

 <b>GLOBAL</b> <b>POWER</b> <b>GENERATION E&amp;C</b>				<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>																											
				Document / Documento <b>PBPCX12973</b>						Sheet Pagina <b>1</b> of <b>34</b> di																					
PROJECT <i>Progetto</i>				<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>												Security Index <i>Indice Sicurezza</i>															
																<b>Riservato Aziendale</b>															
TITLE <i>Titolo</i>				<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>																											
CLIENT <i>Cliente</i>				<b>ENEL PRODUZIONE S.p.A</b>																											
JOB no. .... Document no. ....																															
CLIENT SUBMITTAL <i>Inoltro al Cliente</i>				FOR APPROVAL <input type="checkbox"/> <i>Per Approvazione</i>				FOR INFORMATION <input type="checkbox"/> ONLY <i>Per Informazione</i>				NOT REQUESTED <input type="checkbox"/> <i>Non Richiesto</i>																			
SYSTEM <i>Sistema</i>				DOCUMENT TYPE <i>Tipo Documento</i>				<b>TH</b>				DISCIPLINE <i>Disciplina</i>				<b>C</b>				FILE <i>File</i>		<b>PBPCX1297300</b>									
REV <b>00</b>		DESCRIPTION OF REVISIONS / <i>Descrizione delle revisioni</i> <b>PRIMA EMISSIONE</b>																													
		 GEOTECHNICAL ENGINEERING & GEOLOGY																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA JOB</th> <th>DATA Date</th> <th>IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE</th> <th>REDATTO PREPARED</th> <th>CONTROLLATO CHECKED</th> <th>APPROVATO APPROVED</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>249</td> <td>22/03/21</td> <td>R.249-08.00</td> <td>G.Sedani</td> <td>C. Riva</td> <td>A. Garassino</td> </tr> </tbody> </table>																		COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED	249	22/03/21	R.249-08.00	G.Sedani	C. Riva	A. Garassino
COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED																										
249	22/03/21	R.249-08.00	G.Sedani	C. Riva	A. Garassino																										
		via Elia Lombardini, 10 - 20143Milano phone: +39 02-38.24.82.30 - e-mail: geo.consulet@consulet.it																													
00		22/03/21		SP																											
				CONSULET																FAVATA		IT-A456441 Perugini S.									
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>E messo</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.

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet    2    of    34 <i>Pagina    di</i>

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	DOCUMENTI.....	5
2.2	NORMATIVE.....	6
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	7
4.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO.....	12
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	15
6.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	18
6.1	VELOCITA' DELLE ONDE S.....	18
6.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA .....	19
6.3	ACCELERAZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	19
6.4	SCELTA DELLA MAGNITUDO.....	20
6.5	SUSCETTIBILITA' AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE .....	22
6.6	PARAMETRI DI SMORZAMENTO DEL TERRENO.....	30
7.	FATTIBILITA' GEOLOGICA .....	31
8.	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE.....	32
9.	BIBLIOGRAFIA.....	34

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>3</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <b>3</b> di <b>34</b>

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione geologica ha lo scopo di caratterizzare i terreni entro cui ricade l'area di costruzione dell'impianto di stoccaggio dell'ammoniaca nell'area della centrale a ciclo combinato "Teodora" in località Porto Corsini, nel comune di Ravenna (RA). L'area della centrale, situata circa 8 km in direzione nordest rispetto a Ravenna, si affaccia sul Canale Candiano che, proseguendo verso nordest, raggiunge l'Adriatico dopo 1.5 km circa; la quota media nell'area di progetto è di circa 0.8 m s.l.m.m, mentre la quota di progetto è di 1.8 m s.l.m.m.

Per quanto riguarda l'inquadramento geografico, si riporta un estratto del più recente DBTR (data-base topografico regionale) fornito dalla Regione Emilia Romagna (rif. [4]). L'area d'interesse è cerchiata in rosso.

Oggetto di questo documento è lo studio dei terreni interessati dall'opera in progetto dal punto di vista della situazione stratigrafica e dell'assetto geologico locale, fornendo inoltre un inquadramento geomorfologico e idrogeologico più ampio e generale dell'intera zona con l'indicazione, ove presenti, delle relative pericolosità, criticità o vincoli ambientali gravanti sull'area. Lo studio geologico si è basato sull'analisi della cartografia ufficiale reperibile, sulla ricerca bibliografica di informazioni geologiche, sulla raccolta e sull'esame di carte tematiche e di profili stratigrafici esistenti, nonché sull'analisi delle prove geotecniche e geofisiche disponibili.

Nel corso della relazione viene inoltre riportato il modello geotecnico ottenuto dall'analisi più recenti indagini geotecniche, condotte nel 2021 appositamente per le opere in progetto; l'interpretazione dei dati fatta per giungere alla definizione di tale modello è oggetto di altra relazione (doc. Rif.[3]).

Infine la relazione contiene la classificazione sismica del sito basata sull'analisi delle prove sismiche condotte recentemente nell'area di progetto e una valutazione sull'occorrenza del fenomeno della liquefazione dei terreni.

Tutte le considerazioni e le valutazioni esposte nelle pagine a seguire sono state condotte in osservanza a quanto contenuto nell'aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (approvato con D.M. 17.01.2018, pubblicato sulla G.U. il 20.02.2018) ed alla successiva Circolare Esplicativa.



**CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"  
Ravenna (RA)**

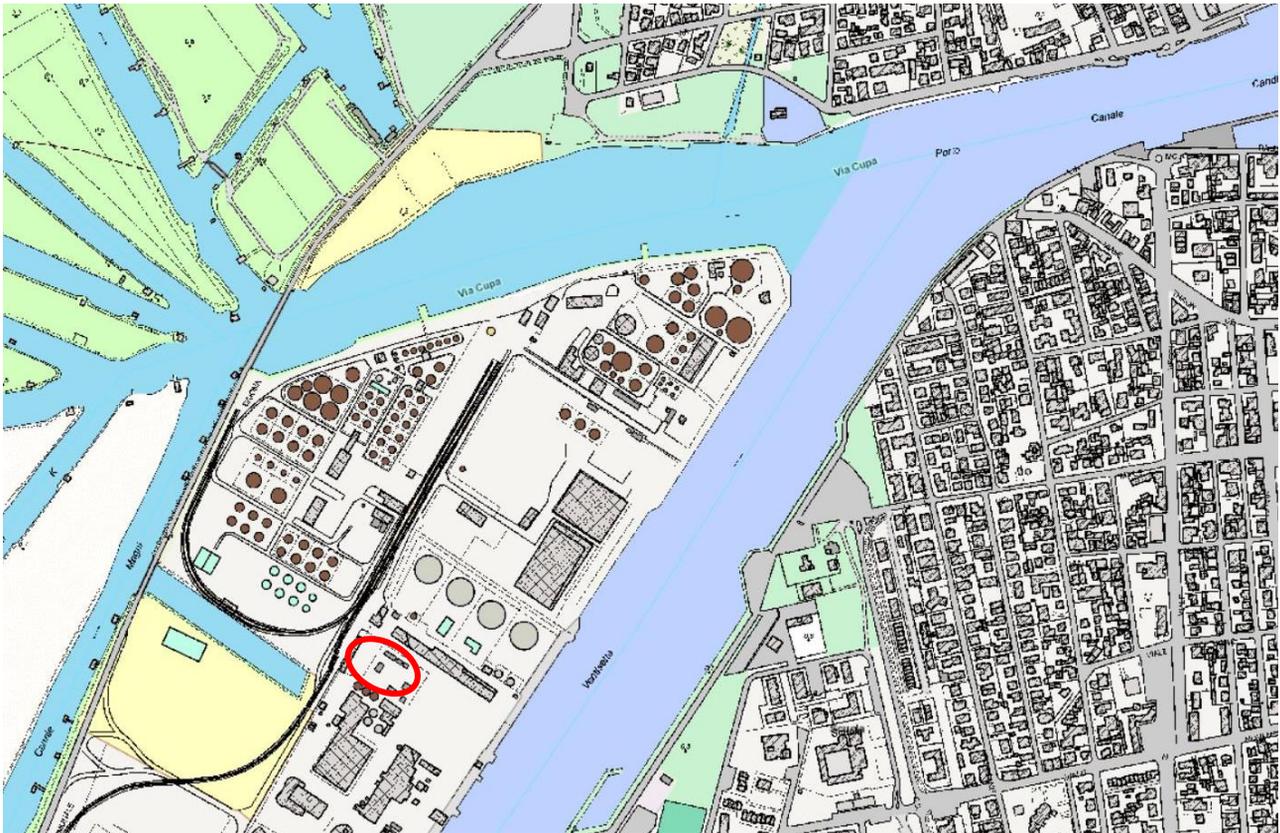
Document  
Documento n.

**PBPCX12973**

**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA  
RELAZIONE GEOLOGICA**

REV. 00 22.03.21

Sheet  
Pagina **4** of di **34**



**Figura 1.1** – Inquadramento geografico su DBTR

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>5</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

## 2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Nel corso della presente relazione si farà riferimento ai documenti ed alle norme qui elencate.

### 2.1 DOCUMENTI

- Rif.[1]    COSTAG – PBPCX12971 - Centrale di Porto Corsini - Ravenna (RA) - Edificio stoccaggio di ammoniaca - Relazione sulle Indagini Geognostiche di sito - 08/03/2021
- Rif.[2]    CGG – PBPCX12972 - Centrale di Porto Corsini - Ravenna (RA) - Edificio stoccaggio di ammoniaca - Relazione sulle prove di laboratorio - 16/03/2021
- Rif.[3]    CONSULET SERVIZI S.r.l. – PBPCX12973 Centrale elettrica "TEODORA" - Ravenna (RA) - edificio stoccaggio di ammoniaca - Relazione geotecnica – 19/03/2021
- Rif.[4]    Regione Emilia Romagna – Geoportale  
<https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/applicazioni-gis/regione-emilia-romagna/cartografia-di-base/database-topografico-regionale/consultazione-database-topografico-regionale>
- Rif.[5]    Regione Emilia Romagna – Carta della subsidenza 2011-2016  
<https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/dataset/carta-della-subsidenza-2011-2016/resource/827833d7-76ad-44e4-9844-0c3243d8edce>
- Rif.[6]    Provincia di Ravenna – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale  
<http://www.provincia.ra.it/Argomenti/Territorio/PTCP-Piano-Territoriale-di-Coordinamento-Provinciale/Elaborati-grafici>
- Rif.[7]    Piano Strutturale Comunale di Ravenna  
<https://www.comune.ra.it/aree-tematiche/gestione-del-territorio-e-protezione-civile/urbanistica/rup-ravenna-urban-planner/psc-piano-strutturale-comunale/elaborati/>
- Rif.[8]    Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – ISPRA, Foglio n°223 Piacenza;  
[https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/223\\_RAVENNA/Foglio.html](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/223_RAVENNA/Foglio.html)  
e relative Note Illustrative  
[https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note\\_illustrative/223\\_Ravenna.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/223_Ravenna.pdf)
- Rif.[9]    INGV - Redazione della mappa di pericolosità sismica - Rapporto conclusivo – 2004

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>6</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <b>6</b> di

Rif.[10] Dipartimento della Protezione Civile - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica  
[http://www.protezionecivile.gov.it/media-comunicazione/pubblicazioni/dettaglio/-/asset\\_publisher/default/content/indirizzi-e-criteri-per-la-microzonazione-sismica](http://www.protezionecivile.gov.it/media-comunicazione/pubblicazioni/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/indirizzi-e-criteri-per-la-microzonazione-sismica)

## 2.2 NORMATIVE

La relazione fa riferimento anche ai seguenti documenti:

- DPCM 21 ottobre 2003: "Disposizioni attuative dell'art 2, commi 2-3 e 4 dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Emilia Romagna - DGR n. 1373 del 26 settembre 2011: "Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1, e dell'art. 4, comma 1, della L.R. n. 19 del 2008"
- Emilia Romagna - DGR n. 1661 del 2 novembre 2009: "Approvazione elenco categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile ed elenco categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso"
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 17 Gennaio 2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni (NTC)»"
- 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"
- EC8-5 (EN 1998-5, 2005): "Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet    7    of <i>Pagina</i> <i>di</i> 34

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

#### *Geologia*

I depositi che formano l'ossatura della pianura padana costituiscono il riempimento del bacino di avanfossa di età plio-quadernaria compreso tra la catena Appenninica a sud e quella Alpina a nord. Studi storici hanno evidenziato che lo spessore complessivo delle unità quadernarie è di 1000-1500 metri.

L'evoluzione sedimentaria plio-quadernaria del bacino Padano evidenzia una tendenza regressiva identificata da depositi marini di ambiente via via meno profondo fino a depositi continentali; all'interno di questa tendenza principale si sono sviluppati trend in controtendenza che provocano la formazione di cicli trasgressivi-regressivi all'interno del ciclo regressivo di più ampio respiro.

Il sottosuolo della piana costiera Romagnola è infatti caratterizzato dall'organizzazione ciclica di depositi marini e continentali in successioni di vario ordine gerarchico per uno spessore di alcune centinaia di metri. L'età dei sedimenti si riduce spostandosi progressivamente dal basso verso l'alto e da ovest verso est; l'area in esame presenta sedimenti estremamente giovani, per i quali si parla di centinaia o al massimo migliaia di anni.

La carta geologica di riferimento (Foglio 223-Ravenna alla scala 1:50,000, del progetto CARG), indica nell'area di interesse la presenza dell'Unità di Modena (AES<sub>8a</sub>), datata dal IV secolo d.C. Si tratta di sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale, deltizio e litorale. Questa unità costituisce la parte sommitale del Subsistema di Ravenna, a sua volta parte del più importante Sistema Emiliano Romagnolo Superiore. Al di sotto dell'Unità di Modena, che presenta spessore massimo di 5.5 metri, si trova il Subsistema di Ravenna in senso stretto (AES<sub>8</sub>), caratterizzato da sedimenti alluvionali e deltizi di maggiore età (fino a circa 8800 anni fa). Secondo la letteratura consultata (Note Illustrative, Rif. [8]), la base del Subsistema di Ravenna è evidenziata da un orizzonte sovraconsolidato, che provoca nelle prove penetrometriche con piezocono un aumento della resistenza alla punta, un brusco aumento della resistenza laterale, e una riduzione della pressione interstiziale; tali effetti sono presenti anche nella prova penetrometrica condotta nel 2021, alla profondità di circa 27 metri da p.c; l'aumento della consistenza si nota anche nel sondaggio S1 grazie alle prove con penetrometro tascabile e con Torvane.

Questa brusca modifica nelle caratteristiche geotecniche testimonia delle variazioni deposizionali che sono state interpretate come il passaggio da condizioni climatiche glaciali, responsabili dei sedimenti più prettamente continentali sottostanti, alle condizioni interglaciali che hanno visto la deposizione del subsistema di Ravenna. Il più superficiale passaggio, invece, dal



**CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"  
Ravenna (RA)**

Document  
Documento n.

**PBPCX12973**

**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA  
RELAZIONE GEOLOGICA**

REV. 00 22.03.21

Sheet  
Pagina **8** of  
di **34**

Subsistema di Ravenna alla sua porzione più strettamente continentale (Unità di Modena) è attribuito ad un'importante fase di deterioramento climatico intervenuta tra il IV e il VI secolo d.C. che ha portato ad un cospicuo aumento delle precipitazioni, con conseguente modifica della rete idrografica e alluvionamento di gran parte della pianura nell'area.

Come si evince dalle descrizioni sopra riportate, in questo ambiente è molto difficile fare precise previsioni sulla granulometria che verrà incontrata a profondità d'interesse geotecnico, visto che l'ambiente stesso si caratterizza per continui cicli deposizionali e migrazioni dei rami deltizi e dei cordoni litorali, generando variabilità sia in senso verticale che laterale. Per questo motivo è stata programmata un'indagine geotecnica, condotta nel 2021, che ha permesso una precisa caratterizzazione del sito d'interesse.





**CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"  
Ravenna (RA)**

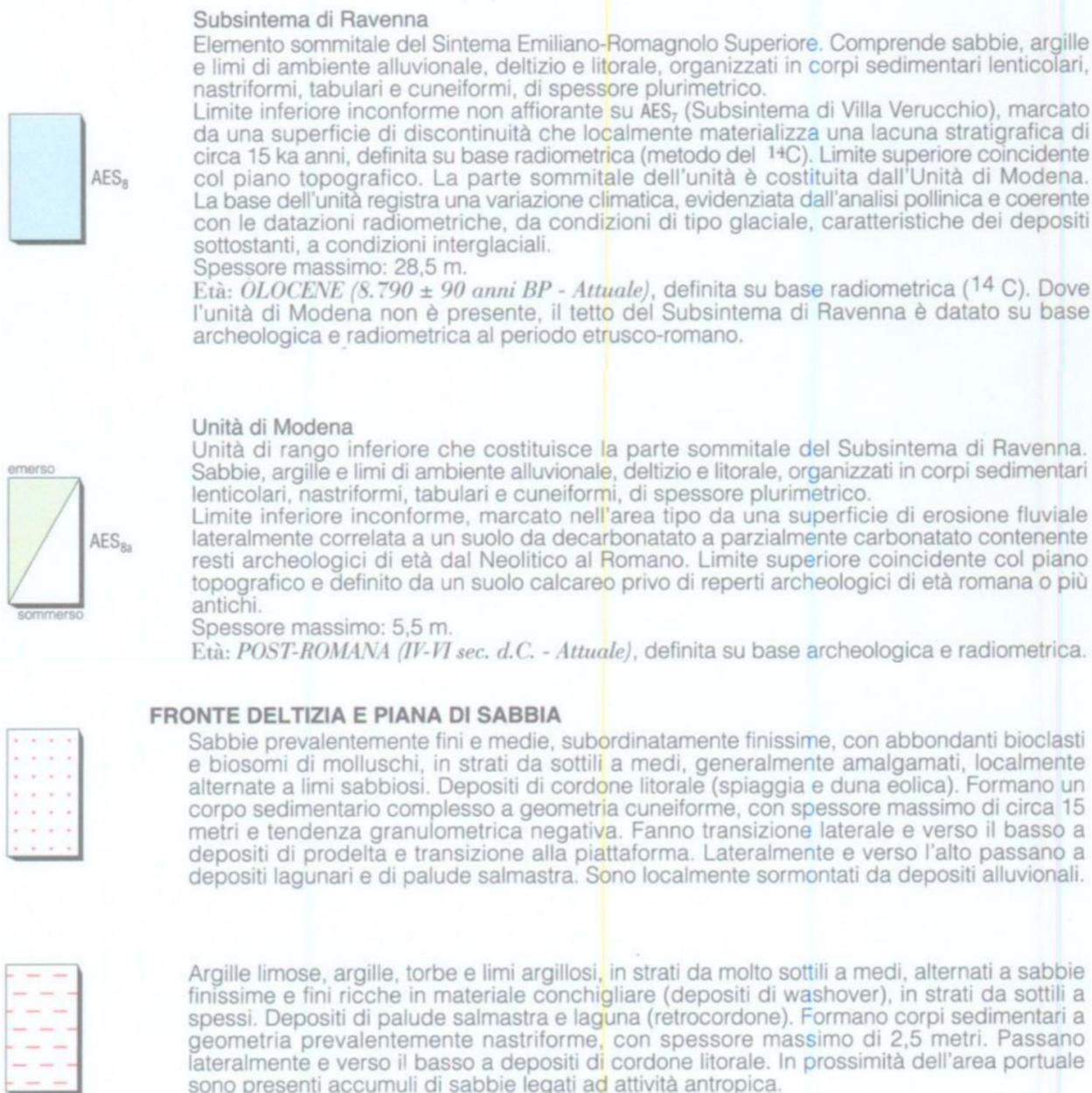
Document  
Documento n.

**PBPCX12973**

**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA  
RELAZIONE GEOLOGICA**

REV. 00 22.03.21

Sheet  
Pagina **9** of **34**  
di



**Figura 3.1** – Carta geologica 1:50,000 – Foglio 223 "Ravenna"

### Morfologia

L'attuale configurazione morfologica dell'area compresa nel foglio Ravenna è il risultato della complessa interazione di processi fluviali, marini, costieri e tidali che hanno caratterizzato la dinamica deposizionale tardo-olocenica. Gran parte dei caratteri morfologici osservabili nella parte settentrionale e orientale del foglio Ravenna è intimamente legata alle dinamiche evolutive del delta

*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.*

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>10</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

del fiume Po e in particolare a quelle del suo canale distributore più meridionale, il Primaro (all'incirca coincidente con la parte terminale del fiume Reno attuale, che sfocia 10 km a nord dell'area di interesse), responsabile della costruzione in età tardo-olocenica di un lobo deltizio di notevoli proporzioni nell'area ravennate. La crescita di tale delta era accompagnata dalla progradazione di un sistema costiero attraverso la giustapposizione di cordoni litorali di età via via più recente. Le tracce della progradazione degli apparati deltizi del Po sono riconoscibili oggi nei sistemi di cordoni litorali parzialmente sepolti che affiorano nel settore orientale del Foglio 223. Questi sono accompagnati da sistemi di dune perlopiù spianate ad opera dell'uomo e presentano età progressivamente più giovani da ovest verso est, marcando le fasi successive di costruzione del delta. A questa evoluzione si è sommata l'impronta dell'intervento umano, che ha sensibilmente condizionato la sedimentazione soprattutto nel corso degli ultimi secoli: costruzione di canali, bonifiche, prelievi di acqua, e anche l'estrazione di gas a diversi chilometri di profondità hanno inciso su quello che è l'aspetto attuale dell'area, causando, tra gli altri, fenomeni di erosione costiera accentuata e quel fenomeno di subsidenza che interessa porzioni relativamente ampie del territorio romagnolo.

L'area di progetto comunque si colloca in un contesto nel quale non sono possibili evoluzioni geomorfologiche importanti; la topografia pianeggiante non permette l'impostarsi di processi di versante, e le intense modificazioni antropiche intervenute nell'area portuale impediscono l'evolvere dei processi costieri.

### *Subsidenza*

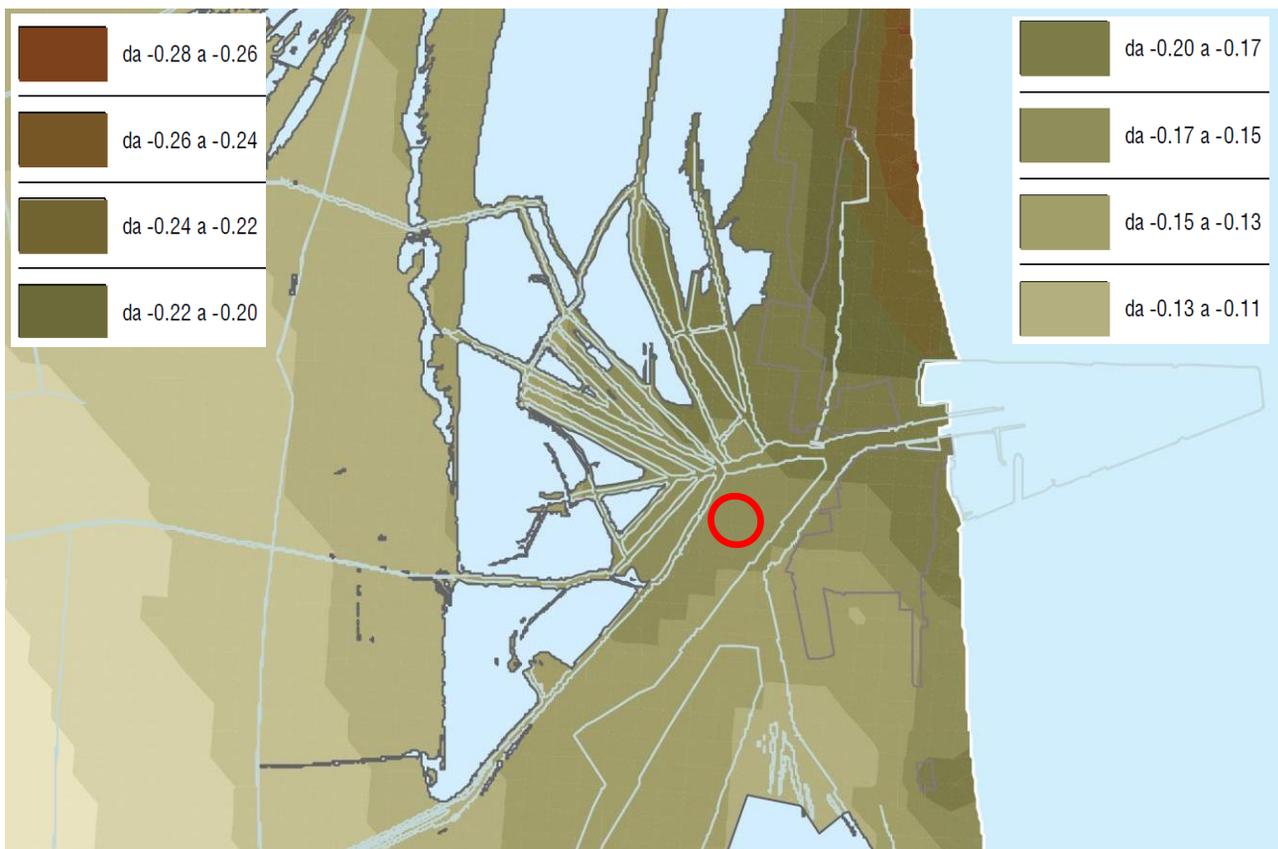
Ampie aree dell'Emilia Romagna sono interessate dal fenomeno della subsidenza; la causa primaria di tale fenomeno è riconosciuta nell'estrazione di fluidi dal sottosuolo (principalmente acqua, ma anche gas). La ricerca bibliografica condotta ha evidenziato che nell'area ravennate in passato furono raggiunti tassi di abbassamento del terreno di 40 mm/anno. Il PSC consultato contiene una carta della subsidenza, della quale si riporta uno stralcio nella figura seguente; da tale figura appare che nell'area di interesse la subsidenza è stata, nel periodo di tempo intercorso tra il 1978 e il 2002, di 15 ÷ 17 mm/anno; si hanno tuttavia informazioni sul fatto che nell'area di Porto Corsini tale velocità sia all'incirca dimezzata negli ultimi 15 anni. Infine, la carta della subsidenza redatta dalla Regione Emilia Romagna (rif. [5]) riporta per l'area in esame un tasso di subsidenza, valido per il periodo tra il 2011 e il 2016, variabile tra 2.5 e 7.5 mm/anno. Considerando una vita nominale di 50 anni per l'opera, questa vedrà nel corso della sua operatività un abbassamento del terreno di fondazione, e di tutto il terreno circostante, di massimo 0.25 metri; questo implica che il piano di calpestio si porterà dall'attuale quota di progetto (+1.80 m s.l.m.m.) alla quota assoluta di +1.55 m s.l.m.m.

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>11</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <b>di</b>

Il fenomeno della subsidenza va trattato secondo i due seguenti aspetti:

- Aspetto geotecnico: i valori di subsidenza ipotizzati non dovrebbero rappresentare motivo di preoccupazione per l'opera in progetto, tanto più che la subsidenza è un fenomeno che si verifica a grande scala, maggiore rispetto alla scala del singolo progetto, e che di conseguenza solo in casi estremi può assumere rilevanza dal punto di vista geotecnico. Si demandano comunque all'ingegnere strutturista responsabile della progettazione ulteriori valutazioni in merito alla sensibilità dell'opera nei confronti degli abbassamenti sopra indicati.

- Aspetto connesso alla vicinanza alla costa: considerando che il livello dell'acqua all'interno dell'area portuale è già regolato meccanicamente, e che l'area portuale è già stata interessata dalla realizzazione di opere di difesa, non si ritiene che l'abbassamento previsto, di entità relativamente ridotta, possa generare condizioni di rischio per l'opera in progetto durante la sua vita utile; in ogni caso, nel lungo periodo probabilmente l'area portuale dovrà subire degli interventi volti ad aumentare il margine di sicurezza nei confronti del livello del mare, man mano che il piano campagna si abbasserà e, ancora più importante, man mano che il livello assoluto del mare si innalzerà. La scala di tali interventi sarà comunque quella dell'intera area portuale e non del singolo progetto.



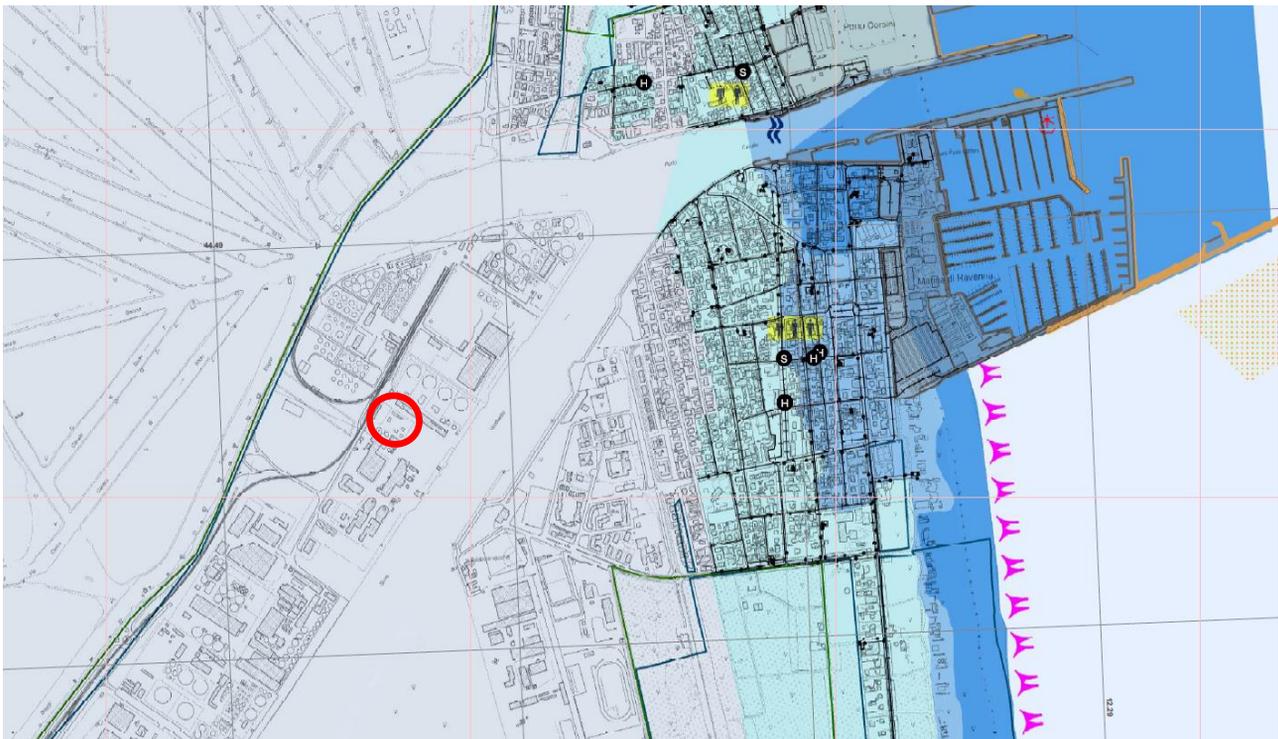
**Figura 3.2** – Velocità della subsidenza nel periodo dal 1978 al 2002 - dal PSC di Ravenna

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet      12    of    34 <i>Pagina</i> di

#### 4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

##### *Idrografia*

L'area di progetto si affaccia su un canale che raggiunge il mare Adriatico dopo un percorso di circa 1.5 km in direzione Nordest (canale Candiano); nel complesso ci si trova all'interno di un tratto di costa caratterizzato dall'abbondanza di canali artificiali: a meno di 100 metri in direzione Sudovest, un altro canale penetra nel ramo dell'area portuale che ospita il progetto per metà della sua larghezza (canale Magni). La carta delle acque superficiali del PSC di Ravenna, inoltre, informa che l'area è a drenaggio meccanico, sono presenti infatti due idrovore nei pressi dello sbocco in mare del canale Candiano. Il piano campagna dell'area di progetto si trova a quota inferiore al metro sul livello medio del mare, di conseguenza l'area è potenzialmente suscettibile al rischio dell'innalzamento di tale livello, e allo stesso tempo risente dell'abbassamento del piano campagna per effetto della subsidenza prima citata; tuttavia la carta delle criticità costiere redatta dalla Regione Emilia Romagna non evidenzia l'esistenza di rischio mareggiate nell'area di interesse, poiché tale rischio si concentra nelle zone più prossime alla linea di costa. Inoltre si prevede la costruzione di un rilevato su cui verrà collocato l'impianto di stoccaggio ammoniaca in progetto, che rialzerà il piano campagna fino a quota + 1.80 m s.l.m.m, minimizzando l'influenza delle oscillazioni del livello del mare sull'opera.



	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document Documento n. <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21
		Sheet Pagina <b>13</b> of <b>di 34</b>

### Erosione costiera

-  Trattati in erosione
-  Punti di erosione marcata
-  Erosione del fronte dunare

### Ingressione

-  Ingressione mareggiata 6 febbraio 2015
-  varchi - scenario P1
-  varchi - scenario P2
-  varchi - scenario P3
-  varchi - mareggiata 6 febbraio 2015

### Scenari di Pericolosità

-  **P3 – H** (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno 10 anni - elevata probabilità)
-  **P2 – M** (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno 100 anni - media probabilità)
-  **P1 – L** (Alluvioni rari o scenari di eventi estremi: tempo di ritorno >>100 anni)

### Variazione del fondale

-  Escavazione del fondale
-  Forte escavazione del fondale
-  Abbassamento del fondale > 5 cm/anno tra il 2006 e 2012

### Processi idro/morfo-dinamici

-  Tracimazione dei canali e dei corsi d'acqua
-  Fenomeni di overwash
-  Filtrazione
-  Canali di deflusso

### Aree Protette

-  Zone Parco
-  SIC - ZPS

**Figura 4.1** – Carta delle criticità costiere

### Idrogeologia

La vicinanza dell'area in esame alla costa fa sì che si sviluppi un acquifero libero che si dirige prevalentemente verso il mare, con basso gradiente. Tale falda freatica è alimentata dall'infiltrazione diretta, dall'irrigazione, e dal reticolo idrografico (i corsi d'acqua presenti si trovano in condizioni di alimentazione, come evidenziato dalla carta delle isofreatiche del PSC di Ravenna); questa prima falda non presenta caratteristiche di potabilità; nel corso delle indagini del 2021 è stata rinvenuta a circa 1.5 m di profondità da p.c.

L'analisi del PTCP della provincia di Ravenna (rif. [6]) evidenzia che l'area d'interesse è soggetta alle norme di protezione delle acque sotterranee in ambito costiero. Le Norme di Attuazione del PTCP indicano, tra le altre, la seguente prescrizione ritenuta di interesse:

*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.*



**CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"  
Ravenna (RA)**

**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA  
RELAZIONE GEOLOGICA**

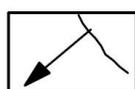
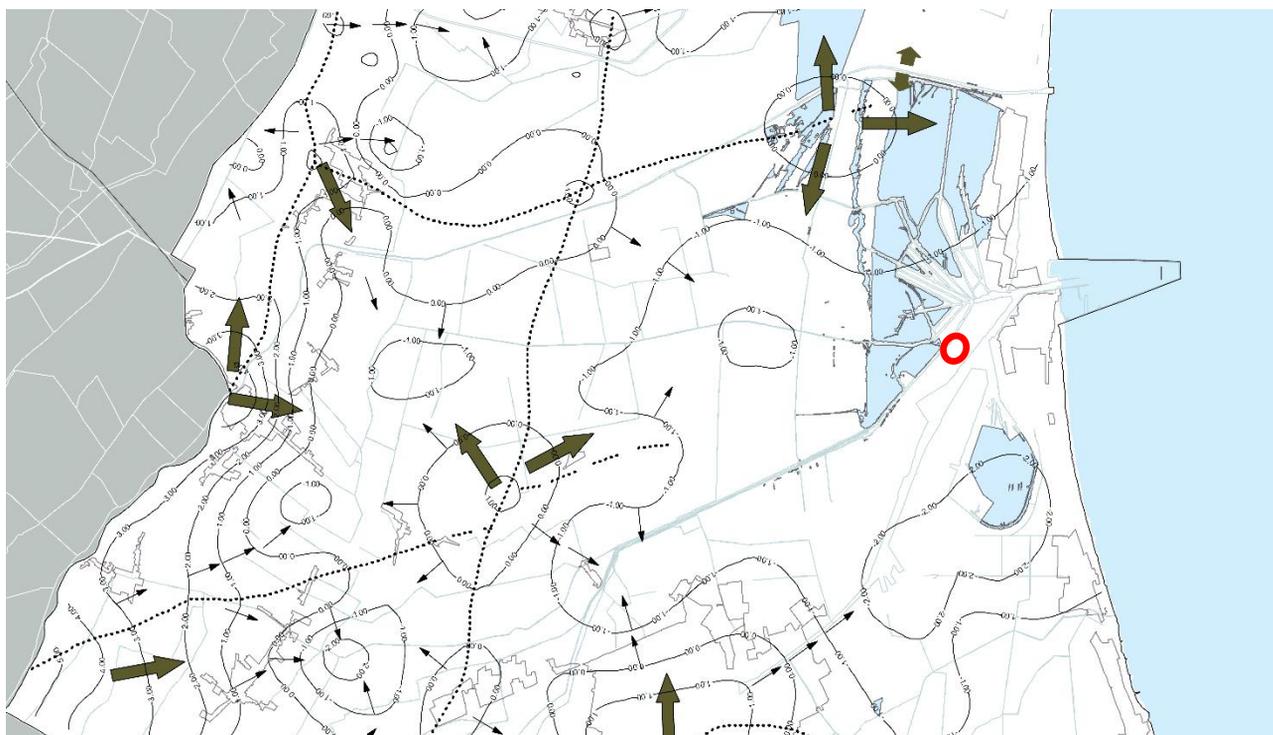
Document  
Documento n.

**PBPCX12973**

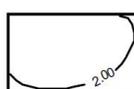
REV. 00 22.03.21

Sheet  
Pagina **14** of  
di **34**

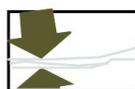
"Nelle escavazioni che espongono la falda freatica va limitato l'impiego di pompe well-point ad esclusione delle attività finalizzate a bonifiche e simili; lo scavo deve essere preferibilmente circondato da dispositivi idonei a limitare l'afflusso delle acque freatiche. L'allontanamento delle sole acque estratte dovrà avvenire preferibilmente per reimmissione diretta in falda freatica".



Direzione di deflusso



Isofreatiche



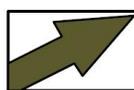
Corso d'acqua alimentante



Spartiacque sotterranei



Corso d'acqua drenante



Direzione di drenaggio

**Figura 4.2** – Carta delle isofreatiche – dal PSC di Ravenna

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>15</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico e stratigrafico rappresentativo dei terreni di fondazione è stato ricostruito per mezzo dell'analisi delle prove geotecniche condotte nel corso del 2021, prendendo in considerazione per un confronto anche i risultati di indagini pregresse eseguite in vicinanza e ritenuti di particolare interesse. L'interpretazione dei dati è stata condotta dettagliatamente nella relazione geotecnica dedicata (doc. rif. [3]); di seguito si riportano pertanto solo la descrizione delle unità identificate e la stratigrafia di progetto.

Gli strati individuati vengono di seguito descritti.

**RIPORTO:** Materiale di riporto, di natura sabbioso-ghiaiosa, debolmente limosa. Il suo spessore è di circa 70÷80 cm.

**LIVELLO L1:** Limo argilloso, da debolmente sabbioso a sabbioso.  
E' rinvenuto sotto lo strato di riporto fino alla profondità di 2.5÷3.2 m dal piano campagna attuale.

**LIVELLO L2:** Sabbia fine, limosa, localmente debolmente argillosa. Estremamente sciolta in corrispondenza del sondaggio S1.  
Lo strato ha uno spessore di circa 6 m e si riscontra mediamente fino alla profondità di 8.5÷9.0 m dal p.c.

**LIVELLO L3:** Limo da con argilla ad argilloso, debolmente sabbioso. La componente sabbiosa risulta particolarmente significativa oltre i 26 m di profondità, come riscontrato nella prova CPTu.  
Questo strato ha uno spessore di 18÷19 m ed ha base alla profondità di 27÷27.5 m dal p.c.

**LIVELLO L4:** Argilla debolmente limosa, intercalata a straterelli sabbiosi.  
La presenza di livelli sabbiosi è desunta dalle sole prove CPTU, recenti e pregresse; in particolare da queste ultime si rileva una prevalente componente sabbiosa sino a circa 32 m di profondità, non confermata però nel sondaggio S1 del 2021.  
Il livello è stato riscontrato nelle indagini del 2021 da 27÷27.5 m dal p.c. fino a fondo foro (30 m da p.c.).

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>16</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <b>16</b> di <b>34</b>

La stratigrafia di progetto ottenuta dall'interpretazione delle prove è riportata nella figura seguente.

#### *Livelli di falda*

Durante la campagna geognostica condotta nel 2021 sono stati misurati livelli di falda che si attestano a profondità di circa 1.5 m da p.c; prendendo in considerazione possibili scenari sfavorevoli, si consiglia di considerare la falda ad una profondità massima di 0.5 m da p.c, pari a circa + 0.5 m s.l.m.m.



**CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"**  
Ravenna (RA)

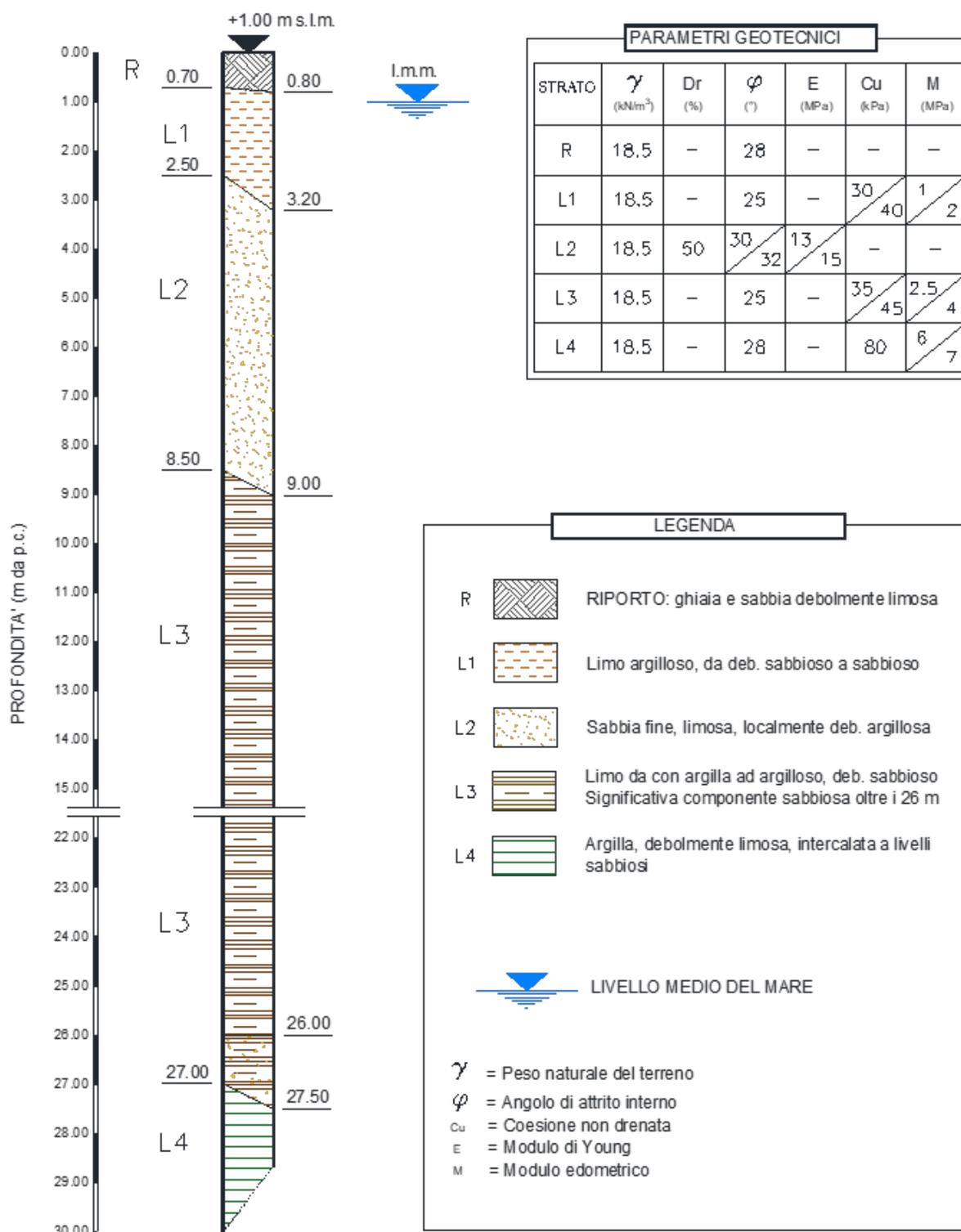
**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA**  
**RELAZIONE GEOLOGICA**

Document  
Documento n.

**PBPCX12973**

REV. 00 22.03.21

Sheet **17** of **34**  
Pagina **17** di **34**



**Figura 5.1** – Stratigrafia di progetto

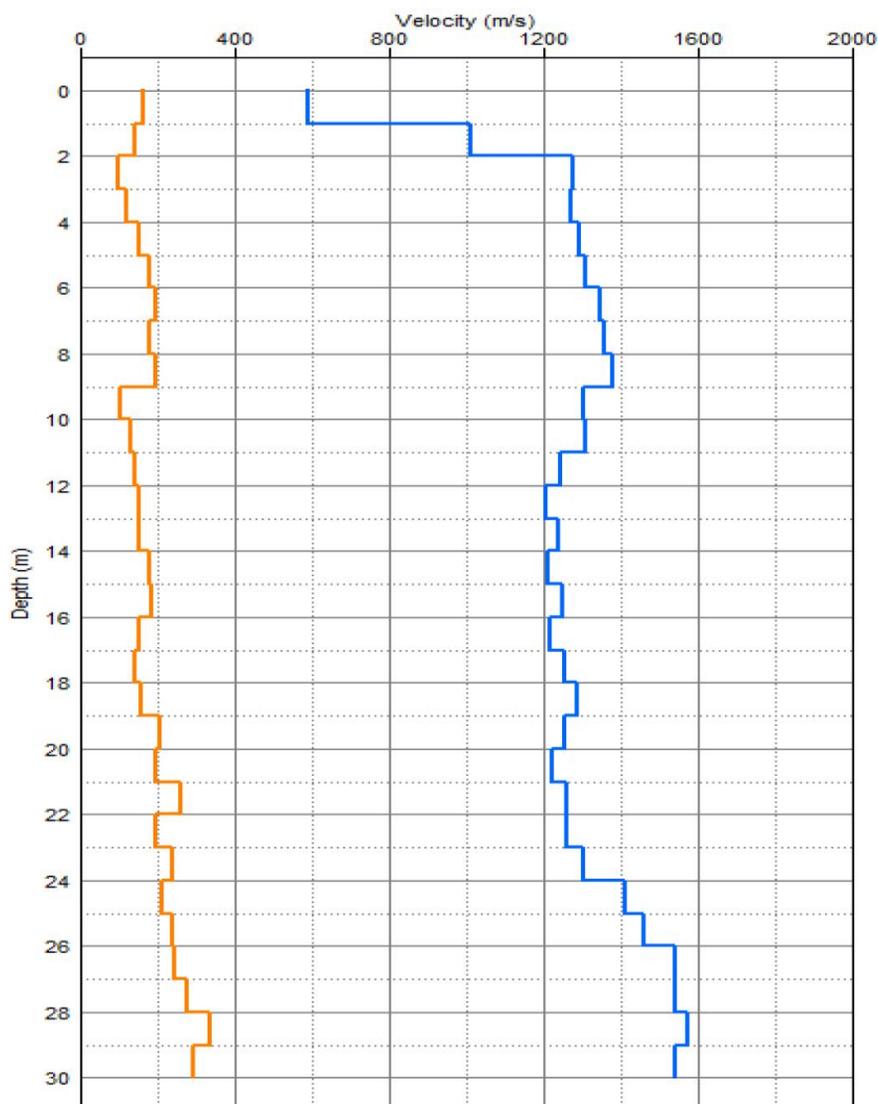
	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document Documento n. <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>18</b> of <b>34</b> Pagina <b>18</b> di <b>34</b>

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

La caratterizzazione sismica dei terreni su cui verrà realizzata l'opera in progetto è stata condotta sulla base di indagini geofisiche condotte nel corso del 2021.

### 6.1 VELOCITA' DELLE ONDE S

Parte dell'indagine geognostica del Gennaio/Febrero 2021 è consistita nell'esecuzione di una prova down-hole all'interno del foro di sondaggio S1, preventivamente preparato. La prova ha restituito il profilo di velocità delle onde S e P in funzione della profondità da piano campagna, così come riportato in figura 6.1.1.



**Figura 6.1.1** – Profili delle velocità P ed S misurate nella prova down-hole

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 <hr/> Sheet <b>19</b> of <b>34</b> <i>Pagina    di</i>

## 6.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA

Ai sensi del paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018, vengono qui determinate la categoria di sottosuolo e la condizione topografica proprie dei terreni sui quali si realizzerà l'intervento in progetto. La categoria di sottosuolo è stata definita, in accordo alle NTC 2018, partendo dal profilo di velocità delle onde tipo S mostrato nella figura precedente.

In base ai risultati della prova analizzata, la quale dichiara un valore di  $V_{s,eq}$  di 171 m/s, i terreni in esame si possono classificare in **categoria D**: *"depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s"*.

Dal punto di vista topografico, invece, l'area in esame è classificabile nella **categoria T1**: *"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ "*.

## 6.3 ACCELERAZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il Testo Unico 2018 suddivide il territorio italiano in maglie a cui sono state attribuite accelerazioni sismiche massime su suolo rigido, definite in base alle coordinate assolute del luogo; nello specifico per il sito in esame sono state considerate le seguenti coordinate, corrispondenti ad un punto ricadente entro l'impronta dell'edificio in progetto:

Latitudine: 44.485929°

Longitudine: 12.265662°

Per i terreni di interesse l'accelerazione sismica di progetto, riferita ad un valore di vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera di 50 anni (opere ordinarie) in una classe d'uso IV (opere di importanza strategica: coefficiente  $C_u=2$ ), risulta essere:  **$a_g= 0.183 g$** , ove "g" è l'accelerazione di gravità.

Tale accelerazione è quella caratteristica dello stato limite di salvaguardia della vita SLV, avente tempo di ritorno  $T_R = 949$  anni, calcolato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR}) = 949 \text{ anni}$$

in cui:

$P_{VR}$  = probabilità di superamento nel periodo di riferimento = 10%;

$V_R$  = periodo di riferimento =  $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$ .

Il valore del fattore di amplificazione spettrale massima sul sito di riferimento rigido orizzontale ( $F_0$ ) corrispondente è pari a **2.545**.

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document Documento n. <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet    20    of    34 Pagina    di

I valori di  $a_g$  e  $F_0$  sono stati calcolati per mezzo dell'applicativo "Spettri WIN" di Ingegneriasoft.

Partendo da questi dati, è pertanto possibile ricavare i valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali per l'analisi geotecnica delle opere:

$$K_h = \beta_s \frac{a_{\max}}{g} \qquad K_v = 0.5 \cdot K_h$$

in cui:

- $g$  = accelerazione di gravità;
- $a_{\max} = S_s S_T a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (con  $a_g$  espressa in  $m/s^2$ ), pari a  $3.0544 m/s^2$  (equivalente a **0.3114 g**);
- $S_s = 0.9 \leq 2.4 - 1.5 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.8 = 1.701$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, tabellato in normativa in funzione della categoria di suolo (D, come definito nel paragrafo 6.2);
- $S_T = 1.0$  è il coefficiente di amplificazione topografica per categoria tipo T1 (si veda il paragrafo 6.2);
- $\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito dipendente dalla categoria del sottosuolo e dal tipo di opera da verificare. In particolare, per  $0.1 < a_g < 0.2$ , per suoli di categoria D e per analisi di stabilità globale di pendii naturali il valore di  $\beta_s$  tabulato è 0.24, mentre per stabilità di fronti di scavo o rilevati (ma anche muri di sostegno) è 0.38.

Sostituendo opportunamente i valori dei vari coefficienti di amplificazione nelle formule sopra indicate, si ottengono i seguenti coefficienti sismici:

- *Per fronti di scavo-rilevati e per muri di sostegno (verifiche scivolamento-schiacciamento)*

$$K_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.1183 \qquad K_v = 0.5 \cdot K_h = 0.0592$$

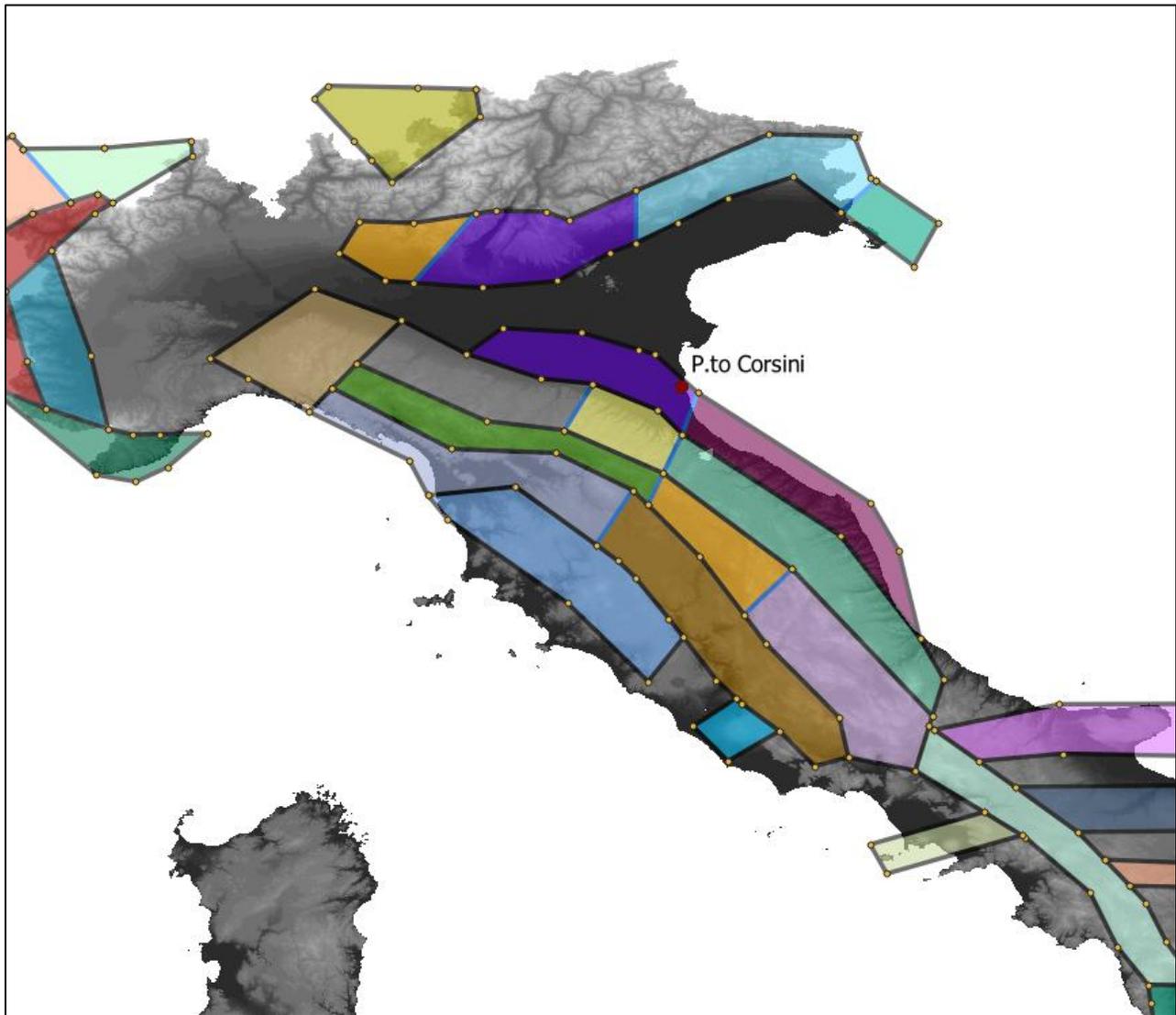
## 6.4 SCELTA DELLA MAGNITUDO

La scelta della Magnitudo da utilizzare nelle analisi di liquefazione è stata fatta in accordo agli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" redatti dal Dipartimento della Protezione Civile (doc. rif. [10]). Si è pertanto individuata la posizione del sito d'interesse nei confronti della zonazione sismogenetica individuata da INGV e descritta nel documento di rif. [9] e si è verificato che l'area ricade nella zona identificata con il codice 912 "Dorsale Ferrarese". INGV ha attribuito per tale zona

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>21</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

un valore di  $M_{max2}$  pari a 6.14; questo è pertanto il valore da utilizzare nelle verifiche di liquefazione.

Di seguito si riporta il posizionamento del sito di Porto Corsini nei confronti della zonazione sismogenetica.



**Figura 6.4.1** – Zonazione sismogenetica da INGV (rif.[9]), con indicazione del sito in esame

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet    22    of    34 <i>Pagina    di</i>

## 6.5 SUSCETTIBILITA' AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Nel presente capitolo si valuterà se i terreni di fondazione possono essere suscettibili o meno a fenomeni di liquefazione.

A tal fine, per il terreno in esame sono stati determinati e confrontati tra loro i parametri di resistenza alla liquefazione CRR (Cyclic Resistance Ratio) e di carico sismico CSR (Cycling Stress Ratio). Il parametro di resistenza alla liquefazione CRR è desunto dai risultati delle prove in sito, e, avendo a disposizione nel caso in esame delle prove SPT e CPTu, può essere espresso in funzione rispettivamente di  $N_{SPT}$  e di  $Q_C$ , mentre il parametro di carico sismico CSR è stimato sulla base di correlazioni empiriche a partire dal valore dell'accelerazione sismica di picco e della profondità della prova analizzata.

Il fattore di sicurezza FS nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è dato dal rapporto fra CRR e CSR.

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Un fattore di sicurezza maggiore di 1 caratterizza in linea di massima depositi potenzialmente non soggetti a liquefazione, viceversa per risultati minori.

La normativa italiana non esplicita un valore di FS di riferimento da considerare come il limite minimo oltre il quale la non liquefacibilità del terreno è garantita con un adeguato margine. L'Eurocodice EC8-5 (EN 1998-5, 2005), invece, stabilisce tale soglia in 1.25; pertanto questo valore è stato considerato come spartiacque tra la liquefacibilità e la non liquefacibilità.

Per stimare il sopra menzionato fattore di sicurezza FS occorre valutare separatamente le due variabili CSR e CRR, come di seguito esposto.

### Valutazione della domanda di resistenza alla liquefazione, CSR

Il parametro di carico sismico, ovvero l'indice utilizzato nelle correlazioni per determinare la resistenza alla liquefazione di un terreno, può essere stimato con la seguente equazione proposta da *Seed e Idriss (1971)*:

$$CSR = \tau_{av} / \sigma'_v = 0.65 \cdot a_{g,\max} \cdot \left( \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d$$

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 <hr/> Sheet    23    of    34 Pagina    di

dove:

- $a_{g,max}$  = picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto, calcolata nel precedente paragrafo e pari a **0.3114 g**;
- $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  = rispettivamente le tensioni verticali litostatiche totale ed efficace agenti alla profondità considerata;
- $r_d$  = coefficiente di riduzione delle tensioni.

Il coefficiente  $r_d$ , introdotto per tenere conto in modo approssimato dei fenomeni di amplificazione sismica indotti dalla deformabilità del terreno, decresce con la profondità e può essere calcolato in base alla seguente relazione di Blake (1996), riproposta e approvata anche da Robertson, Youd et al. nel 2001:

$$r_d = \frac{1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2}$$

in cui  $z$  è la profondità in metri dal piano campagna.

#### Valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione da prove in sito, CRR

La resistenza alla liquefazione di un terreno sabbioso CRR è espressa in funzione delle caratteristiche del terreno stesso, ricavabili, tra le altre, anche dalle prove SPT e CPTU.

Le curve empiriche disponibili in letteratura sono valide per terreni sabbiosi (sabbia pulita) e siti con magnitudo di riferimento 7.5, e sono quindi utilizzabili per il calcolo diretto del  $CRR_{7.5}$ .

Per poter stimare CRR in qualunque condizione di granulometria e magnitudo, occorre pertanto inserire una doppia correzione, sia per tenere in conto della possibile diversa granulometria dei depositi e del contenuto di fine, sia per rapportare il tutto all'effettiva magnitudo del sisma registrata in loco.

Nello specifico, in merito a quest'ultimo punto, al fine di considerare magnitudo diverse da quella del riferimento teorico (7.5) è utilizzato il coefficiente correttivo MSF:

$$CRR = CRR_{7.5} \cdot MSF$$

Tale coefficiente è pari a 1 nel caso di magnitudo 7.5, mentre per valori di M maggiori o minori può essere determinato secondo la seguente equazione:

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>24</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

*(formulata da Idriss 1985,  
successivamente adottata da Robertson, Youd et al. 2001)*

La magnitudo di riferimento, calcolata nel precedente sottocapitolo, è pari a **6.14** ed a questa corrisponde un valore di MSF pari a **1.668**.

Valutazione della resistenza disponibile  $CRR_{7.5}$  – da prove SPT (Metodo di Youd et al. 2001)

Nel caso delle prove penetrometriche dinamiche, la resistenza alla liquefazione non è espressa direttamente in funzione dell'indice di prova  $N_{SPT}$  ma di un valore opportunamente corretto,  $(N_1)_{60cs}$ , che tiene conto della pressione di confinamento e del contenuto di fine.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot N_1(60) \quad (\text{rif. bib.: Skempton, A. K. 1986})$$

$$N_1(60) = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (\text{Robertson \& Wride 1998, Youd et al. 2001})$$

dove:

$\alpha, \beta$  = fattori correttivi in funzione del contenuto di fine (FC):

- $\alpha = 0$  for  $FC \leq 5\%$ ;
- $\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)]$  for  $5\% < FC < 35\%$ ;
- $\alpha = 5.0$  for  $FC \geq 35\%$ .
- $\beta = 1.0$  for  $FC \leq 5\%$ ;
- $\beta = [0.99 + (FC^{1.5}/1000)]$  for  $5\% < FC < 35\%$ ;
- $\beta = 1.2$  for  $FC \geq 35\%$ .

$C_N$  = fattore correttivo funzione della pressione di confinamento =  $\sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_v}} \leq 1.7$

in cui  $P_a$  = pressione atmosferica = 100 kPa

$\sigma'_v$  = tensione verticale litostatica efficace;

$C_E$  = fattore correttivo del rapporto energetico del maglio (assunto pari a 1.00);

$C_B$  = fattore correttivo del diametro del foro di sondaggio (assunto pari a 1.05);

$C_R$  = fattore correttivo della lunghezza dell'asta (che, partendo da 0.75, raggiunge il valore finale di 1.00 a 10.0 m di profondità);

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>25</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

$C_s$  = fattore correttivo del metodo di campionamento (assunto pari a 1).

La valutazione della resistenza alla liquefazione  $CRR_{7.5}$ , viene qui calcolata mediante la relazione che segue, citata da Youd et al. 2001; tale relazione è valida per  $N_{160} < 30$ , mentre per valori superiori i terreni sono ritenuti troppo densi per liquefare e vengono classificati come "non liquefacibili".

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

Valutazione della resistenza disponibile  $CRR_{7.5}$  - da prove CPTU - metodo di Robertson 2009

Per tenere conto delle diverse tipologie di terreno, Robertson propone una procedura piuttosto complessa, che adotta fattori di normalizzazione differenti in funzione dei valori assunti dall'indice di comportamento del terreno  $I_c$ , calcolato a partire dai dati di resistenza alla punta e di attrito laterale risultanti dall'esecuzione di prove CPT/CPTU.

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q_{tN})^2 + (1.22 + \log F_r)^2}$$

Lo schema generale per la valutazione del CRR, basato su una procedura iterativa, è illustrato nella figura 6.5.1.

In particolare si fa notare che la metodologia di Robertson definisce, sulla base del valore di  $I_c$ , due principali tipi di comportamento del terreno: *granulare* se  $I_c$  è minore di 2.5 e *coesivo* se  $I_c$  è superiore a 2.7. Per valori intermedi anche il comportamento del terreno viene definito di "transizione" tra i granulari ed i coesivi.



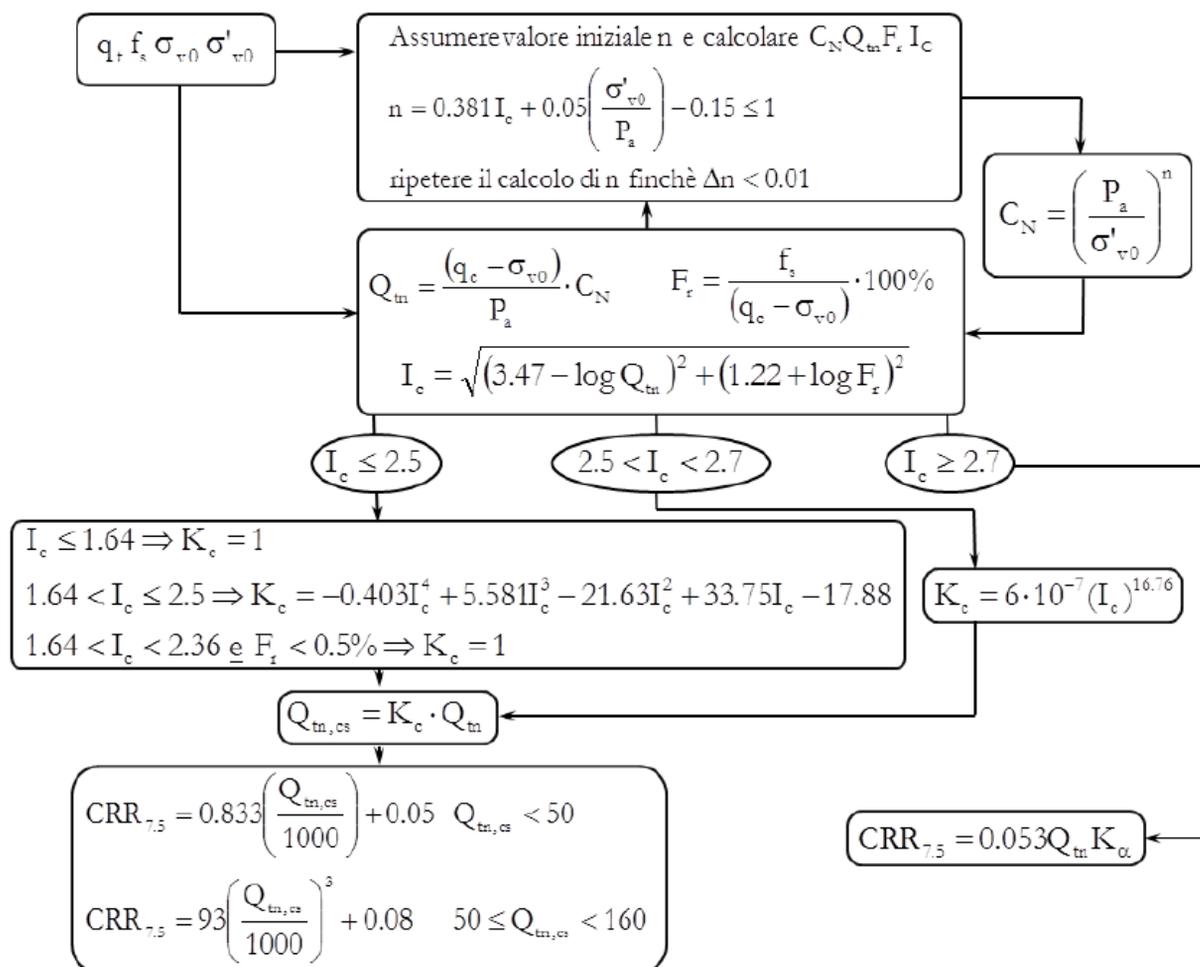
**CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"**  
Ravenna (RA)

**EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA**  
**RELAZIONE GEOLOGICA**

Document  
Documento n.  
**PBPCX12973**

REV. 00 22.03.21

Sheet  
Pagina **26** of  
di **34**



**Figura 6.5.1-** Schema di calcolo di CRR, mediante prove CPT/CPTU, secondo Robertson 2009

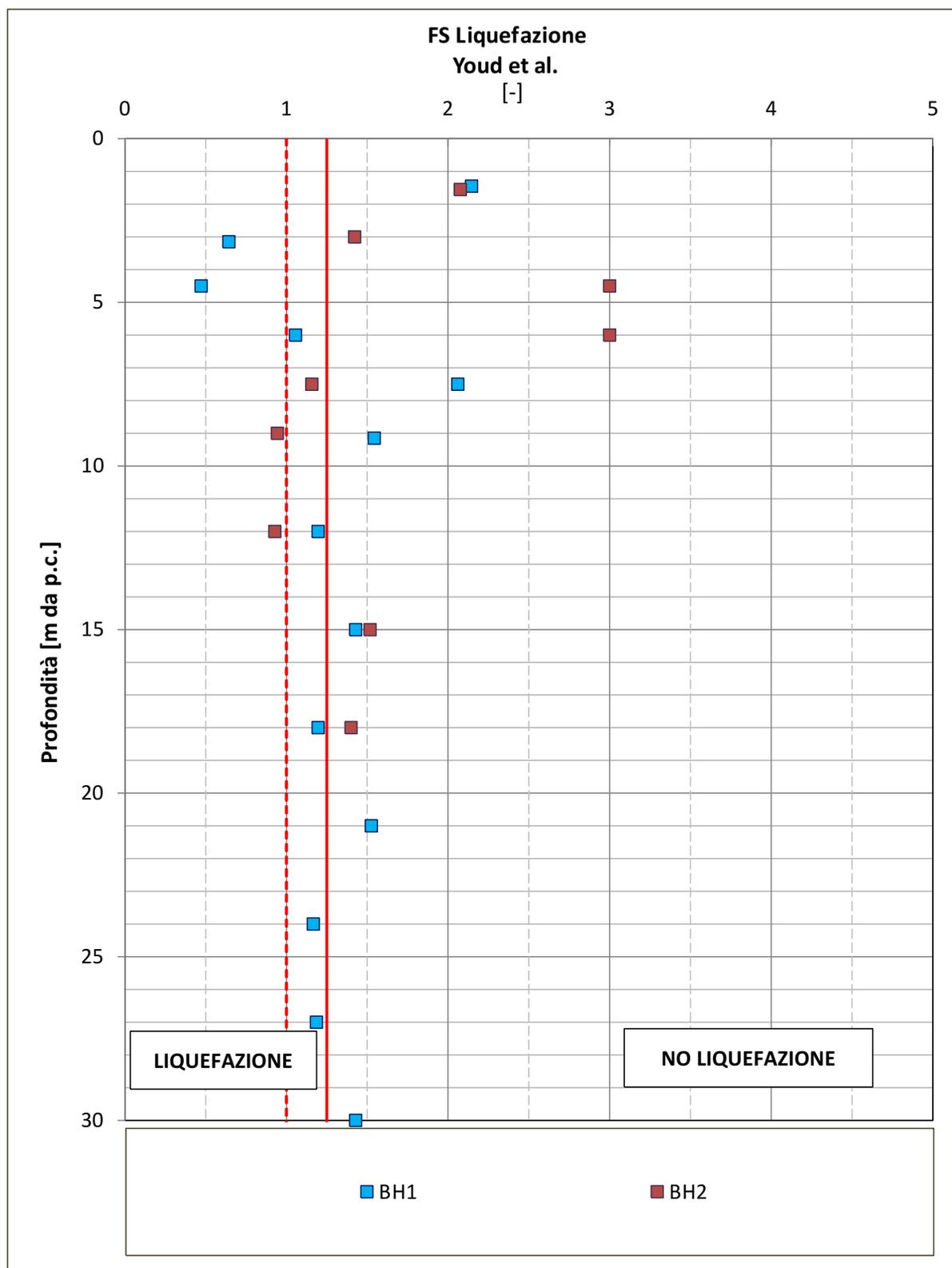
	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet    27    of    34 <i>Pagina    di</i>

Valutazione di FS

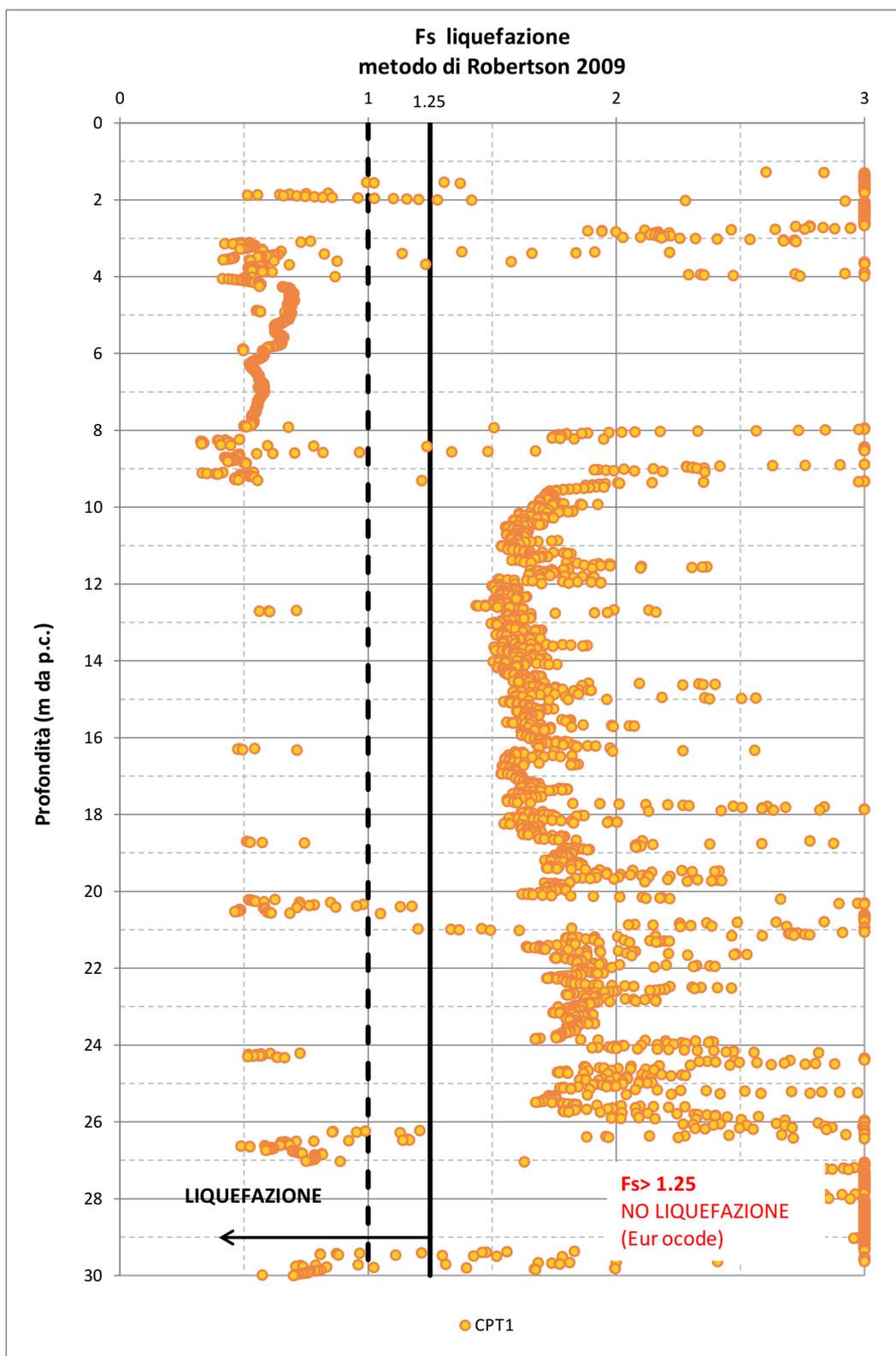
Dopo aver valutato separatamente i termini CSR, MSF e  $CRR_{7.5}$ , si è quindi proceduto al calcolo del coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione.

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} MSF$$

L'andamento di Fs con la profondità è illustrato nelle figure a seguire, dalle quali risulta evidente, soprattutto dalla figura 6.5.3, che il terreno compreso entro le profondità di circa 3.0 e 9.0 metri da p.c. è suscettibile di liquefazione al verificarsi del sisma di riferimento; tale profondità corrisponde al livello sabbioso e poco addensato L2 descritto al capitolo 5. Spostandosi più in profondità, il rischio di liquefazione si riduce sensibilmente; in particolare il grafico derivante dall'interpretazione della prova CPTu mostra che al di sotto (strato L3) il terreno non è suscettibile di liquefazione, a meno di alcune sottili lenti sabbiose che comunque, dati il modesto spessore e le condizioni di confinamento da parte del terreno non liquefacibile sopra e sottostante, non presenta possibilità di liquefazione. Il grafico derivante dall'interpretazione delle prove SPT, invece, mostra anche a profondità maggiori dei 9 metri dei punti con valore di FS inferiore a 1.25 (ma comunque superiori a 1, con la sola eccezione di un punto nel sondaggio S2). Questa discrepanza nei risultati può essere attribuita al fatto che le formule utilizzate per l'interpretazione delle prove SPT non tengono conto del contenuto di fine del materiale oltre il 35%. Pertanto, considerando che nel caso in esame i terreni sotto i 9 m di profondità hanno comportamento chiaramente coesivo, si ritiene ragionevole considerare il rischio di liquefazione esistente solo fino alla già citata profondità di 9.0 m.



**Figura 6.5.2- Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione**  
(per terreni indagati con SPT, in funzione della profondità da p.c.)



**Figura 6.5.3-** Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione

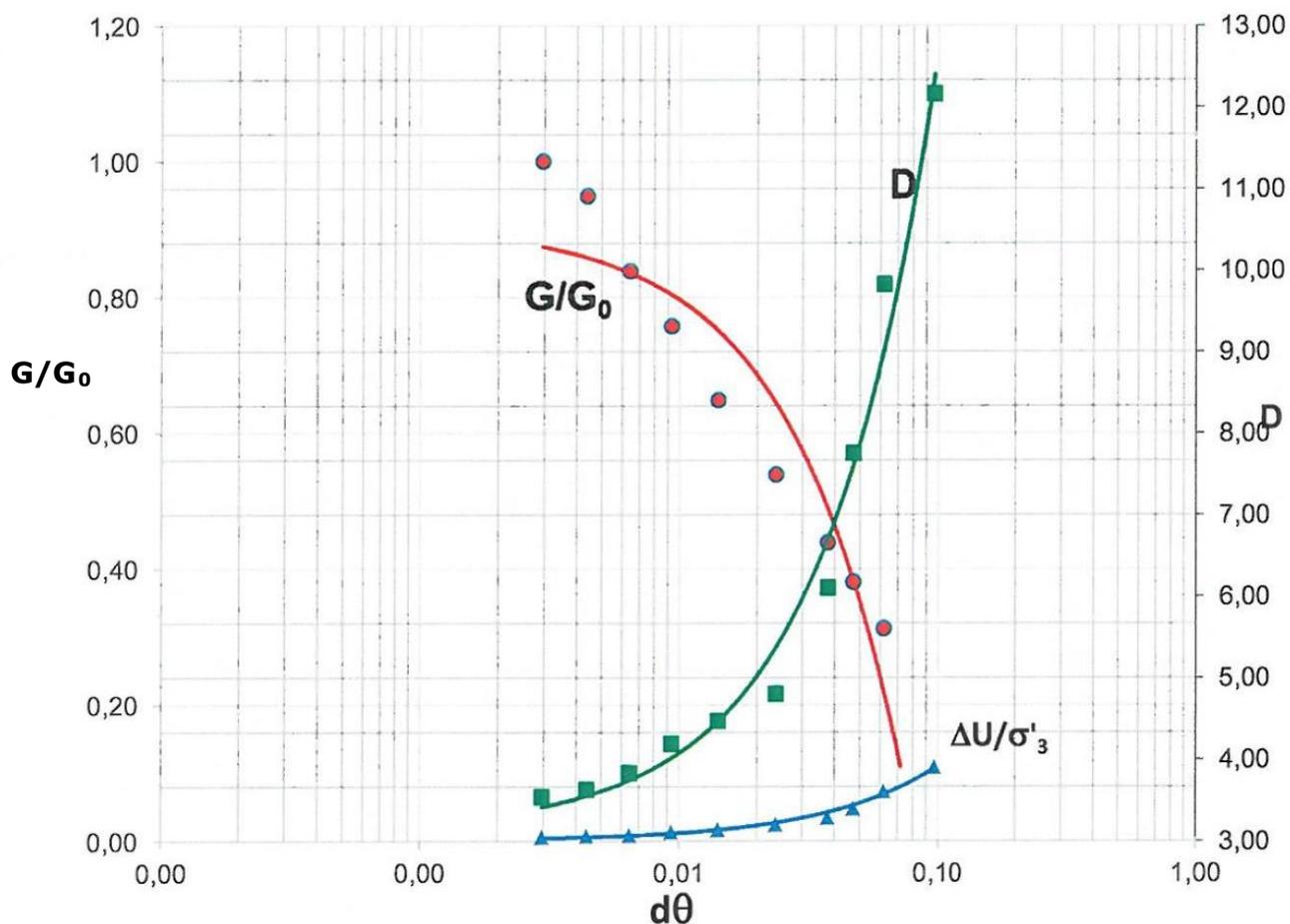
(per terreni indagati con CPTu, in funzione della profondità da p.c.)

*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.*

**6.6 PARAMETRI DI SMORZAMENTO DEL TERRENO**

Uno dei campioni prelevati durante l'indagine del 2021 (S2-CI2, a 7.3 metri di profondità) è stato sottoposto alla prova di colonna risonante, la quale ha restituito le curve di smorzamento e di decadimento del modulo di taglio riportate nella seguente figura.



**Figura 6.6.1** – Curve di smorzamento e di decadimento di G - da prova di colonna risonante

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>31</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

## 7. FATTIBILITA' GEOLOGICA

Di seguito si riportano le valutazioni condotte per quanto riguarda la fattibilità delle opere in progetto.

Nel corso della relazione sono stati evidenziati i seguenti aspetti che caratterizzano l'area d'interesse:

- L'assenza di forme di interferenza negative per il progetto dal punto di vista geomorfologico;
- L'estraneità alle aree dotate di rischio di mareggiata;
- La subsidenza in atto, di entità non significativa ed in fase di riduzione;
- La suscettibilità a liquefazione/deterioramento ciclico del terreno.

Si evidenzia inoltre l'assenza di forme di vincolo paesaggistico nell'area in esame, in seguito all'analisi degli elaborati del PSC consultato (rif. [7]).

Tali aspetti permettono di valutare positivamente la possibilità di realizzare l'opera in oggetto, purché si mettano in atto strategie che portino le fondazioni in condizioni di sicurezza nei confronti della liquefazione/deterioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti, in caso di sollecitazione sismica; a tal proposito, si suggerisce di prendere in considerazione l'opzione di migliorare il terreno di fondazione almeno fino alla profondità di 9.0 metri dal p.c. attuale, corrispondente al passaggio tra lo strato L2 e il sottostante strato più coesivo L3.

Si raccomanda inoltre l'adozione di adeguate opere di impermeabilizzazione delle eventuali strutture interrato che raggiungano il livello della falda, data la sua superficialità e la diretta connessione al mare; per lo stesso motivo si evidenzia l'importanza di prendere ogni precauzione allo scopo di evitare qualsiasi perdita di sostanze inquinanti sul terreno.

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>32</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

## 8. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica viene redatta nell'ambito del progetto di realizzazione di un edificio per lo stoccaggio dell'ammoniaca presso l'area della centrale elettrica "Teodora" in località Porto Corsini, nel comune di Ravenna (RA).

Dal punto di vista geolitologico l'area ricade in un'area prossima alla costa adriatica, in cui nei tempi storici si sono alternati ambienti alluvionali, deltizi e costieri. Il risultato di queste alternanze è una stratigrafia piuttosto variabile in senso orizzontale e verticale, caratterizzata mediamente dai seguenti strati:

**RIPORTO:** Materiale di riporto, di natura sabbioso-ghiaiosa, debolmente limosa. Il suo spessore è di circa 70÷80 cm.

**LIVELLO L1:** Limo argilloso, da debolmente sabbioso a sabbioso.  
E' rinvenuto sotto lo strato di riporto fino alla profondità di 2.5÷3.2 m dal piano campagna attuale.

**LIVELLO L2:** Sabbia fine, limosa, localmente debolmente argillosa. Estremamente sciolta in corrispondenza del sondaggio S1.

Lo strato ha uno spessore di circa 6 m e si riscontra mediamente fino alla profondità di 8.5÷9.0 m dal p.c.

**LIVELLO L3:** Limo da con argilla ad argilloso, debolmente sabbioso. La componente sabbiosa risulta particolarmente significativa oltre i 26 m di profondità, come riscontrato nella prova CPTu.

Questo strato ha uno spessore di 18÷19 m ed ha base alla profondità di 27÷27.5 m dal p.c.

**LIVELLO L4:** Argilla debolmente limosa, intercalata a straterelli sabbiosi.

La presenza di livelli sabbiosi è desunta dalle sole prove CPTU, recenti e pregresse; in particolare da queste ultime si rileva una prevalente componente sabbiosa sino a circa 32 m di profondità, non confermata però nel sondaggio S1 del 2021.

Il livello è stato riscontrato nelle indagini del 2021 da 27÷27.5 m dal p.c. fino a fondo foro (30 m da p.c.).

Le proprietà geotecniche del terreno sono state indagate tramite l'analisi di indagini geognostiche condotte nell'area di progetto e nelle vicinanze, sia storicamente, sia nel corso del 2021.

*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.*

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet <b>33</b> of <b>34</b> <i>Pagina</i> <i>di</i>

Il capitolo 5 riporta i risultati della caratterizzazione, con la definizione dei parametri e della stratigrafia di progetto; l'interpretazione dei dati delle campagne geognostiche è oggetto del documento di rif. [3].

La caratterizzazione sismica del territorio ha permesso di calcolare i parametri di base in ottemperanza alla normativa nazionale NTC 2018.

Le indagini condotte nelle immediate vicinanze dell'area di progetto portano a classificare il terreno nella categoria di sottosuolo D: (*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s*).

Tale classificazione, in congiunzione con l'analisi dei data-base nazionali e con il confronto con la zonazione sismica suggerita da INGV (rif. [9]) hanno permesso di calcolare i parametri relativi al sisma di riferimento, riportati nei capitoli 6.3 e 6.4.

Si è inoltre proceduto ad una verifica del potenziale di liquefazione del terreno in caso di sisma, dalla quale è risultato che esiste una forte suscettibilità alla liquefazione almeno fino alla profondità di 9.0 metri dal p.c. attuale; al di sotto di tale profondità non si individua invece il rischio di liquefazione; questi aspetti sono trattati nel dettaglio nel capitolo 6.5.

Per quanto riguarda la fattibilità geologica, l'analisi condotta sugli strumenti redatti dagli Enti a scala da comunale a regionale non ha evidenziato aspetti di rischio o di vincolo con cui l'opera in progetto possa interferire; pertanto, si esprime parere favorevole alla realizzazione dell'opera, purché si mettano in atto strategie che portino le fondazioni in condizioni di sicurezza nei confronti della liquefazione dei terreni in caso di sollecitazione sismica; a tal proposito, si suggerisce di prendere in considerazione l'opzione di migliorare il terreno di fondazione almeno fino a comprendere tutto lo strato L2, penetrando leggermente nello strato sottostante; indicativamente, il miglioramento dovrebbe quindi raggiungere i 10 metri di profondità da p.c.

Si raccomanda inoltre l'adozione di adeguate opere di impermeabilizzazione delle eventuali strutture interrato che raggiungano il livello della falda, data la sua superficialità e la diretta connessione al mare; per lo stesso motivo si evidenzia l'importanza di prendere ogni precauzione allo scopo di evitare qualsiasi perdita di sostanze inquinanti sul terreno.

**CONSULET SERVIZI S.r.l.**

	<b>CENTRALE ELETTRICA "TEODORA"</b> <b>Ravenna (RA)</b>	Document <i>Documento n.</i> <b>PBPCX12973</b>
	<b>EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	REV. 00    22.03.21 Sheet    34    of    34 <i>Pagina    di</i>

## 9. BIBLIOGRAFIA

**Idriss, I.M. (1985):** "Evaluating seismic risk in engineering practice" - Proceedings, 11th Int. Conf. on Solid Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco

**Robertson P.K. (2009):** "Performance based earthquake design using the CPT" - Taylor & Francis Group, London

**Robertson P.K., Wride C.E. (1998):** "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test" - Can. Geotech. J. 35, n°3, pag. 442-459

**Seed H. B., Idriss I. M. (1971):** "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", J. Soil Mechanics and Foundations Div., ASCE 97(SM9), 1249-273

**Skempton, A. K. (1986):** "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging, and overconsolidation" - Geotechnique, London, 36(3), 425-447

**Youd T. L., et al. (2001):** Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. - J. Geotech. Geoenviron. Eng. 2001.127:817-833