.73	1.68	0.44	1.00	0.44
4	8.60	159.10	74.56	84.54	1.00	0.73	1.68	0.44	1.00	0.44
5	9.00	166.50	78.48	88.02	1.00	0.74	1.68	0.44	1.00	0.44
6	10.00	185.00	88.29	96.71	1.00	0.75	1.68	0.44	1.00	0.44
7	10.40	192.40	92.21	100.19	1.00	0.75	1.68	0.45	1.00	0.45
8	10.50	194.25	93.19	101.06	1.00	0.75	1.68	0.45	1.00	0.45

Depth : Depth from free surface, at which SPT was performed (m)  
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 $r_u$  : Nonlinear shear mass factor  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 CSR<sub>M=7.5</sub> : CSR adjusted for M=7.5  
 $K_{sigma}$  : Effective overburden stress factor  
 CSR' : CSR fully adjusted

**Cyclic Resistance Ratio calculation CRR<sub>7.5</sub> :**

Point ID	Field SPT	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$N_{(20)}$	DeltaN	$N_{(20)ex}$	CRR <sub>7.5</sub>
1	27.00	1.09	0.90	1.00	1.00	1.00	26.39	1.44	27.83	0.34
2	22.00	1.08	0.90	1.00	1.00	1.00	21.39	5.31	26.71	0.32
3	20.00	1.03	0.90	1.00	1.00	1.00	18.62	5.09	23.71	0.27
4	28.00	1.03	0.90	1.00	1.00	1.00	25.94	5.68	31.62	2.00
5	45.00	1.01	0.90	1.00	1.00	1.00	40.95	6.87	47.81	2.00
6	26.00	0.97	0.90	1.00	1.00	1.00	22.67	5.42	28.09	0.35
7	100.00	0.95	0.90	1.00	1.00	1.00	85.81	10.43	96.25	2.00
8	15.00	0.95	0.90	1.00	1.00	1.00	12.82	4.63	17.45	0.19

$C_1$  : Overburden correction factor  
 $C_2$  : Energy correction factor  
 $C_3$  : Borehole diameter correction factor  
 $C_4$  : Rod length correction factor  
 $C_5$  : Liner correction factor  
 $N_{(20)}$  : Corrected  $N_{60}$   
 DeltaN : Addition to corrected  $N_{60}$  value due to the presence of fines  
 $N_{(20)ex}$  : Corrected  $N_{(20)}$  value for fines  
 CRR<sub>7.5</sub> : Cyclic resistance ratio for M=7.5

**:= Settlements calculation for saturated sands :=**

Point ID	$N_{1(\sigma)}$	$N_1$	FS	$e$ (%)	Settle (cm)
1	27.83	23.19	0.80	1.85	0.00
2	26.71	22.26	0.74	1.94	0.00
3	23.71	19.76	0.61	2.18	0.00
4	31.62	26.35	4.58	0.00	0.00
5	47.81	39.85	4.56	0.00	0.00
6	28.09	23.41	0.79	1.83	0.00
7	96.25	80.20	4.49	0.00	0.00
8	17.45	14.55	0.43	2.74	0.00

**Total settlement : 0.00**

$N_{1(\sigma)}$ : Stress normalized and corrected SPT blow count  
 $N_1$ : Japanese equivalent corrected value  
 FS: Calculated factor of safety  
 $e$ : Post-liquefaction volumetric strain (%)  
 Settle.: Calculated settlement (cm)

**:= Liquefaction potential according to Iwasaki :=**

Point ID	F	$w_6$	$I_L$
1	0.20	6.25	9.38
2	0.26	6.20	0.16
3	0.39	5.75	2.03
4	0.00	5.70	0.00
5	0.00	5.50	0.00
6	0.21	5.00	1.05
7	0.00	4.80	0.00
8	0.57	4.75	0.27

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5 and 15 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15$  - Liquefaction certain

**Figura 8-4:** Verifica a liquefazione SPT - Strato B: Formazioni sabbie limose ghiaiose con calcarenite