

 <p>GLOBAL enel POWER GENERATION E&C</p>		<p align="center">RELAZIONE GEOLOGICA</p>																	
		Document / Documento PBITC00061			Sheet 1 of 42 Pagina 1 di 42														
PROJECT <i>Progetto</i>		LA CASELLA CCGT				Security Index <i>Indice Sicurezza</i>													
						Riservato Aziendale													
TITLE <i>Titolo</i>		RELAZIONE GEOLOGICA																	
CLIENT <i>Cliente</i>		ENEL PRODUZIONE S.p.A																	
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>		DOCUMENT TYPE <i>Tipo Documento</i>		DISCIPLINE <i>Disciplina</i>		FILE <i>File</i>													
		TH		C		PBITC00061													
REV 00		DESCRIPTION OF REVISIONS / <i>Descrizione delle revisioni</i> PRIMA EMISSIONE																	
		 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>226</td> <td>12/07/21</td> <td>R.226-33.00</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	226	12/07/21	R.226-33.00	G.Sedani	C. Riva	A. Garassino	via Elia Lombardini, 10 - 20143Milano phone: +39 02-38.24.82.30 - e-mail: geo.consulet@consulet.it			
COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED														
226	12/07/21	R.226-33.00	G.Sedani	C. Riva	A. Garassino														
00		12/07/21		SP															
		CONSULET																	
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.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 2 of <i>Pagina</i> di 42

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	DOCUMENTI.....	5
2.2	NORMATIVE	6
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	8
4.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO.....	13
5.	STRATIGRAFIA DI PROGETTO	20
5.1	STRATIGRAFIA DEL TERRENO.....	20
5.2	LIVELLI DI FALDA	23
6.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	24
6.1	VELOCITA' DELLE ONDE S.....	24
6.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA	27
6.3	ACCELERAZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	27
6.4	SCELTA DELLA MAGNITUDO.....	28
6.5	SUSCETTIBILITA' AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	30
7.	FATTIBILITA' GEOLOGICA	37
8.	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE.....	39
9.	BIBLIOGRAFIA.....	42

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 3 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

1. INTRODUZIONE

La presente relazione geologica preliminare ha lo scopo di caratterizzare i terreni entro cui ricadono alcune opere da realizzarsi entro l'area dell'impianto a ciclo combinato E. Amaldi in località La Casella, sito nel comune di Castel San Giovanni (PC). La centrale si trova ad una distanza tra i 270 e i 600 metri circa dall'alveo di magra del fiume Po, in sponda orografica destra; circa 4 km a sud ovest si ha l'abitato di Castel San Giovanni, mentre il confinante Comune di Sarmato è a circa 3 km in direzione sud. L'impianto si colloca a circa 20 km dal capoluogo, Piacenza, e all'interno dell'area di proprietà Enel è in progetto un nuovo impianto a ciclo combinato, la cui planimetria di progetto è visibile nell'elaborato grafico di Rif.[2].

Tale relazione viene redatta anche in ottemperanza alle direttive regionali in ambito della caratterizzazione sismica: si fa riferimento alla Deliberazione di Giunta Regionale, DGR 1373 del 26 settembre 2011 (Regione Emilia Romagna) e alla DGR n. 630 del 29 aprile 2019.

Dal punto di vista dell'inquadramento geografico l'area d'interesse è compresa nella C.T.R. 1:10.000 sezione numero 161100. La figura 1.1 mostra la posizione del sito, cerchiato 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, facendo riferimento anche ai risultati ottenuti dalle indagini geognostiche pregresse e recenti eseguite nelle vicinanze delle opere in progetto (si vedano in proposito la relazione geotecnica di riferimento [1] e la planimetria con le indagini considerate, documento di riferimento [2]).

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 delle prove geotecniche condotte per le opere costruite nel passato nell'area della centrale e per le nuove opere in progetto, consistenti in carotaggi, prove penetrometriche statiche e dinamiche, prove geofisiche, e prove di laboratorio.

Scopo della relazione geologica è anche la definizione del modello geologico, comprensivo della stratigrafia e dell'attribuzione dei valori dei parametri geotecnici per ogni strato individuato in seguito all'analisi delle prove geotecniche disponibili.



LA CASELLA CCGT

Document
Documento n.

PBITC00061

RELAZIONE GEOLOGICA

REV. 00 12.07.21

Sheet
Pagina **4** of di **42**

Infine la relazione contiene la classificazione sismica del sito in ottemperanza alla normativa nazionale e regionale, condotta sulla base dei risultati delle recenti indagini geofisiche condotte.

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.



Figura 1.1 – Inquadramento geografico su CTR scala 1:10000

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 5 of <i>Pagina</i> di 42

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] CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBITC00062 Centrale di La Casella – Relazione di caratterizzazione geotecnica
- Rif.[2] CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBITC00063 Centrale di La Casella – Planimetria delle indagini e traccia delle sezioni
- Rif.[3] CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBITC00064 Centrale di La Casella - Sezioni stratigrafiche A-A' e B-B'
- Rif.[4] CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBITC00065 Centrale di La Casella - Sezioni stratigrafiche C-C', D-D' e E-E'
- Rif.[5] CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBITC00066 Centrale di La Casella - Sezioni stratigrafiche F-F' e G-G'
- Rif.[6] CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBITC00067 Centrale di La Casella - Sezioni geolitologiche
- Rif.[7] CSG PALLADIO - La Casella CCGT - Relazione descrittiva delle indagini geotecniche in sito
Doc. rif. PBITC23066
- Rif.[8] CSG PALLADIO - Impianto di "La Casella" - Rapporto indagini geotecniche - Prove di laboratorio – Doc. rif. PBITC23067
- Rif.[9] ISMES – 1982 – Pratica n°1782 - Centrale di La Casella – Indagini Cross-hole
- Rif.[10] ISMES – 1990-91 – LC7 0314 TCIC C00300 - Centrale Termoelettrica di La Casella – Adeguamento ambientale. Esecuzione di indagini geotecniche
- Rif.[11] Mappe interattive di pericolosità sismica – INGV
<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>
- Rif.[12] Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – ISPRA, Foglio n°60 Piacenza;
http://193.206.192.231/carta_geologica_italia/tavoletta.php?foglio=60

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 6 of <i>Pagina</i> di 42

- Rif.[13] Piano strutturale comunale di Castel San Giovanni
<https://www.provincia.pc.it/xweb/dati/CASTEL%20SAN%20GIOVANNI/>
- Rif.[14] Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Provincia di Piacenza
<https://www.provincia.pc.it/PTCP/>
- Rif.[15] INGV - Redazione della mappa di pericolosità sismica - Rapporto conclusivo – 2004
- Rif.[16] Comune di Castel San Giovanni – Studio di microzonazione sismica
<https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/>
- Rif.[17] 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

2.2 NORMATIVE

- Norme di attuazione del PAI
- 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”

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 7 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

- DGR n. 630 del 29 aprile 2019: "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)
- 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

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 8 of 42 <i>Pagina di</i>

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Geologia

L'area in esame si colloca in un contesto di pianura, in particolare in quella fascia di pianura più vicina all'asta del fiume Po, che viene denominata anche "bassa padana". Dal punto di vista geologico, la Pianura Padana non è altro che il risultato del riempimento del Bacino Sedimentario Padano, una vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini e colmata da un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali, di età pliocenica e quaternaria. Si tratta perciò di sedimenti che hanno al massimo pochi milioni di anni e che non hanno subito grosse modificazioni tettoniche; gli strati più antichi, di conseguenza, si trovano sepolti sotto quelli più giovani. Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche (ambiente marino), seguite da un corpo sedimentario di natura fluvio-deltizia (transizione tra ambiente marino e continentale) al cui tetto è presente una coltre di sedimenti esclusivamente continentali. Sono questi ultimi gli unici d'interesse per questa trattazione, dal momento che hanno spessori sufficienti ad interessare tutto il volume significativo da considerare per le opere in progetto.

L'opera in progetto, infatti, si colloca entro un contesto caratterizzato dalla presenza esclusiva di sedimenti alluvionali decisamente giovani, indicativamente depositi entro l'ultima decina di migliaia di anni. Tali sedimenti sono le cosiddette alluvioni recenti (Olocene), e vengono indicate con "a²" nel Foglio 60 "Piacenza" della carta d'Italia alla scala 1:100'000.

Depositi relativamente più antichi sono presenti non lontano dall'area di centrale: spostandosi verso sud di poche centinaia di metri si ha il passaggio, localmente testimoniato da flebili cambi di quota, a depositi di attribuzione incerta tra alluvioni antiche "a¹" e alluvioni würmiane "f^w"; le due unità si collocano temporalmente a cavallo tra Pleistocene e Olocene e condividono aspetti simili, perciò localmente appaiono indistinguibili l'una dall'altra, come appunto accade in prossimità dell'area di centrale.

A nord dell'area di centrale, al contrario, si raggiunge il letto attuale del fiume Po, caratterizzato da una veloce evoluzione e dalla presenza di barre fluviali, indicate con la dicitura "a³".

La figura 3.1 mostra lo stralcio della carta geologica alla scala 1:100,000 con indicazione della sottostazione, in cui si ritrovano le formazioni sopradescritte.

La geologia dell'area è descritta anche dalla cartografia del PSC del comune di Castel San Giovanni; la classificazione qui adottata è leggermente differente rispetto a quella della carta geologica al 100,000, vista l'introduzione dell'uso dei sintemi (nuove unità stratigrafiche di base, limitate a tetto e a letto da limiti inconformi), tuttavia i concetti già espressi riguardanti la

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 9 of <i>Pagina</i> di 42

paleogeografia e le età dei sedimenti, rimangono invariate. Si riporta uno stralcio anche di questa cartografia, con relativa legenda, in figura 3.2.

La struttura tipica dei depositi alluvionali caratterizzanti l'area d'interesse è una stratificazione con alternanze tra granulometrie grossolane e fini; tali alternanze sono l'espressione della dinamicità dei processi fluviali (divagazione dei rami del fiume all'interno del suo antico alveo) e sono risultato delle variazioni di energia dell'ambiente, e della conseguente diversa capacità di trasporto dell'acqua. A microambienti di bassa energia, quali possono essere una morta, la sponda convessa di un meandro, ecc, corrisponde una sedimentazione più fine (limi e argille), mentre a condizioni di maggiore energia corrisponde una sedimentazione più grossolana (ghiaie e sabbie). Le alternanze di cui sopra portano ad avere un discreto grado di variabilità nei sedimenti, sia in senso orizzontale che verticale.

Nell'area della centrale, in superficie si ha uno strato di riporto antropico granulare, di spessore variabile fino ad un massimo di 4÷5 metri. Al di sotto di questo si incontrano i terreni relativi alle alluvioni attuali, il cui spessore è di alcuni metri; man mano che si procede in profondità si incontrano terreni alluvionali sempre più antichi; non si raggiungono sedimenti marini prima di una profondità minima di un centinaio di metri.

Morfologia

Quei processi che hanno modellato il paesaggio così come lo vediamo e hanno generato una stratificazione con alternanze grossolano/fine, sono gli stessi attivi oggi in natura nella porzione di pianura in cui ricade l'opera, seppur teoricamente confinati entro l'alveo attivo dei corsi d'acqua, e tuttora concorrono a modellare le forme del paesaggio attuale, essendone anzi i principali agenti modellatori, dopo l'attività antropica, la cui impronta è pesantemente visibile nell'area.

Dal punto di vista morfologico, la porzione di pianura presa in esame presenta scarse particolarità; la topografia è estremamente dolce e immergente verso NNE con pendenze dell'1÷2%. E' tuttavia possibile notare un debole gradino morfologico poco a sud dell'area della centrale, che separa le alluvioni recenti da quelle antiche/würmiane. Tale terrazzo è segnalato nella carta geomorfologica del PSC del comune di Castel San Giovanni e corrisponde al limite meridionale di un paleomeandro che costeggia il lato sud dell'area di centrale.

Più visibili sono le forme dovute all'attività antropica: nel corso del tempo infatti si è proceduto a bonificare il territorio, che spesso risultava paludoso, a regimare tutto il reticolo idrico minore, che si trova spesso canalizzato, e a costruire gli argini artificiali dei corsi d'acqua principali; l'imponente argine maestro del Po limita a nord l'area della centrale. La stessa area della centrale, infine, giace al di sopra di uno spesso strato di terreno di riporto costruito nell'ottica di ridurre il rischio idraulico per il sito.

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.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 10 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

La figura 3.1 riporta lo stralcio della carta geologica e geomorfologica del PSC del comune di Castel San Giovanni; dal confronto con tale cartografia non emergono forme che possano rappresentare elementi di disturbo per l'opera.

Tettonica

Espressioni tettoniche nell'area sono inesistenti, trattandosi di terreni molto recenti dal punto di vista geologico e in evoluzione per mano sia della natura che dell'uomo.

A più grande scala, si è tuttavia a conoscenza di evidenze tettoniche che interessano i terreni relativamente più antichi, posti quindi più in profondità: il sottosuolo è infatti caratterizzato da una serie di superfici di distacco che lo dividono in diversi corpi cuneiformi secondo un modello di embrici est-vergenti. Le deformazioni sembrano interessare, seppur blandamente, anche i depositi quaternari.

Alcuni studi sulla base della sequenza plio-quaternaria nella porzione centrale e meridionale della Pianura Padana mostrano lo sviluppo di tre grandi archi costituiti da thrust ciechi N-vergenti che costituiscono il fronte sepolto più avanzato della struttura appenninica settentrionale: il centrale di questi, l'Arco Emiliano, interessa ospita il contesto dell'area in esame. Sebbene la definitiva strutturazione del substrato sepolto venga tradizionalmente associata a una fase pliocenica media-inferiore, si vanno raccogliendo prove sempre più numerose del fatto che i depositi alluvionali quaternari siano stati coinvolti in fasi neotettoniche, condizionando così anche la morfogenesi più recente; è il caso degli affioramenti di sedimenti pre-würmiani che emergono sul "Livello Fondamentale della Pianura" in prossimità degli assi di alcune strutture positive del substrato, visibili nel foglio 60 per esempio in località San Colombano. Altro indizio è rappresentato da alcune "anomalie" che si manifestano in taluni tratti dei principali corsi d'acqua, tra cui lo stesso Po in settori più a valle dell'area in esame; si tratta per lo più di deviazioni dell'asta fluviale che sarebbero espressione di movimenti geologicamente recenti.

Infine, nonostante vi siano dimostrazioni del fatto che per molti dei thrust attivi una buona parte dell'energia venga rilasciata in modo asismico, i terremoti verificatisi nella pianura padana nell'ultimo decennio dimostrano non solo che la pianura sia una zona tettonicamente tutt'altro che inattiva, ma anche che vi sono casi in cui si assiste all'accumulo e al conseguente repentino rilascio dell'energia.

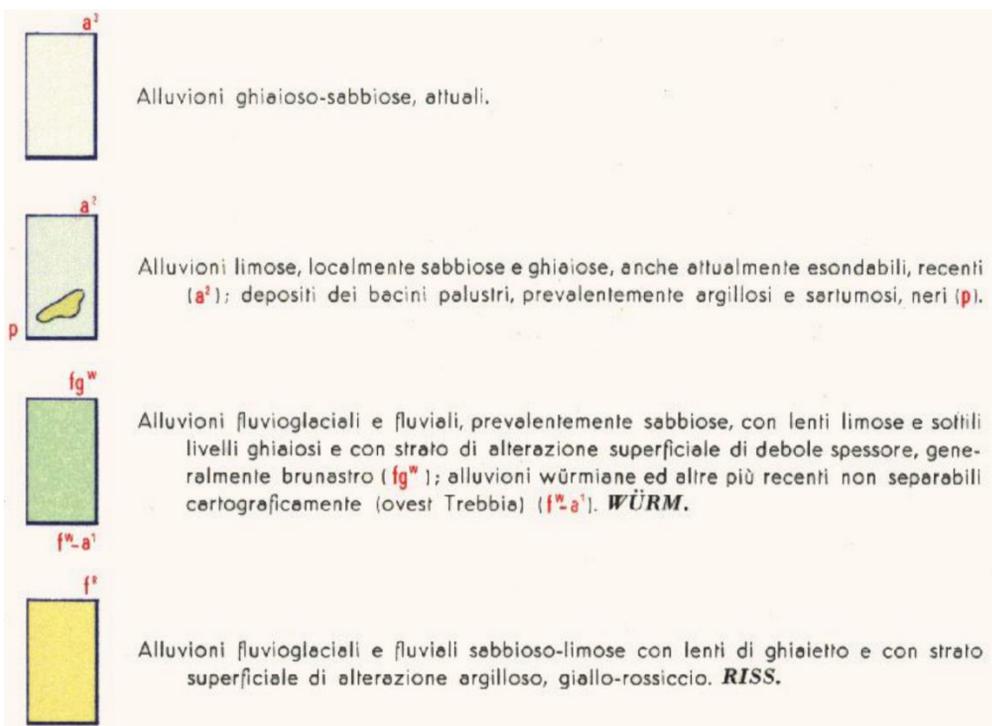
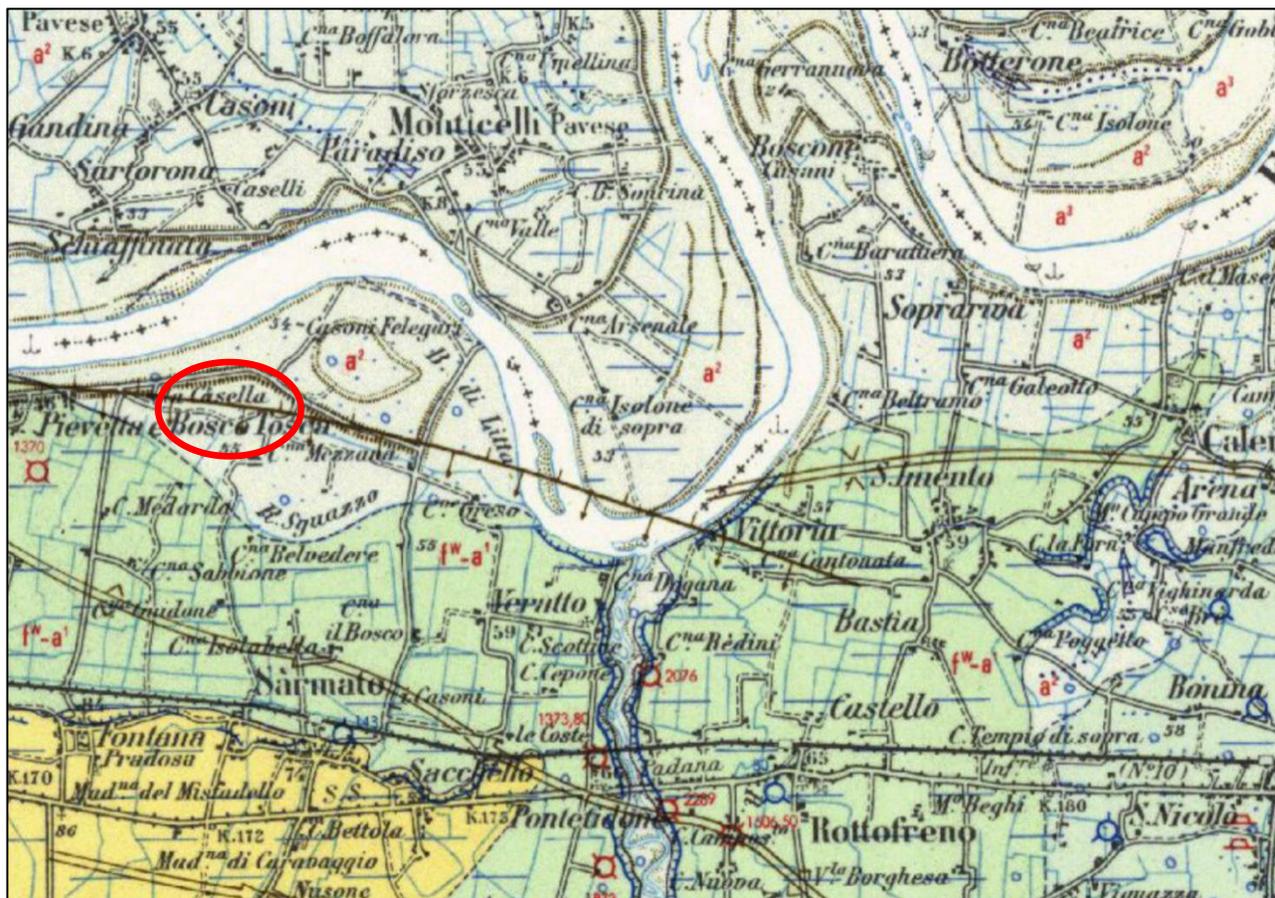
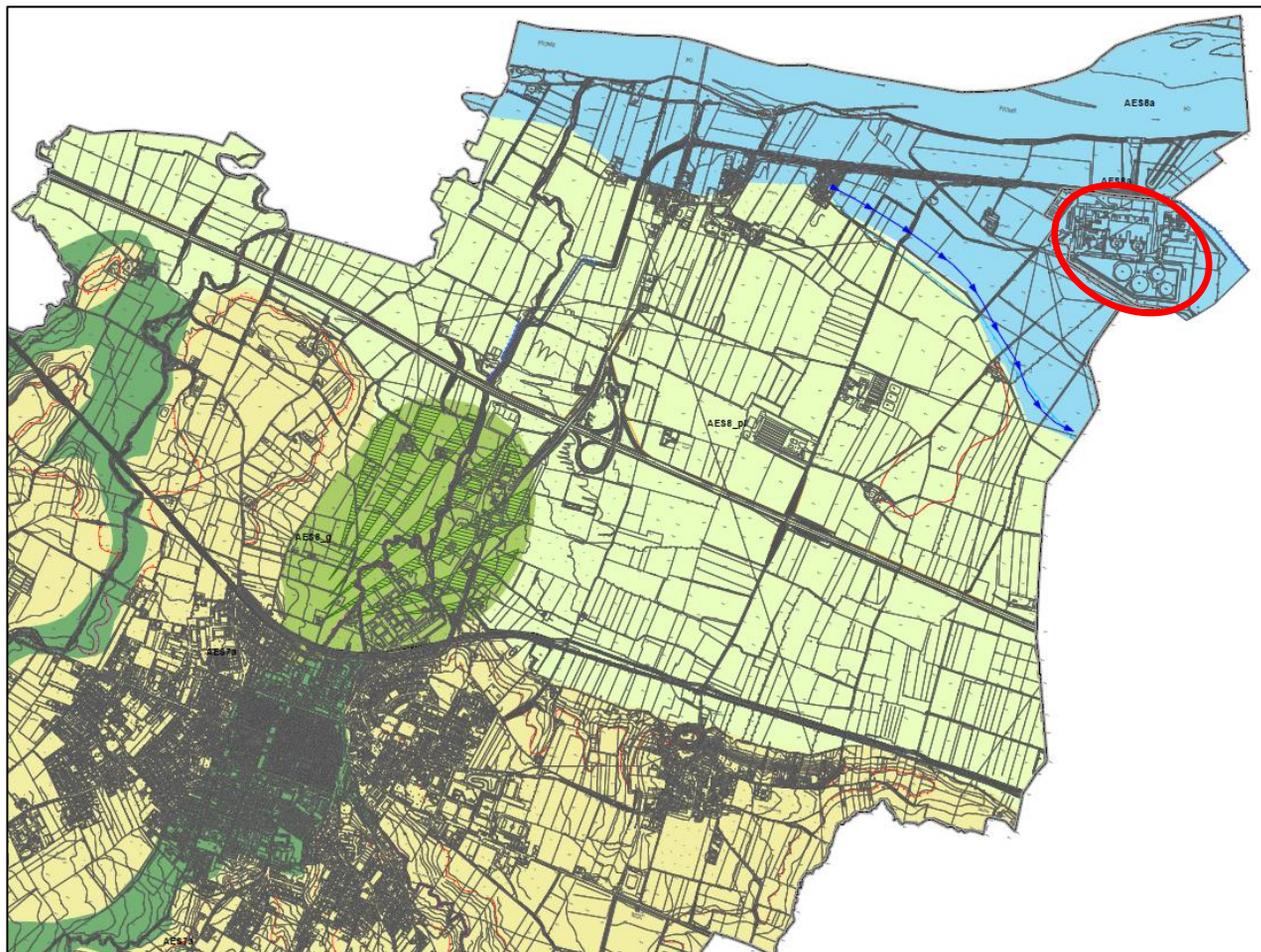


Figura 3.1 – Carta geologica 1:100,000 – Foglio 60 “Piacenza”

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.



Unità AES7a - Unità di Niviano

Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose di colore grigio-nocciola, giallo-rossastro all'alterazione (depositi di conoide alluvionale) e da depositi fini dati da limi stratificati, grigio-nocciola, giallo-ocracei all'alterazione, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie (depositi di interconoide). I depositi intravallivi sono spesso terrazzati. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 6-7 m di profondità ed è di tipo Btb/Btcb/BCb/Ckb/Cb sulle litofacies grossolane e di tipo A/Bw/Bkss sulle litofacies fini. L'unità presenta una copertura fine, composta, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto e di tipo A/E/Bt/Btc/Btb/Btcb/Btb/Btcb. Il contatto di base è erosivo e discordante sulle unità AES1/2 e sulle unità pioceniche. Spessore massimo di circa 25-30 metri.
Pleistocene medio

Unità AES8 - Subsistema di Ravenna

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e limi e limi sabbiosi. Depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati e depositi di interconoide rispettivamente. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sul substrato piocenico e su AES2, AES3 e AES7. La differenziazione del colore dell'unità, indica l'ambiente deposizionale prevalente nei primi 1.5 - 2.0 m dal piano campagna :
(g) ambiente di conoide a ghiaie da grossolane a fini con matrice sabbiosa o, più raramente argillosa;
(it) ambiente di canale-argine-tracimazione indifferenziati in zona intravalliva incastonati in livelli terrazzati;
(pi) ambiente di piana inondabile a limi ed argille finemente stratificati con possibili livelli di materiale organico;
Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Pleistocene superiore - Olocene; post circa 18.000 anni B.P..

Unità AES8a - Unità di Modena

Sabbie prevalenti e subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri; ambiente di piana fluviale meandriforme.
Olocene, post IV-VII sec. d.C.

Figura 3.2 – Carta geologica-geomorfologica del PSC di Castel San Giovanni

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 13 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

Idrografia

Il territorio in esame si trova nel bacino idrografico del fiume Po, che ne costituisce l'elemento idrografico naturale decisamente di maggiore importanza, condizionando, con i suoi livelli idrici, con la sua evoluzione morfologica, e con gli eventi di piena, le zone della pianura circostante.

La zona della bassa pianura è inoltre solcata da numerosi corsi d'acqua minori, tutti o quasi profondamente modificati dall'attività antropica, quando non direttamente costruiti dall'uomo, per necessità irrigue e di regimazione. Nel comune Castel san Giovanni il reticolo idrografico è ben sviluppato, rappresentato dai corsi d'acqua di provenienza appenninica, affluenti di destra del Po, aventi tipico decorso sub parallelo con orientamento prevalentemente rivolto a NNE. Si incontrano, in ordine da ovest verso est, i seguenti affluenti: Torrente Bardoneggia, Rio Gambero - Rio Cavo - Rio Carogna, Rio Torto - Rio Lora - Rio Carona - Rio Boriacco, Rio Panaro. Vi sono inoltre molti canali irrigui in gestione al consorzio di bonifica di Piacenza. Osservando la carta del reticolo idrico, di cui uno stralcio è riportato in figura 4.1, si nota che il rio Panaro si immette in uno di questi canali poco prima dell'area della centrale, che risulta bordata nel suo lato meridionale dal canale stesso.

L'area della centrale è contenuta nella fascia C del PAI (inondabile per piena catastrofica) e, trovandosi a meno di 500 metri dall'argine, è stata classificata come area di pericolosità residuale media, e di conseguenza come area a rischio residuale di inondazione medio (R-RES2), come si evince dallo stralcio della omonima carta, in figura 4.2. Si precisa che l'area della centrale esistente, così come l'area di progetto, sono rialzate rispetto al piano campagna circostante proprio in funzione di mitigazione del rischio idraulico.

Idrogeologia

Per quanto riguarda le acque sotterranee, si è in presenza di un acquifero superficiale impostato entro gli strati di materiali grossolani; le lenti limoso-argillose presenti non hanno estensione sufficiente per poter costituire un limite continuo al movimento delle acque e generare falde stratificate, alle profondità indagate. Questo acquifero si trova ad essere essenzialmente in contatto con la superficie, se si escludono le zone in cui si hanno materiali fini, poco permeabili, al piano campagna; di conseguenza tale acquifero viene alimentato non solo tramite il trasporto delle acque sotterranee dalle zone a monte secondo la direzione di deflusso idrogeologico, ma anche per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua); la permeabilità del terreno nell'area d'interesse è relativamente alta, vista la componente sabbiosa e ghiaiosa non trascurabile.

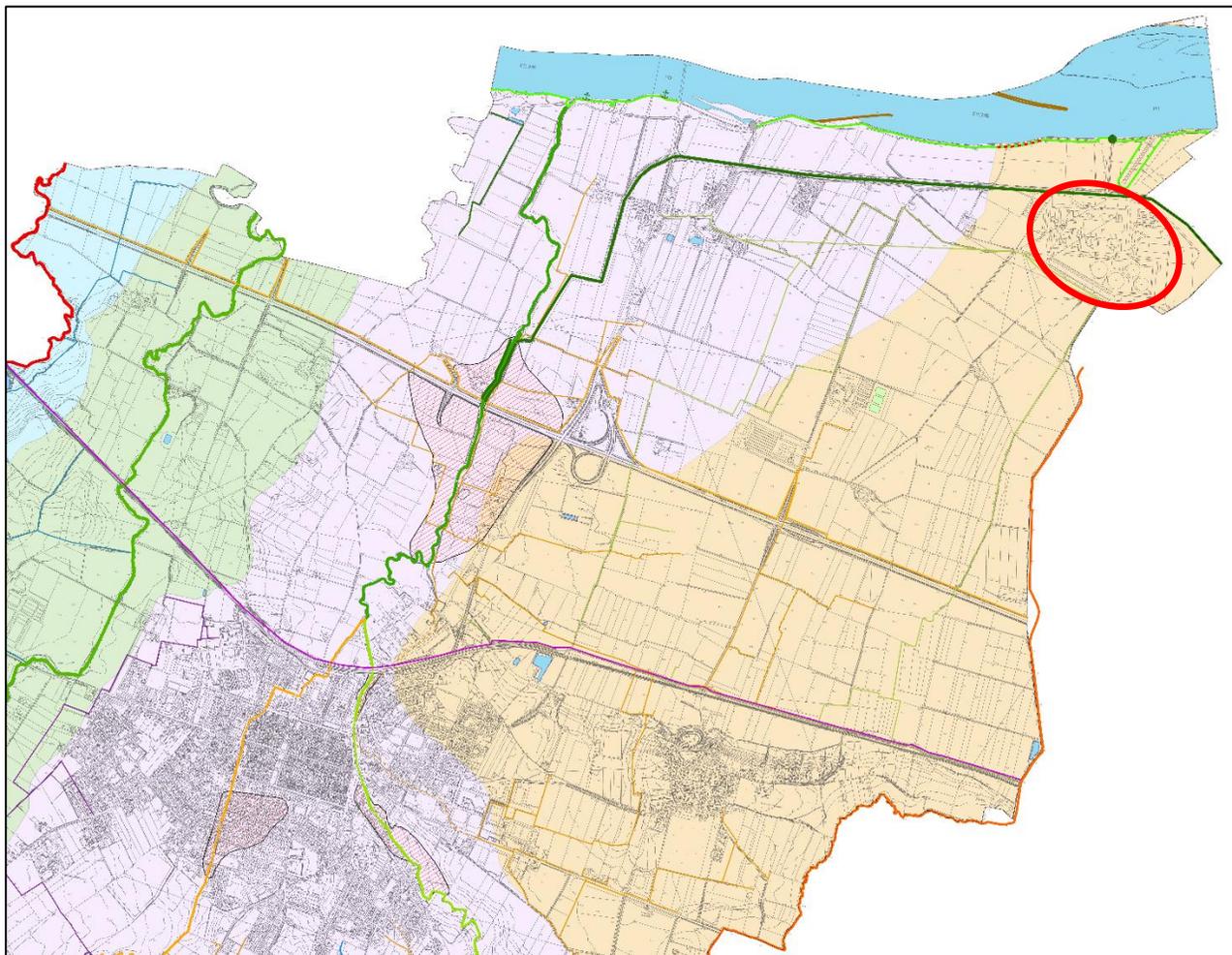
	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 14 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

La prima falda è inoltre strettamente collegata all'asse del fiume Po e risente in modo sempre più incisivo delle variazioni idriche del fiume man mano che ci si avvicina ad esso; la sua direzione di deflusso principale è verso NNE, ossia verso il tracciato del fiume, con un debole gradiente che si attesta su un valore dello 0.4% nel settore di bassa pianura più vicina all'asse fluviale; tuttavia non mancano delle anomalie, soprattutto in corrispondenza della piana a meandri in cui ricade l'area della centrale, che è influenzata dall'alimentazione di sub alveo del fiume; inoltre i livelli idrometrici del fiume influenzano anche nel tempo l'andamento della falda, tendenzialmente ricoprendo funzione drenante nei periodi di magra e alimentante durante le piene. Uno stralcio della carta idrogeologica del comune di Castel San Giovanni viene riportato in figura 4.3.

La soggiacenza della falda è bassa lungo il tracciato dei corsi d'acqua e di conseguenza anche nell'area d'interesse, vista la vicinanza al Po; nel territorio in esame gli elaborati grafici del PSC indicano una profondità compresa tra 2 e 4 metri dal piano campagna.

La vulnerabilità dell'acquifero nella zona della centrale è alta, a causa della modesta soggiacenza della falda e della natura permeabile dei depositi. E' perciò necessario prendere ogni precauzione possibile per evitare la perdita di qualsiasi sostanza potenzialmente inquinante sulla superficie del terreno o direttamente nel sottosuolo, sia in fase di costruzione che nelle fasi successive, in considerazione sia della potenziale contaminazione della falda, sia del quasi certo raggiungimento del fiume da parte dell'eventuale inquinante.

Nella figura 4.4 viene riportato uno stralcio della carta della permeabilità del comune di Castel San Giovanni, dalla quale si evince il valore alto di permeabilità dei depositi circostanti l'area della centrale; il sito dell'impianto vero e proprio è indicato come impermeabile; anche se non è possibile che siano stati fatti interventi di impermeabilizzazione della superficie all'interno dell'area della centrale, si può escludere che tutto l'areale sede del nuovo progetto sia caratterizzato da condizioni di impermeabilità; è al contrario verosimile aspettarsi permeabilità pari a quelle del terreno naturale circostante.



Reticolo idrico principale:

- Rio Boriacco
- Rio Carogna
- Rio Carona
- Rio Carona tominato
- Rio Cavo
- Rio Gambero
- Rio Lora
- Rio Lora tominato
- Rio Panaro
- Rio Torto
- Torrente Bardonezza
- Fiume Po

Bacini di drenaggio superficiale del reticolo principale:

- Boriacco-Carona-Lora
- Carogna-Gambero-Cavo
- Panaro
- Bardoneggia

Elementi antropici :

- + Attracco fluviale
- Derivazione idrica ad uso industriale
- Derivazione idrica ad uso irriguo
- - - Alveo in approfondimento
- Pennello fluviale
- Difesa spondale

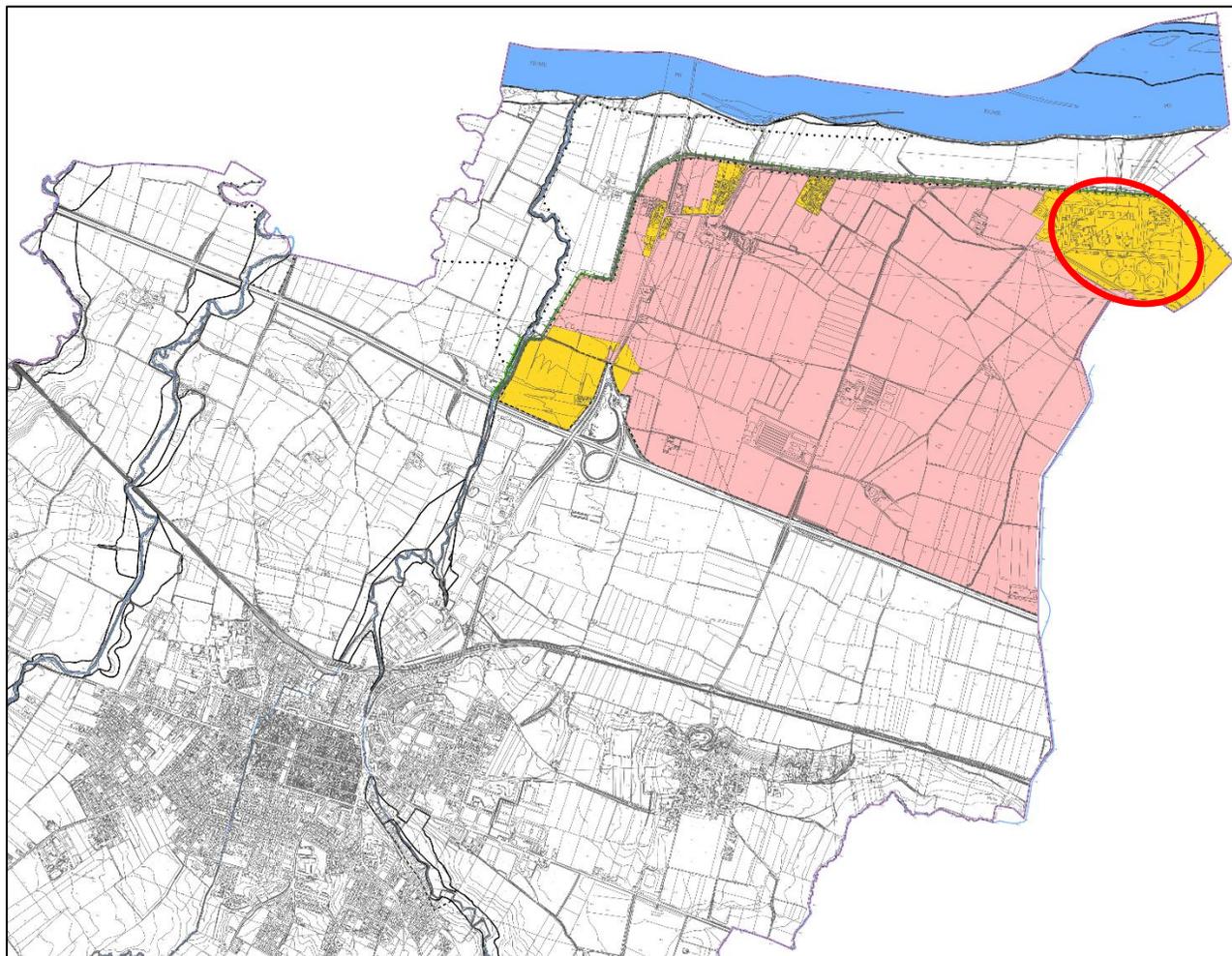
Arginature con funzione di difesa idraulica:

- Rilevato ferroviario PC-TO
- Argine maestro del Fiume Po
- Argine secondario del Fiume Po
- Rilevato autostradale PC-TO con funzione di difesa idraulica

- Aree già interessate da episodi di esondazione

Figura 4.1 – Carta del reticolo idrografico del PSC di Castel San Giovanni

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.



Legenda

-  Limite Comunale
-  Fiume Po
-  Reticolo idrico locale
-  Argine maestro del F.Po

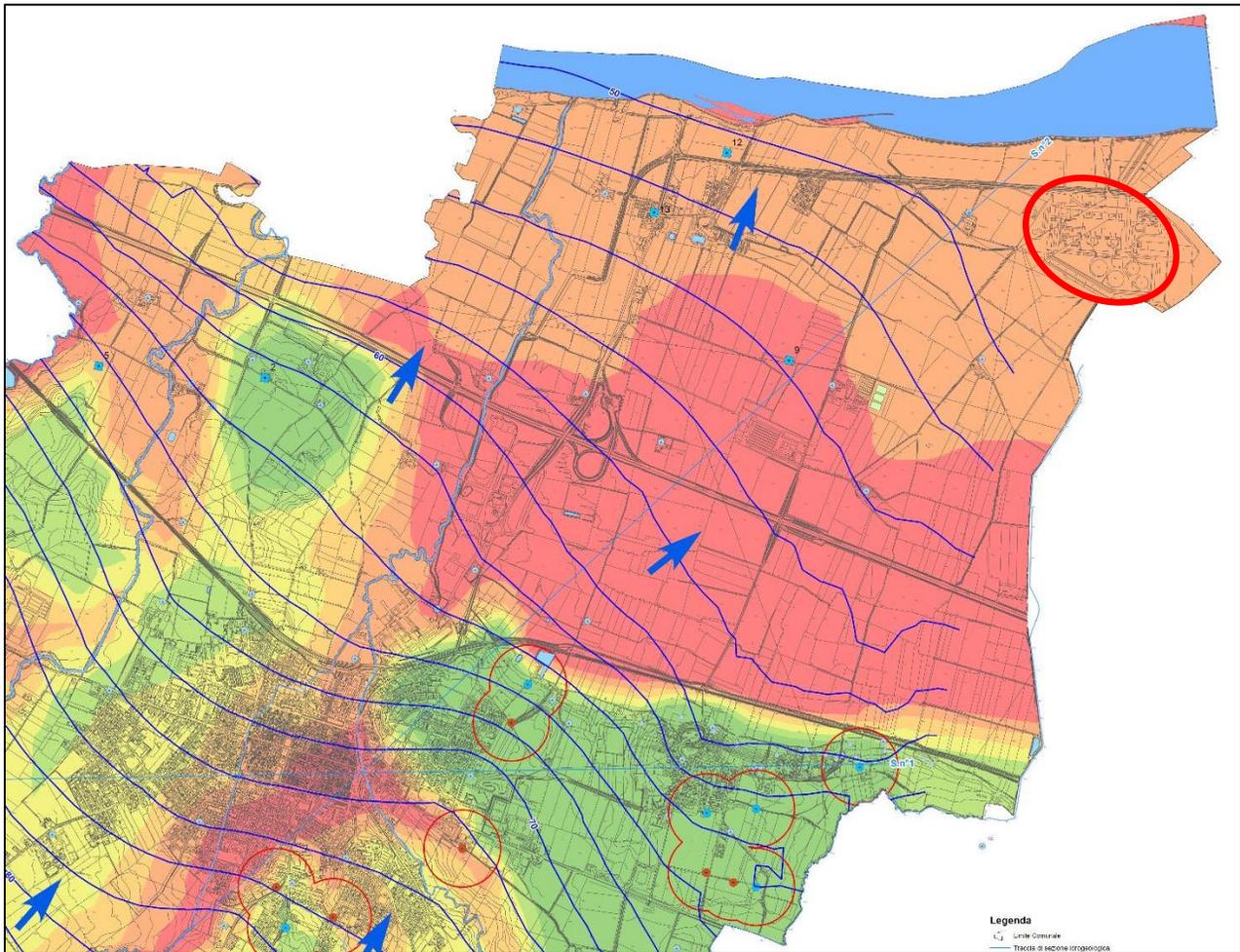
Fasce fluviali P.T.C.P.

-  Fasce A1; A2; A3 (di deflusso)
-  Fascia B3 (di esondazione)
-  Fascia C1; C2 (di inondazione per piena catastrofica)

Rischio residuale di inondazione

-  R-RES 2 - Rischio residuale medio
-  R-RES 1 - Rischio residuale moderato

Figura 4.2 - Carta del rischio residuale di inondazione del PSC di Castel San Giovanni

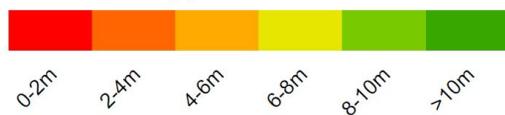


Piezometria e soggiacenza:

Pozzi utilizzati per il rilievo freaticometrico Nov-Dic 1977 (Amm.Prov.Piacenza)

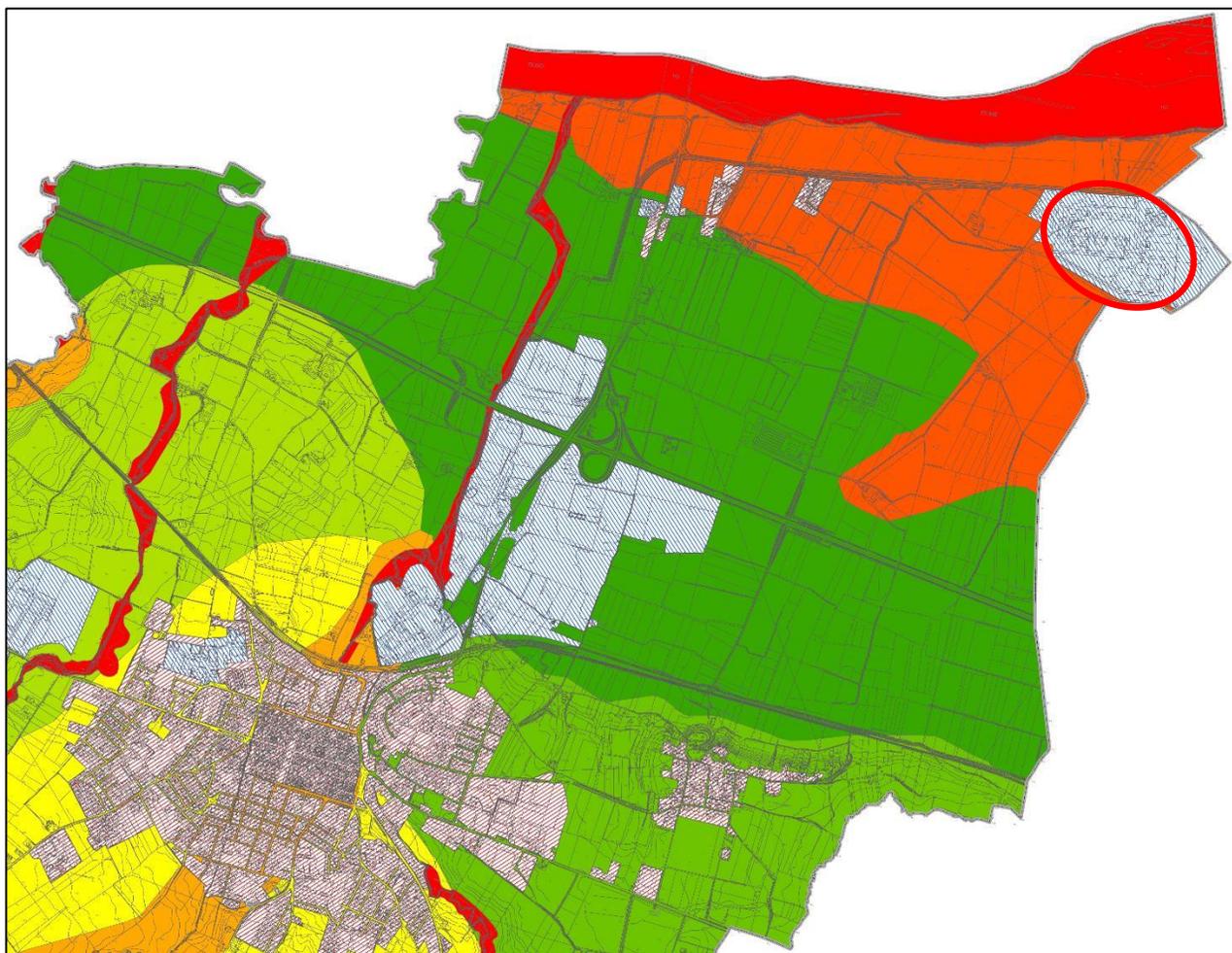
Isofreatiche relative rilievo freaticometrico Nov-Dic 1977 (Amm.Prov.Piacenza)

Intervalli di soggiacenza



Direzione di deflusso principale della falda

Figura 4.3 – Carta idrogeologica del PSC di Castel San Giovanni



Aree impermeabili

Tipologia:

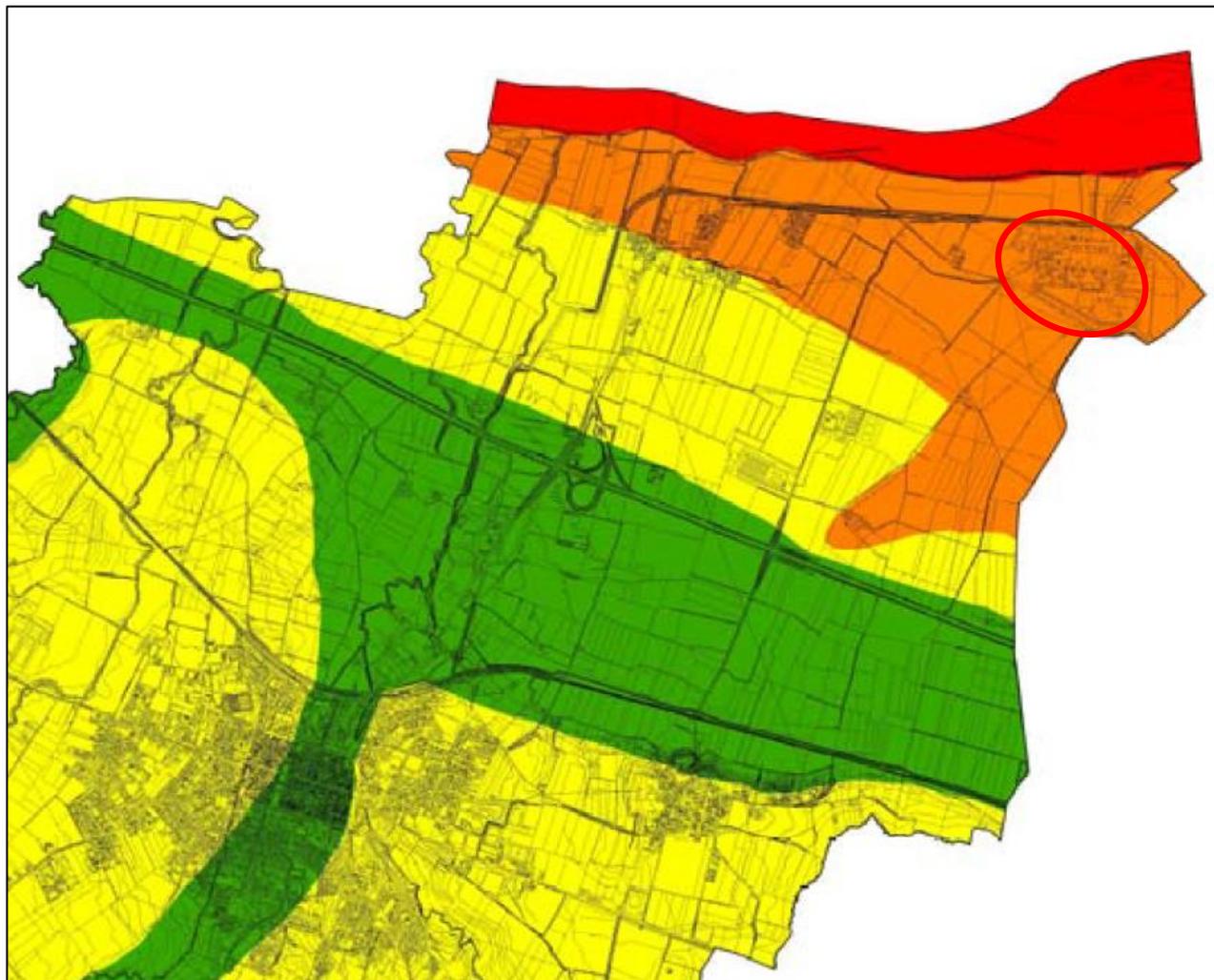
Consolidato residenziale

Consolidato industriale

Classi di permeabilità

- Bassa**
Permeabilità bassa connessa ad una ridotta o scarsa porosità primaria dei sedimenti limoso-argilloso prevalenti
- Medio-bassa**
Permeabilità medio-bassa connessa alla presenza di potenti pacchi di sedimenti argillosi limosi talvolta localmente alterati con rare o nulle intercalazioni di materiale grossolano
- Media**
Permeabilità media connessa all'alternanza di sedimenti limoso argillosi con intercalazioni di materiale grossolano sabbioso limoso
- Medio-alta**
Permeabilità medio alta connessa alla presenza di sedimenti grossolani con intercalazione di lenti a matrice argillosa limosa
- Media-Localmente elevata**
Permeabilità media localmente elevata associata a sedimenti di natura alluvionale da fini a grossolani disposti in lenti eterogenee sia per continuità laterale che per spessore
- Elevata**
Permeabilità elevata connessa a sedimenti sabbiosi con intercalazioni ghiaiose legati alla sedimentazione recente-attuale del fiume Po
- Estremamente elevata**
Permeabilità estremamente elevata connessa a sedimenti ghiaiosi grossolani degli alvei attuali

Figura 4.4 – Carta della permeabilità del PSC di Castel San Giovanni



Legenda



Limite Comunale

Classe di vulnerabilità idrogeologica



Bassa



Bassa-loc. media



Media



Elevata



Molto elevata

Figura 4.5 – Carta della vulnerabilità dell’acquifero superficiale del PSC di Castel San Giovanni

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 20 of 42 <i>Pagina</i> <i>di</i>

5. STRATIGRAFIA DI PROGETTO

In questo capitolo verrà fornita la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica di massima dei terreni di fondazione. Per maggiori dettagli ci si può riferire alla relazione geotecnica di Rif. [1].

5.1 STRATIGRAFIA DEL TERRENO

I terreni di fondazione dell'area della centrale sono stati oggetto di diverse campagne d'indagine geognostica e geofisica durante i decenni passati; una esaustiva rielaborazione delle indagini pregresse è riportata nel documento di Rif. [1]. Si individuano nell'area di interesse le seguenti litologie:

STRATO 1: Materiale di copertura, eterogeneo, prevalentemente granulare, da mediamente addensato ad addensato. Il suo spessore è variabile, estendendosi dal piano campagna attuale sino a quote comprese tra 53.0 e 51.5 m s.l.m. (piano campagna originario, antecedente la prima sopraelevazione necessaria alla mitigazione del rischio idraulico).

Laddove (zona di intervento ad OVEST) il piazzale di centrale si trova già alla quota di 57 m s.l.m., lo spessore del riporto è di circa 4÷5 m. Per la porzione a SUD dell'impianto, invece, le quote di p.c. attualmente sono più basse e pari indicativamente a 54.5 m s.l.m., con spessori di riporto mediamente di 1.5÷2.0 m e localmente di poco meno di 3 m.

STRATO 2: Limo argilloso, localmente debolmente sabbioso.
E' rinvenuto da sotto lo strato di copertura fino a quote comprese tra 51 e 50 m s.l.m.; solo in corrispondenza delle CPTu n°6 e n°8 si approfondisce sino a 49÷46 m s.l.m. Lo strato 2 è stato individuato in tutte le verticali di indagine considerate, ad eccezione del sondaggio BH2 (e nelle CPTu n°4 e n°5 perché l'esecuzione del preforo non ne ha permesso una valida caratterizzazione).

STRATO 3: Sabbia eterogenea, da debolmente limosa a limosa, localmente ghiaiosa.
Lo strato ha uno spessore di circa 5÷6 m e si riscontra fino a quote comprese tra 46÷44 m s.l.m.

STRATO 4: Materiale prevalentemente sabbioso, che si presenta in livelli più grossolani (**4a**) o più fini (**4b**). Il sottolivello **4a** è costituito da sabbia eterogenea con ghiaia, da

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 21 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

debolmente limosa a limosa. Il sottolivello 4b, invece, consiste in sabbia eterogenea limosa.

Lo strato ha complessivamente uno spessore di almeno 20 m ed è rinvenuto da 46÷44 m s.l.m. sino a fondo foro dei diversi sondaggi (a meno del più profondo BH2). Difficile delineare in modo preciso la successione dei sottolivelli 4a e 4b, tuttavia si evidenzia che nell'area in esame il sottolivello 4a è risultato prevalere nettamente tra 45 e 38 m s.l.m.

STRATO 5*: Intercalazione coesiva, costituita da argille limose e limi sabbioso-argillosi, poco consistenti.

Si tratta di un livello localizzato non riscontrato con continuità nell'area di centrale (*per questo è qui nominato con **). E' presente in prossimità dei terreni in studio essendo stato intercettato sia nei recenti sondaggi BH1 e BH4 che nel pregresso SPZ16, a quote comprese tra 32 e 29 m s.l.m.

STRATO 6: Sabbia fine, sciolta.
Riscontrato nel BH2 da 19 m s.l.m. sino alla massima profondità indagata (17 m s.l.m.).

A seguire in figura 5.1.1 si riporta la stratigrafia di dettaglio attesa per l'area di intervento, desunta dalle indagini geognostiche eseguite nell'area della centrale.

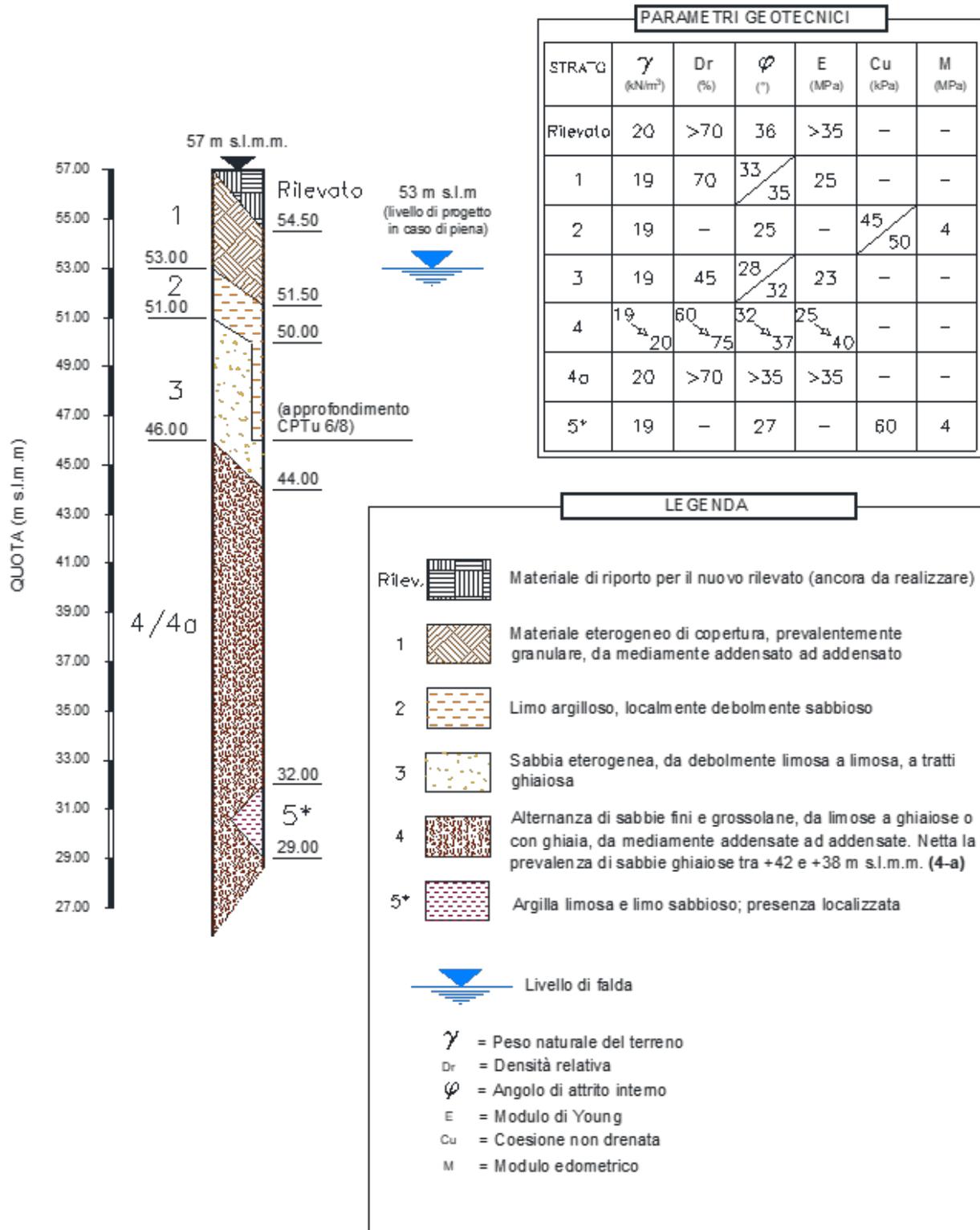


Figura 5.1.1 – Stratigrafia di progetto

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 23 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

5.2 LIVELLI DI FALDA

Le letture dei piezometri hanno fornito informazioni abbastanza omogenee sul livello della falda, che oscilla tra un minimo di 48.6 m s.l.m. ad un massimo di 51.2 m s.l.m., ma che in condizioni "normali" si trova mediamente a 49.5÷50 m s.l.m. Vista la scarsa soggiacenza della falda superficiale, e il suo possibile innalzamento in periodi di piena del Po, si può ragionevolmente considerare, ai fini progettuali, un livello di falda coincidente con quello del piano campagna circostante l'area di centrale: 53 m s.l.m. circa.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21
		Sheet <i>Pagina</i> 24 of 42 <i>di</i>

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 2020.

6.1 VELOCITA' DELLE ONDE S

Due prove geofisiche MASW sono state condotte nel corso del 2020 per la caratterizzazione sismica del sito in esame e si collocano come indicato nella figura seguente. I profili di velocità delle onde S in funzione della profondità da piano campagna vengono invece riportati nelle figure 6.1.2 e 6.1.3.

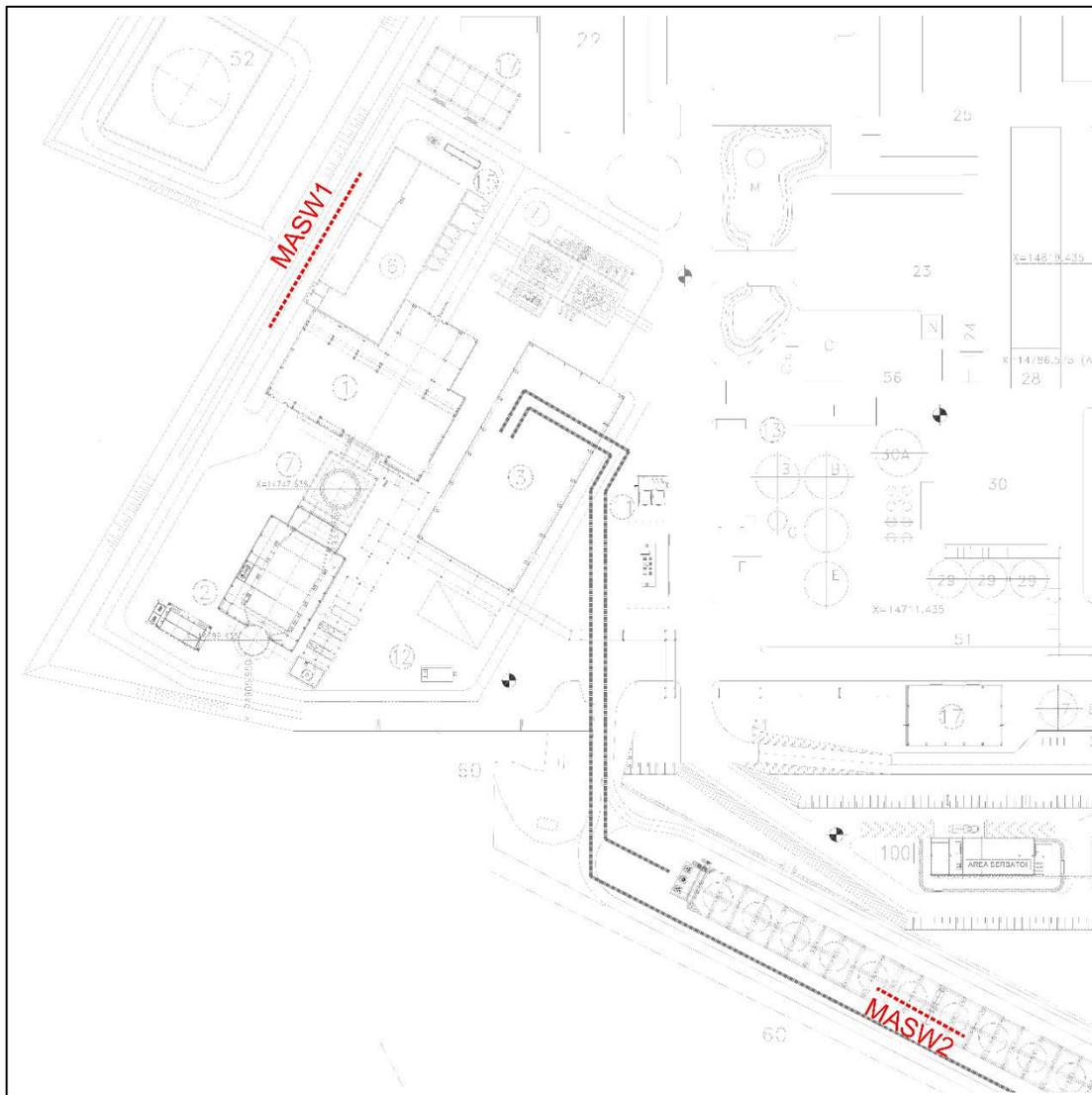


Figura 6.1.1 – Posizione delle prove MASW utilizzate per la caratterizzazione

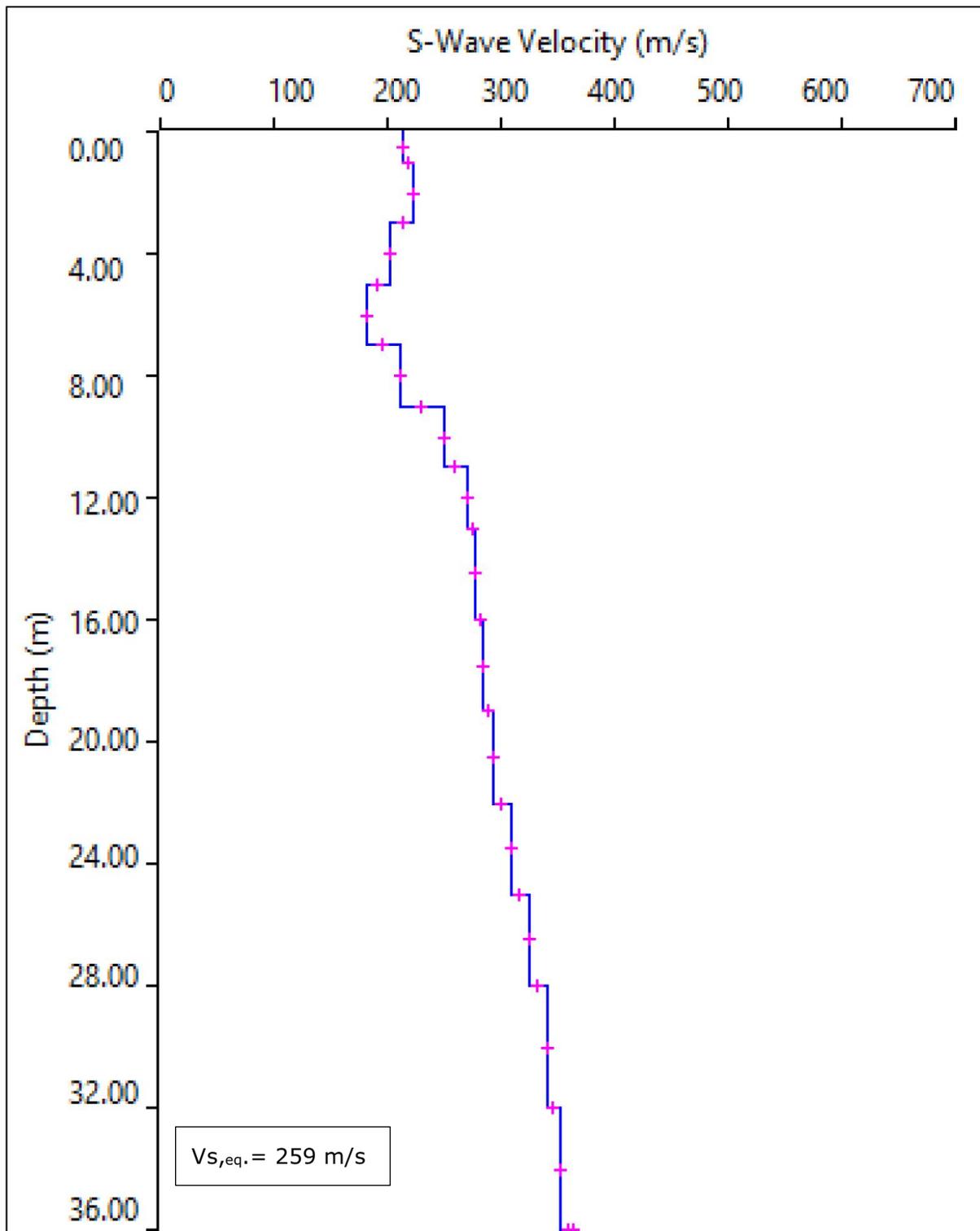


Figura 6.1.2 – Vs misurate dalla prova MASW 1



LA CASELLA CCGT

Document
Documento n.

PBITC00061

RELAZIONE GEOLOGICA

REV. 00 12.07.21

Sheet **26** of **42**
Pagina **26** di **42**

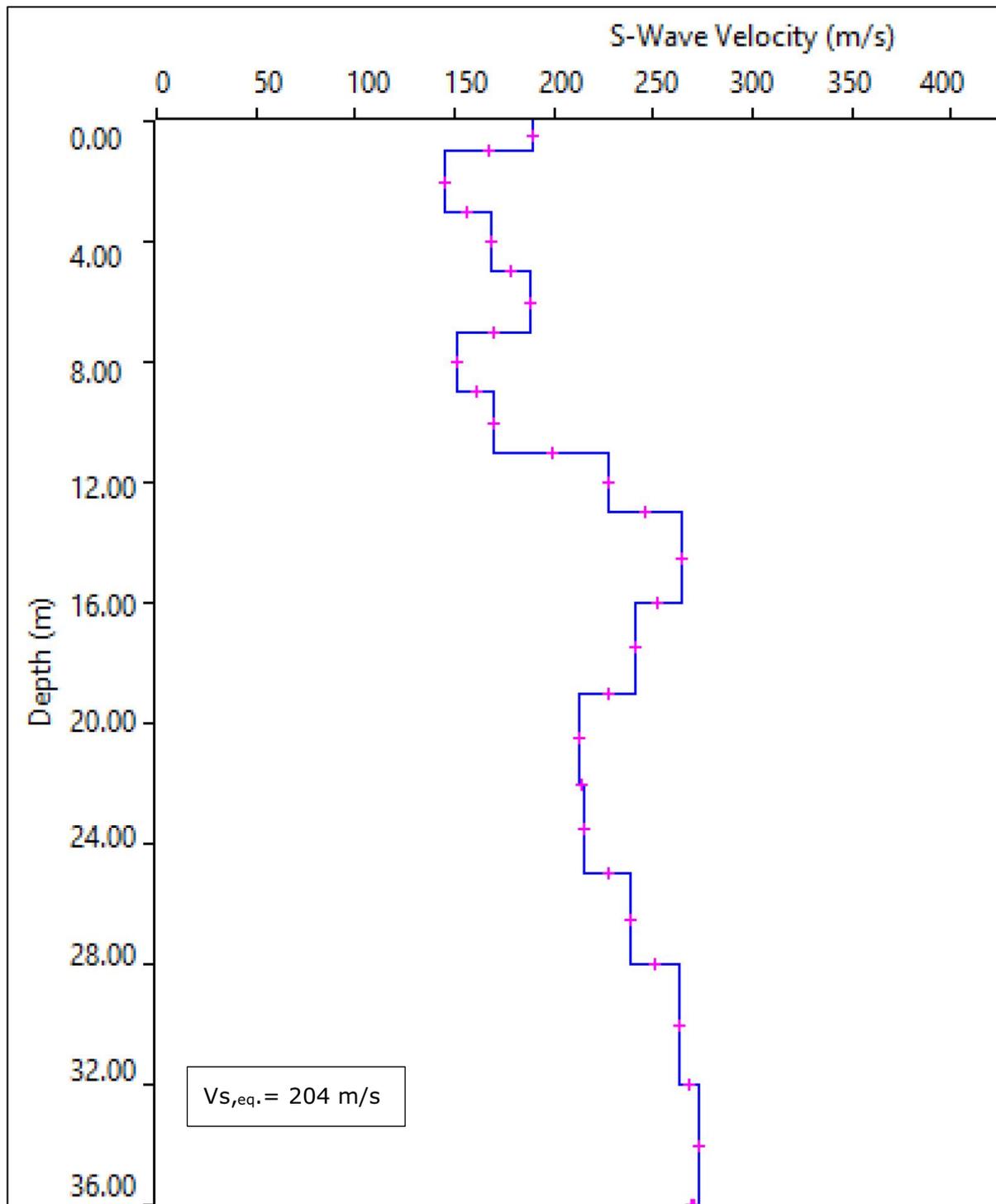


Figura 6.1.3 – Vs misurate dalla prova MASW 2

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 27 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

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.

In base ai risultati della prova analizzata, la quale dichiara un valore di $V_{s,eq}$ di 204 m/s, i terreni in esame si possono classificare in **categoria C**: *"depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 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:

Latitudine: 45.088764

Longitudine: 9.478017

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: **$a_g = 0.119 g$** , 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 **2.464**.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 28 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

Per calcolare il valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa al sito (a_{max}) si è fatto riferimento allo studio sismico di secondo livello predisposto dal comune di Castel San Giovanni (doc. rif.[16]), il quale attribuisce all'area della centrale un valore di F_{PGA} pari a 1.8.

F_{PGA} è un fattore di amplificazione che si ottiene dividendo l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito (PGA) per l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento (PGA_0 , ossia a_g ricavato dalle NTC 2018). Si può pertanto calcolare PGA tramite la seguente formula:

$$PGA = F_{PGA} \cdot PGA_0 = 1.8 \cdot 0.119g = 0.2142g$$

Per calcolare a_{max} è necessario moltiplicare il valore di PGA per il parametro S_T (coefficiente di amplificazione topografica da NTC 2018); in questo caso tuttavia S_T è pari a 1 per il fatto che ci si trova in condizioni topografiche pianeggianti, pertanto a_{max} risulta pari a **0.2142g**.

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. [17]). Si è pertanto individuata la posizione del sito d'interesse nei confronti della zonazione sismogenetica individuata da INGV e descritta nel documento di rif. [15] e si è verificato che l'area ricade nella zona identificata con il codice 911 "Tortona-Bobbio". INGV ha attribuito per tale zona 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 La Casella nei confronti della zonazione sismogenetica.

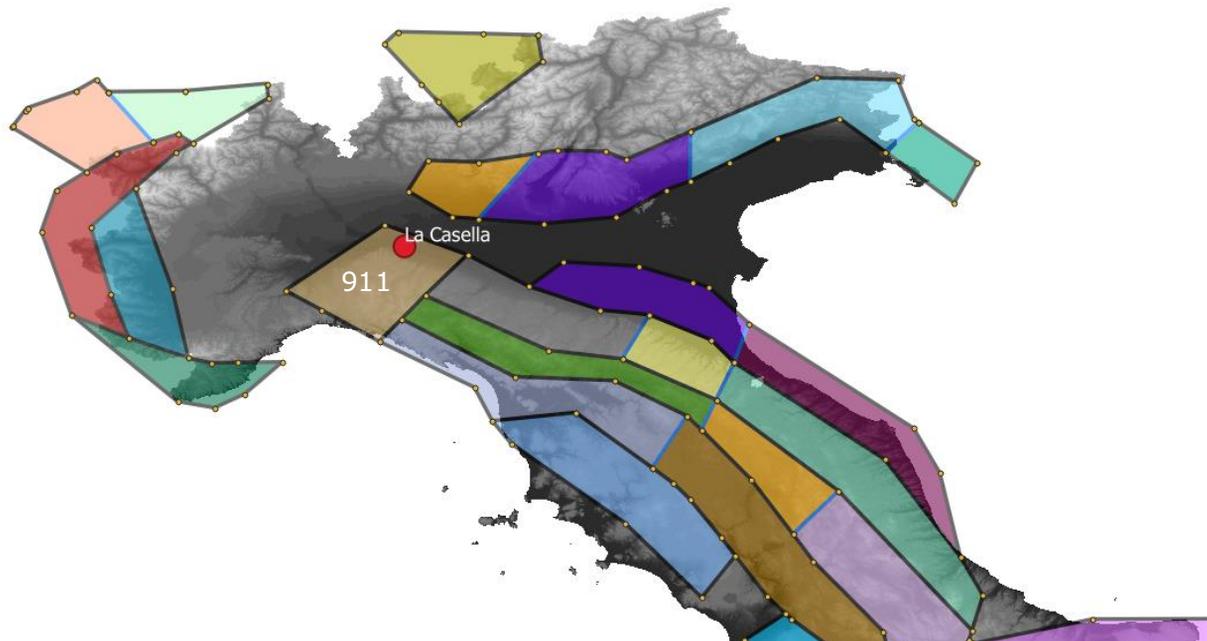


Figura 6.4.1 – Zonazione sismogenetica da INGV (rif.[15]), con indicazione del sito in esame

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 30 of <i>Pagina</i> di 42

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.

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)*:

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

dove:

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.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 31 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

- $a_{g,max}$ = picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto, calcolata nel precedente paragrafo e pari a **0.2142 g**;
- σ_v e σ'_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 riportare 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:

	LA CASELLA CCGT	Document Documento n. PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 32 of 42 Pagina di

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

(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:

α, β = fattori correttivi in funzione del contenuto di fine (FC):

- $\alpha = 0$ for FC ≤ 5%;
- $\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)]$ for 5% < FC < 35%;
- $\alpha = 5.0$ for FC ≥ 35%.

- $\beta = 1.0$ for FC ≤ 5%;
- $\beta = [0.99 + (FC^{1.5}/1000)]$ for 5% < FC < 35%;
- $\beta = 1.2$ for FC ≥ 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

σ'_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);
- C_S = fattore correttivo del metodo di campionamento (assunto pari a 1).

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 33 of <i>Pagina</i> di 42

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 $(N_1)_{60} < 30$, 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.

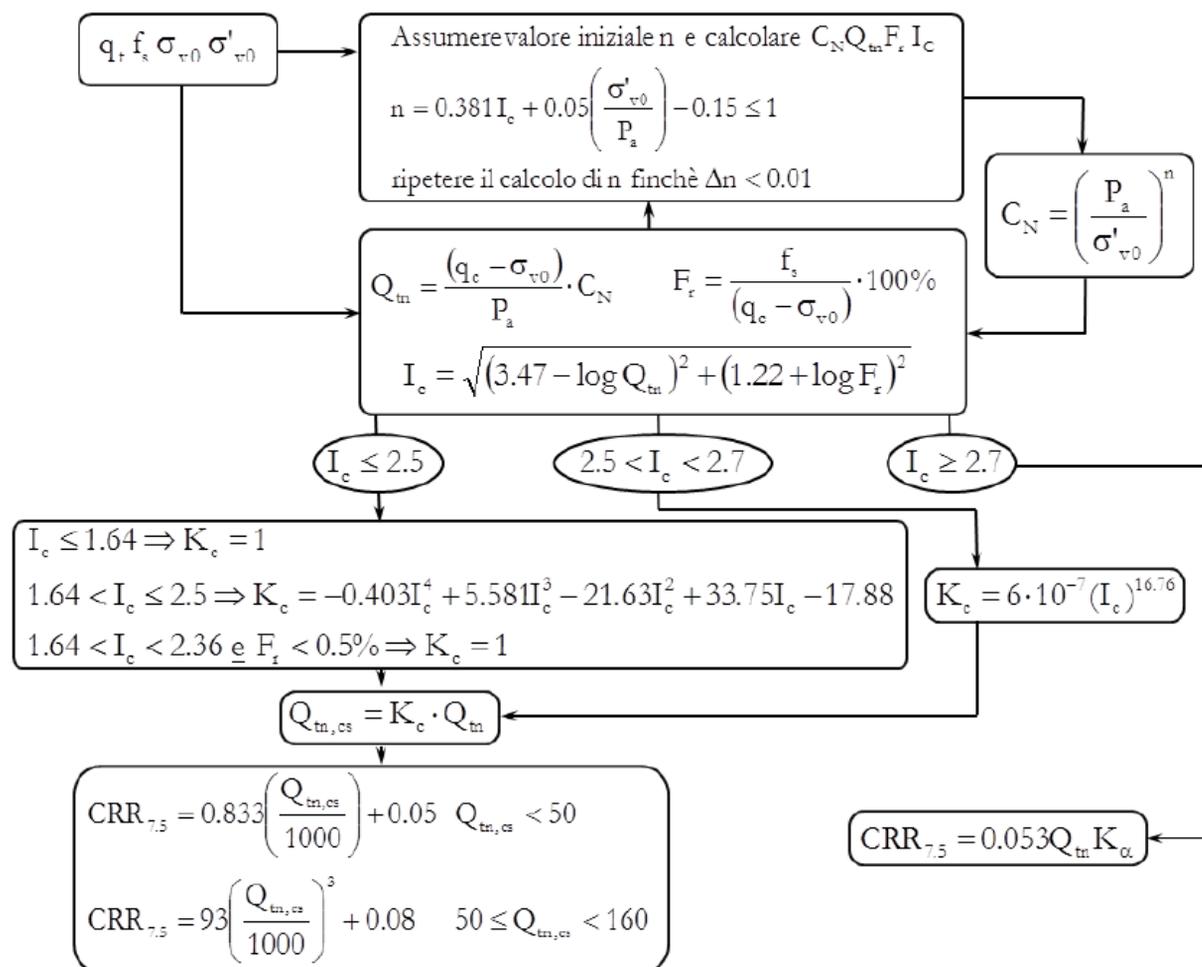


Figura 6.5.1 - Schema di calcolo di CRR, mediante prove CPT/CPTU, secondo Robertson 2009

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 che alcuni punti presi in considerazione ricadono al di sotto delle soglie di sicurezza; si tratta in particolare dei punti compresi entro le quote circa +44.0 (+42.0 m s.l.m.m. solo in corrispondenza della CPTu2) e +51.5 m s.l.m.m, assimilabili allo strato 3 descritto nel capitolo 5. Pertanto, al verificarsi del sisma di riferimento, non si può escludere che si verifichi il fenomeno di liquefazione.

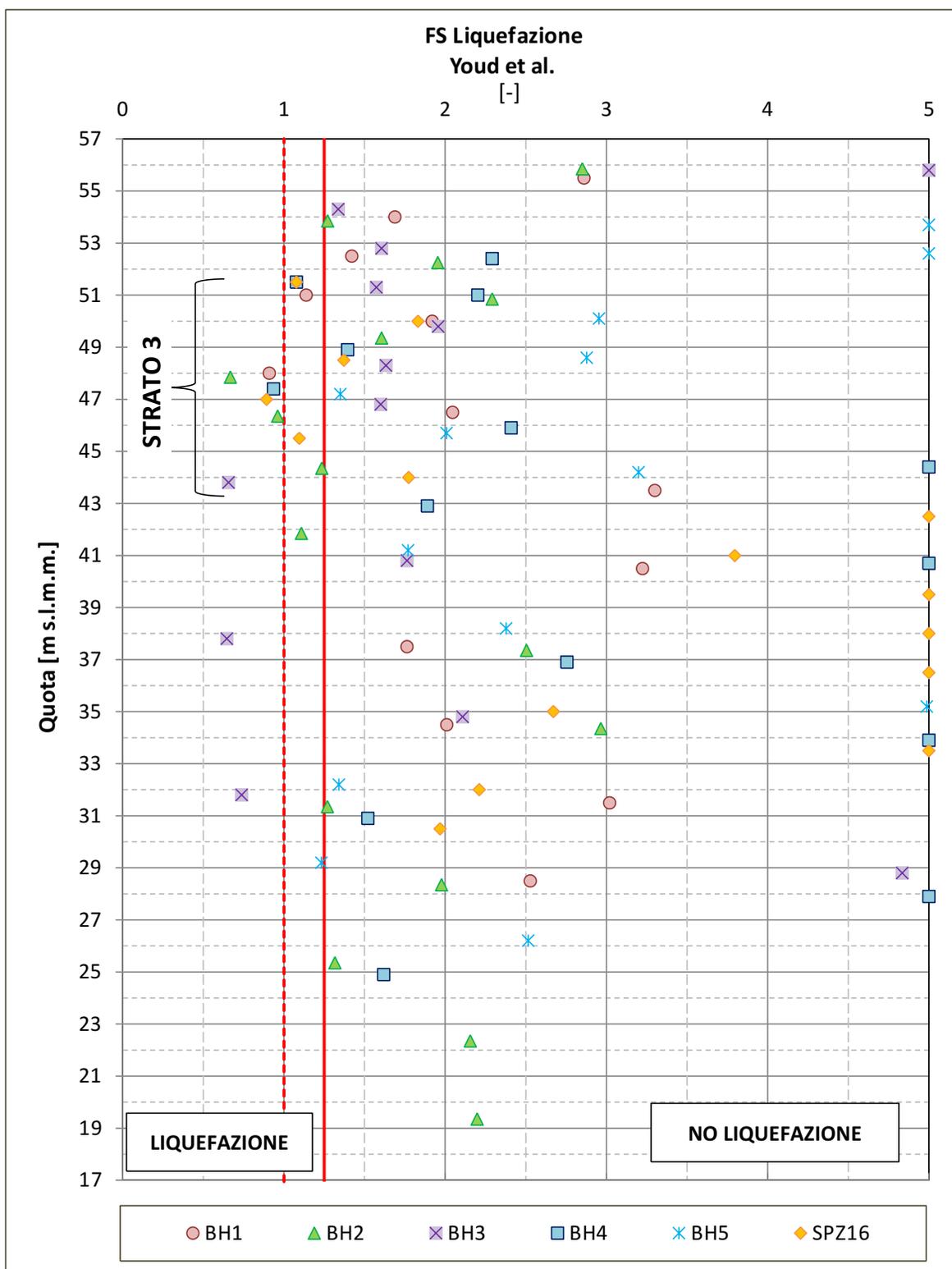


Figura 6.5.2 - Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione
(per terreni indagati con SPT, in funzione della quota assoluta)

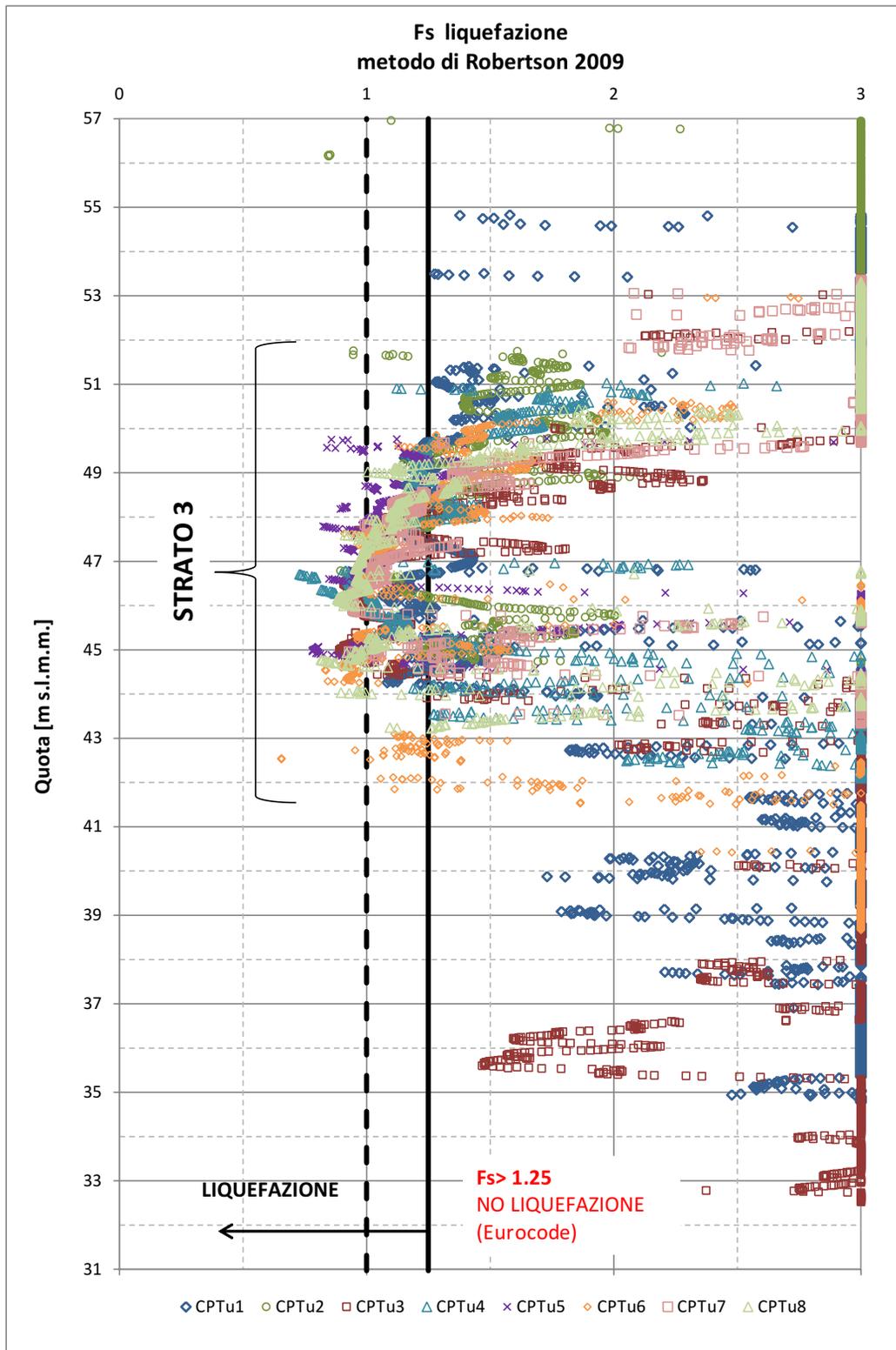


Figura 6.5.3 - Fattore di Sicurezza nei confronti del rischio di liquefazione
(per terreni indagati con CPTu, in funzione della quota assoluta)

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 37 of 42 <i>Pagina di</i>

7. FATTIBILITA' GEOLOGICA

Di seguito si riportano le valutazioni condotte per quanto riguarda la fattibilità delle opere 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;
- la classe di rischio idraulico residuale medio;
- l'alto valore di vulnerabilità dell'acquifero.

Questi aspetti si traducono, a livello della pianificazione urbanistica, nella classe di fattibilità attribuita al sito: "Aree a fattibilità geologica con limitazioni relativamente consistenti" per limitato rischio di esondazione. In particolare, per quest'area si prevede la possibilità di costruire previa valutazione del rischio idraulico e accertamenti geotecnici, in accordo alla normativa PAI e PTCP. Per quanto riguarda gli accertamenti geotecnici, si ritengono sufficienti i risultati dell'indagine geognostica aggiuntiva, descritta nel documento di riferimento [7].

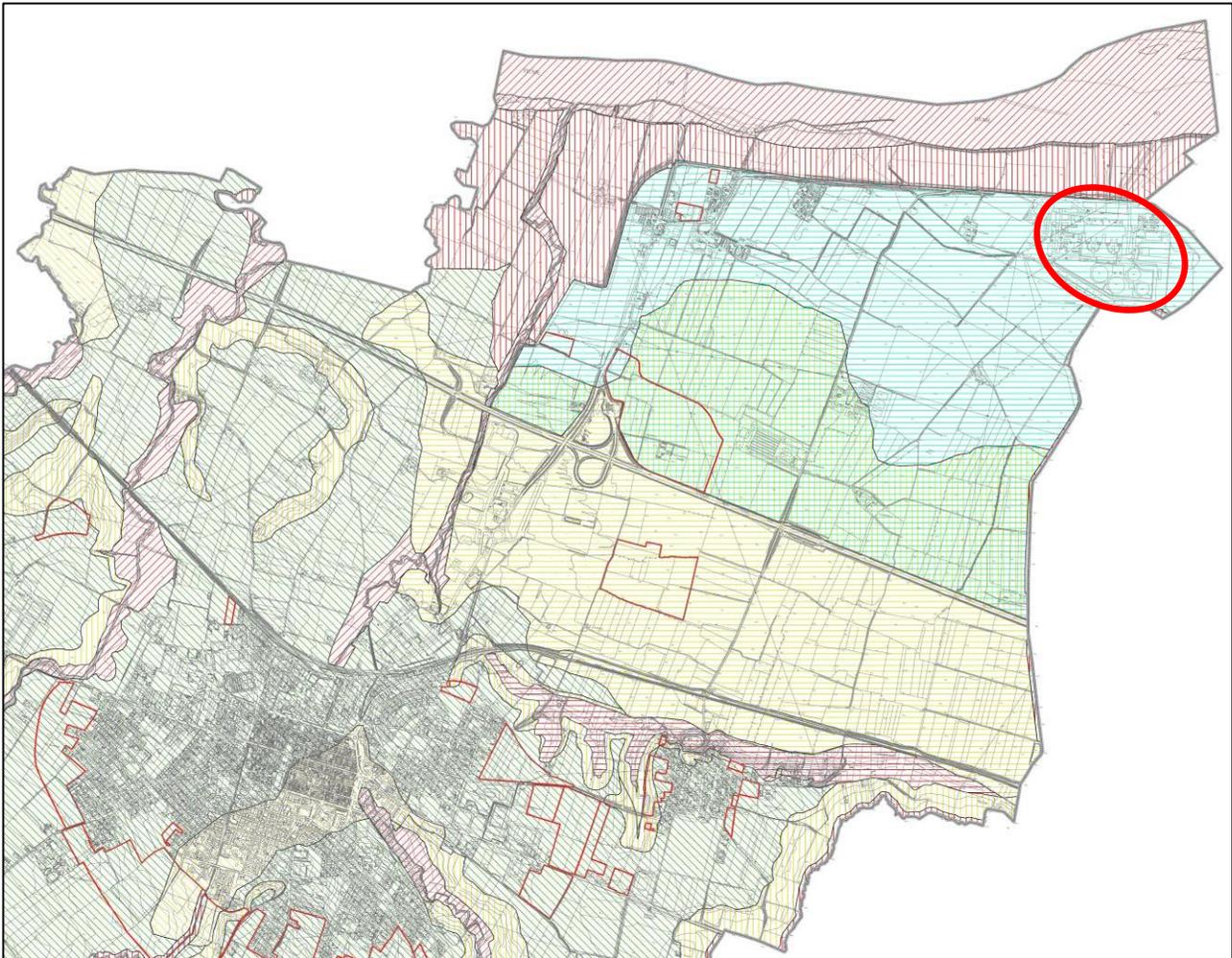
Per quanto riguarda il rischio idraulico, l'area si trova in fascia C del PAI, ed è caratterizzata da "Rischio Residuale Idraulico Medio" (R-RES2), essendo protetta da arginature e interessata da inondazioni conseguenti a piene catastrofiche. Come sottolineato nel PSC del comune di Castel S. Giovanni, alla stessa stregua di gran parte delle aree direttamente confinanti con il sistema arginale, l'area in questione è esposta a rischio di esondazione in caso di cedimento degli argini. Tale parametro, mutuato dal PAI e definito a valle delle recenti opere di messa in sicurezza dell'alveo (di qui la definizione di "residuale") stabilisce che la quota di riferimento per la verifica del rischio idraulico (determinata in sede di DTO n.19/2016 [5]) da considerare nella fascia C di interesse è pari a 60,33 m.

La NTS – Normativa Tecnica Strutturale all'interno del PSC recita (art. 40, comma 17): ... *omissis...* «le centrali di produzione energetica sono ammesse subordinatamente a verifica di accettabilità del rischio idraulico ai sensi dei commi 10 e 11 dell'Art. 10 delle NTA del PTCP»... *omissis...* Tale tematica è stata approfondita nello "Studio di Impatto Ambientale", documento CESI C0013426, allegato all'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale presentata da Enel per l'autorizzazione all'installazione dell'unità a gas oggetto di questa Relazione Geologica, che ha analizzato la compatibilità del progetto con gli Strumenti Urbanistici Comunali concludendo che: "... *omissis...* I vincoli presenti nel sito della centrale non risultano ostativi; anche per quel che concerne il rischio idraulico, in virtù degli interventi eseguiti sulle arginature e della ubicazione della centrale,

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 38 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

il rischio che interessa l'area di progetto è esclusivamente di natura residuale.. omissis...". Non risultano pertanto incompatibilità tra la pianificazione e il progetto in esame.

La figura 7.1 riporta uno stralcio della carta della fattibilità geologica per il comune di Castel San Giovanni.



Aree a fattibilità geologica con limitazione relativamente consistenti



Area a limitato rischio di esondazione

Aree a limitato rischio di esondazione coincidenti alla zona designata alla fascia C dal PAI costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Comprende anche la fascia di integrazione fluviale dei corsi d'acqua.

Edificabili nei casi previsti dalla normativa PAI e PTCP, previa valutazione del rischio idraulico ed accertamenti geotecnici.

Figura 7.1 – Carta di fattibilità geologica del PSC di Castel San Giovanni

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 39 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

8. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica viene redatta nell'ambito del progetto di costruzione di un nuovo impianto a ciclo combinato presso l'area della centrale elettrica E. Amaldi in località La Casella, nel comune di Castel San Giovanni (PC).

Dal punto di vista geolitologico l'area ricade nella bassa padana ed è perciò costituita da sedimenti alluvionali molto recenti (nella carta geologica Foglio 60 "Piacenza" vengono indicati come "a²" alluvioni recenti). La struttura tipica di questo tipo di depositi è una stratificazione con alternanze tra granulometrie grossolane e fini; questo è risultato evidente anche dall'analisi delle prove geotecniche consultate, le quali hanno evidenziato i seguenti livelli prevalenti (incluso lo stato di riporto superficiale):

- STRATO 1:** Materiale di copertura, eterogeneo, prevalentemente granulare, da mediamente addensato ad addensato. Spessore variabile da 1.5 a 5.0 metri circa.
- STRATO 2:** Limo argilloso, localmente debolmente sabbioso e con rara ghiaia.
- STRATO 3:** Sabbia eterogenea, da debolmente limosa a limosa, localmente debolmente ghiaiosa.
- STRATO 4:** Materiale prevalentemente sabbioso, che si presenta in livelli più grossolani (**4a**) o più fini (**4b**). Il sottolivello **4a** è costituito da sabbia eterogenea con ghiaia, da debolmente limosa a limosa. Il sottolivello **4b**, invece, consiste in sabbia eterogenea limosa.
- STRATO 5*:** Intercalazione coesiva localizzata, costituita da argille limose e limi sabbioso-argillosi.
- STRATO 6:** Sabbia fine, sciolta. Riscontrato solo nel più profondo BH2 da 19 m s.l.m. sino alla massima profondità indagata (17 m s.l.m.).

Le proprietà geotecniche del terreno sono state indagate tramite l'analisi di prove geotecniche pregresse condotte nell'area della centrale, dall'interpretazione delle quali sono stati ricavati la stratigrafia sopra descritta e i parametri geotecnici riportati nel capitolo 5. La caratterizzazione geotecnica di dettaglio è scopo di una relazione dedicata (rif. [1]).

La caratterizzazione sismica del territorio ha permesso di calcolare i parametri di base in ottemperanza alla normativa nazionale e alla DGR 630/2019.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 40 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

Le indagini condotte internamente all'area di progetto portano a classificare il terreno nella categoria di sottosuolo C: (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*).

Tuttavia la DGR sopramenzionata porta ad un parziale superamento della classificazione tramite le categorie di sottosuolo, dal momento che in ottemperanza a questa Delibera, il Comune di Castel San Giovanni si è dotato di uno studio di microzonazione sismica di secondo livello tramite il quale si attribuiscono ad alcune aree interne al perimetro comunale dei valori di fattore di amplificazione subordinati alle caratteristiche litostratigrafiche e sismiche dell'area. Il valore del parametro a_{max} calcolato in accordo a tale studio è pari a 0.2142 g ed il suo calcolo è descritto nel capitolo 6.3. La stessa DGR dichiara che i valori così calcolati possono rivelarsi sovrastimati e che eventualmente possono essere sostituiti dai risultati di valutazioni della risposta sismica locale.

Lo studio sismico è stato completato con una verifica del potenziale di liquefazione dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, dalla quale risulta che una parte del terreno indagato, assimilabile allo strato 3, è effettivamente suscettibile di liquefazione al verificarsi del sisma di riferimento.

Per quanto riguarda la fattibilità geologica, si possono evidenziare i seguenti accorgimenti da adottare:

- Data la permeabilità superficiale e la modesta soggiacenza della falda, si raccomanda di prendere ogni precauzione possibile per evitare la perdita di qualsiasi sostanza potenzialmente inquinante sulla superficie del terreno o direttamente nel sottosuolo, sia in fase di costruzione che di esercizio e di adottare adeguate opere di impermeabilizzazione delle eventuali strutture interrato che raggiungono il livello della falda;
- L'area si trova in fascia C del PAI, ed è caratterizzata da "Rischio Residuale Idraulico Medio" (R-RES2), essendo protetta da arginature e interessata da inondazioni conseguenti a piene catastrofiche. Come sottolineato nel PSC del comune di Castel S. Giovanni, alla stessa stregua di gran parte delle aree direttamente confinanti con il sistema arginale, l'area in questione è esposta a rischio di esondazione in caso di cedimento degli argini. Tale parametro, mutuato dal PAI e definito a valle delle recenti opere di messa in sicurezza dell'alveo (di qui la definizione di "residuale") stabilisce che la quota di riferimento per la verifica del rischio idraulico (determinata in sede di DTO n.19/2016 [5]) da considerare nella fascia C di interesse è pari a 60,33 m.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 41 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 42

- La NTS – Normativa Tecnica Strutturale all'interno del PSC recita (art. 40, comma 17): ... omissis... «le centrali di produzione energetica sono ammesse subordinatamente a verifica di accettabilità del rischio idraulico ai sensi dei commi 10 e 11 dell'Art. 10 delle NTA del PTCP»... omissis... Tale tematica è stata approfondita nello "Studio di Impatto Ambientale", documento CESI C0013426, allegato all'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale presentata da Enel per l'autorizzazione all'installazione dell'unità a gas oggetto di questa Relazione Geologica, che ha analizzato la compatibilità del progetto con gli Strumenti Urbanistici Comunali concludendo che: "... omissis... I vincoli presenti nel sito della centrale non risultano ostativi; anche per quel che concerne il rischio idraulico, in virtù degli interventi eseguiti sulle arginature e della ubicazione della centrale, il rischio che interessa l'area di progetto è esclusivamente di natura residuale.. omissis... Non risultano pertanto incompatibilità tra la pianificazione e il progetto in esame.

In conclusione, non si evidenziano controindicazioni alla realizzazione dell'opera in progetto, purché si seguano le regole dettate dalle normative, sopra riassunte, e dalla buona pratica.

CONSULET SERVIZI S.r.l.

	LA CASELLA CCGT	Document <i>Documento n.</i> PBITC00061
	RELAZIONE GEOLOGICA	REV. 00 12.07.21 Sheet 42 of <i>Pagina</i> di 42

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.