

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI
ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE
(POTENZA TOTALE=14,49 MWP)**

**SITUATO NEL COMUNE DI
CASTEL SANGIOVANNI (PC)**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geologica e Geotecnica

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello Prog.	Codice	Tipo doc.	N° elaborato	Nome file	Tipo elaborato	Scala
DEF	01CSG26	PDF	18	GEOL	REL	

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	10/06/2026	Prima emissione – Screening VIA	SS	MB	AB

PROGETTAZIONE



START ENGINEERING srl

Via per Rovato, 29/C - 25030 ERBUSCO (BS)

E-mail: info@starteng.it - mail PEC: startengineering@pec.it



RICHIEDENTE

RERE 62 S.R.L. PIAZZA BORROMEO, 14
20123-Milano (MI)
C.F./P.IVA 13936840969



Proprietà Intellettuale

Il presente documento è di proprietà esclusiva di Start Engineering S.r.l. (P.I. 04166670986), che ne detiene tutti i diritti di riproduzione, diffusione, distribuzione e alienazione, nonché ogni ulteriore diritto individuato dalla vigente normativa in materia di diritto d'autore. Il presente documento ed il suo contenuto non possono, pertanto, essere ceduti, copiati, diffusi o riprodotti, né citati, sintetizzati, o modificati, anche parzialmente, senza l'esplicito consenso di Start Engineering S.r.l..

Ogni prodotto o Società menzionati in questa relazione sono marchi dei rispettivi proprietari o titolari e possono essere protetti da brevetti e/o copyright concessi o registrati dalle autorità preposte.

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA	5
2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2.2. INQUADRAMENTO PAESAGGISTICO-MORFOLOGICO.....	6
2.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
2.4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
2.5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	11
2.6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	12
2.7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TECNICO.....	15
2.8. CLASSIFICAZIONE SISMICA	16
2.9. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE.....	17
2.10. VINCOLI	17
2.11. PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA	18
3. SCELTA DEL TERREMOTO E STIMA DEGLI EFFETTI DI SITO.....	20
3.1. PREMESSA	20
3.2. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	20
3.3. STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO	21
3.4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	22
3.5. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO.....	22
3.6. COEFFICIENTI SIMICI	22
3.6.1. <i>Coefficienti sismici fondazioni e stabilità dei pendii</i>	22
3.7. CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO	23
3.8. DETERMINAZIONE DEL SISMA DI PROGETTO	24
3.9. STIMA DELL'INCLINAZIONE DEL CARICO DOVUTA AD EVENTI SISMICI	26
4. MODELLO GEOTECNICO	28
4.1. INDAGINE GEOGNOSTICA IN SITO.....	28
4.1.1. <i>Breve descrizione dell'indagine effettuata</i>	28
4.1.2. <i>Stima dei valori caratteristici dei parametri geotecnici in sito</i>	28
4.2. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE	30
4.2.1. <i>Esclusione della verifica a liquefazione</i>	30
4.3. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE NEL SITO IN ESAME	30
5. CONCLUSIONI	31

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

1. PREMESSA

Su incarico della società **ReRe 62 S.r.l.**, è stato eseguito uno studio finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologiche dei terreni costituenti il sottosuolo di un lotto di terreno sito a **Castel San Giovanni (PC)** in **Strada del Sabbione s.n.c.** distinto ai **Mappali 30, 31, 34, 35** del **Foglio 5** e ai **Mappali 3, 15, 36, 37, 38, 39** del **Foglio 7** del C.C. di **Castel San Giovanni (PC)**, il quale sarà interessato dalla realizzazione di un nuovo impianto agrivoltaico.



Rendering impianto fotovoltaico

La presente relazione geologica e geotecnica costituisce uno studio preliminare delle caratteristiche dell'ambiente sottosuolo e idrico, due componenti necessarie alla definizione dello stato dell'ambiente naturale all'interno del quale sarà inserita l'opera in progetto.

I criteri e le procedure adottati per la redazione della presente relazione consentono di definire il modello geologico e geotecnico di sito con un approfondimento adeguato alla fase preliminare di studio ed in conformità ai seguenti dispositivi:

- I. paragrafi 6.2.1 e 6.2.2 del D.M. 17/01/2018 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- II. Deliberazione Giunta Regionale 30 novembre 2011 n. IX/2616.

Lo studio dell'area è stato effettuato mediante il reperimento e l'analisi delle fonti bibliografiche disponibili, nonché attraverso l'esame delle indagini geognostiche, delle prove e dei sondaggi reperiti nella banca dati del Geoportale della Regione Emilia-Romagna, al fine di inquadrare il sito dal punto di vista geologico e geomorfologico.

I dati reperiti sono serviti sia per la **definizione lito-stratigrafica** sia per la **parametrizzazione geotecnica dei terreni** che caratterizzano il **volume significativo di sottosuolo** che verrà influenzato dalle opere di fondazione.

Per le dimensioni e la tipologia della struttura si faccia riferimento alle tavole delle planimetrie, prospetti e sezioni del tecnico progettista.

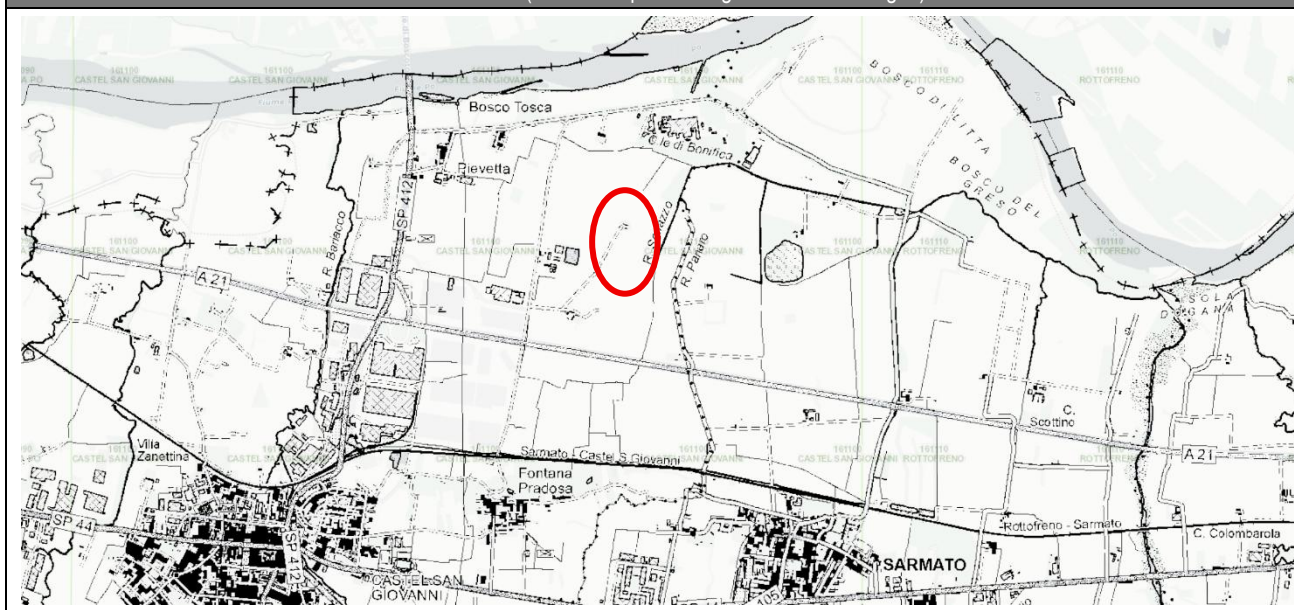
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

2.1. Inquadramento geografico

STRALCIO IMMAGINE SATELLITARE (Google Earth)



STRALCIO CTR 1:10.000 REGIONE EMILIA ROMAGNA (Fonte: Geoportale Regione Emilia Romagna)

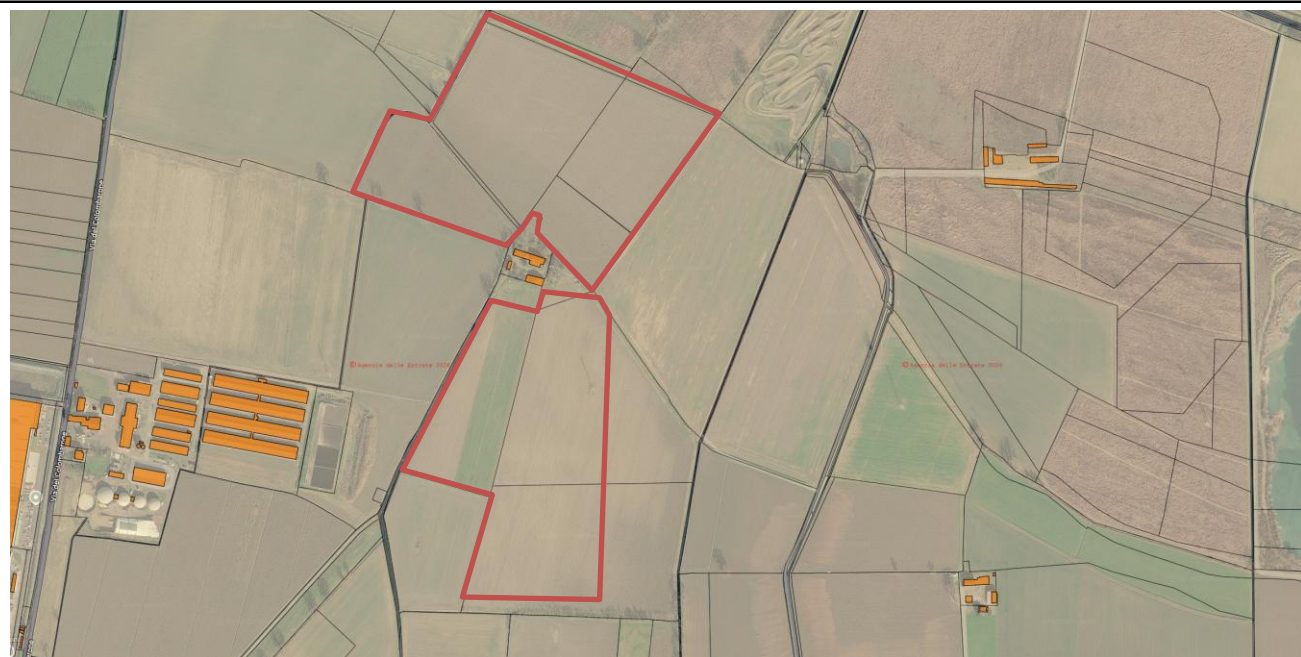


L'area oggetto dello studio si colloca nel settore nord orientale del territorio comunale di Castel San Giovanni (PC), in loc. Cascina Colombarolo, ad una altitudine di circa **50÷55 metri s.l.m.** ed insiste sui **Mappali 30, 31, 34, 35 del Foglio 5** e ai **Mappali 3, 15, 36, 37, 38, 39 del Foglio 7** del C.C. di **Castel San Giovanni (PC)**.

La topografia del sito di progetto si presenta sub-pianeggiante, con le quote debolmente degradanti da S verso N.

L'area è geograficamente rappresentata nella sezione n°**161100** della Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna (C.T.R. R.E.R.) alla scala 1:10.000 riportata a fondo pagina.

STRALCIO ESTRATTO MAPPA CATASTALE (Fonte: STIMATRIX forMaps – Agenzia delle Entrate)



Morfologicamente, l'area oggetto di intervento si colloca in un settore pianeggiante di pianura, in quella che in passato era un'area di divagazione del fiume Po. Il sito fa parte di una zona prevalentemente votata all'agricoltura e ha mantenuto le forme originarie del paesaggio.

Dal punto di vista **geografico**, Il territorio del Comune di Castel San Giovanni (PC), si sviluppa nella fascia di pianura padana compresa tra il margine collinare appenninico, che contraddistingue il settore meridionale del territorio stesso, ed il corso del Fiume Po, che ne rappresenta il limite settentrionale. La superficie occupata è di 44,704 Km² con una popolazione residente, al censimento 2001, di 11.962 abitanti. Confina ad Ovest con i comuni di Rovescala, San Damiano al Colle e Bosnasco (Provincia di Pavia) ed a nord con Arena Po e Pieve Porto Morone (Provincia di Pavia), ad est con il Comune di Sarmato, ed a sud con Borgonovo e Ziano Piacentino. I centri abitati principali, oltre al capoluogo sono rappresentati dalle frazioni: Bosco Tosca, Pievetta, Fontana Pradosa, Ganaghello e Creta.

A livello cartografico, il comune di Castel San Giovanni è coperto dalle seguenti tavole IGM a scala 1:10.000:

- 161100 "Castel San Giovanni";
- 161090 "Arena Po";
- 161130 "Ziano Piacentino";
- 161140 "Borgonovo Val Tidone".

2.2. Inquadramento paesaggistico-morfologico

Dal punto di vista **paesaggistico e morfologico** il territorio comunale può essere distinto di due macro unità di paesaggio, rappresentate dall'ambiente della zona pedecollinare appenninica nel settore meridionale e dall'ambiente di pianura alluvionale a nord.

La zona pedecollinare presenta i caratteri tipici della zona, caratterizzata da paleosuperfici, costituite da depositi alluvionali Pleistocenici ricoprenti sedimenti marini del Pliocene superiore, profondamente incise e smembrate dall'azione erosiva dei corsi d'acqua, che hanno finito per suddividerle in tanti costoni a sommità più o meno pianeggiante, delimitati lateralmente da scarpate di erosione fluviale anche terrazzate.

L'ambiente di piana alluvionale si differenzia in:

- *aree dell'alta pianura*, caratterizzate dai paesaggi morfologici delle conoidi più antiche e dai paesaggi perifluviali dell'alta pianura emiliana; queste presentano condizioni di notevole fragilità in relazione alla presenza di suoli permeabili ed alla conseguente vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo;
- *aree della bassa pianura*, in cui si individua un'antica depressione morfologica compresa tra la pianura pedemontana e la fascia a meandri del Fiume Po, che occupa il settore nord-orientale prossimo al corso d'acqua.

Sotto l'aspetto idraulico il Fiume Po rappresenta ovviamente l'elemento idrografico principale, con i suoi tributari, che da ovest verso est sono costituiti dal Rio Bardoneggia, Rio Carogna Rio Lora e Rio Boriacco-Rio Carona.

2.3. Inquadramento geologico

Dal punto di vista **tettonico-strutturale**, la storia geologica dell'Appennino è iniziata nell'Eocene inferiore-medio, circa 50 milioni di anni fa, quando la collisione continentale tra il margine Africano e quello Europeo diede origine all'orogenesi appenninica; da questo punto in avanti si realizza l'impostazione e l'impilamento di tutte le unità tettoniche che hanno determinato l'attuale assetto geologico dell'Appennino Piacentino e del bacino di sedimentazione padano.

L'Appennino piacentino è costituito da un complesso edificio di strutture geologiche, denominate unità tettoniche, intendendo con questo termine dei corpi rocciosi delimitati alla base da una superficie di movimento che ne abbia determinato l'alloctonia; nel complesso l'assetto strutturale della catena è rappresentato dalla sovrapposizione di queste unità secondo un modello generale di thrust vergenti verso nord-est.

La fascia di pianura si estende dal margine meridionale del pedeappennino fino all'asse del Fiume Po e comprende le unità sedimentate dal Miocene superiore (6-7 milioni di anni fa) fino ai giorni nostri; nonostante questa non presenti in superficie nessun elemento per definire l'assetto strutturale delle unità, il sottosuolo è caratterizzato da una serie di superfici di distacco che lo dividono in diversi corpi cuneiformi secondo un modello di embrici est vergenti.

Sotto l'aspetto strutturale, infatti, la pianura emiliana è compresa nell'arco delle pieghe emiliane, caratterizzate da due distinti fasci di thrust a vergenza appenninica: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.), definisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F.), definisce il limite dell'Appennino sepolto. Pertanto il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Fiume Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta come si evidenzia nello schema strutturale seguente.

Il Dominio Padano - adriatico è rappresentato dalla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico che si presenta nel suo complesso come un ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo, costituito alla base da depositi continentali, seguiti da depositi francamente marini e con al tetto ancora depositi continentali. Nell'area in esame la successione può essere suddivisa in tre gruppi di unità geologiche separate da importanti superfici di discontinuità stratigrafica e caratterizzate da depositi litologicamente e tessituralmente differenti.

Dal punto di vista **geologico**, nell'area di interesse e lungo il margine appenninico padano affiorano i depositi ascrivibili all'Allogruppo Emiliano-Romagnolo, che viene suddiviso in due unità principali, denominate come segue:

- Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore, AES;
- Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore, AEI.

Queste due unità sono state riconosciute e correlate come sequenze deposizionali su tutta la pianura emiliano-romagnola, utilizzando i profili sismici e i pozzi dell'AGIP, risultando separate, in corrispondenza del margine appenninico, da una superficie di discontinuità, spesso con discordanza angolare ed erosione, testimonianza di una fase tettonica regionale databile alla fine del Pleistocene inferiore.

Il contesto geodinamico locale in cui si sviluppa l'Allogruppo Emiliano Romagnolo è quello di un bacino di piggyback adiacente all'avanfossa padana, allungato in senso SE – NO e limitato a tergo (SO) e sul fronte (NE) da due archi di strutture compressive (rispettivamente: Fronte di accavallamento pedeappenninico PTF e Fronte di accavallamento esterno ETF) fortemente attive. Fino a quando il sollevamento del margine appenninico determinato dal PTF risulta tale da continuare a produrre una forte subsidenza relativa del bacino di piggyback posto ai suoi piedi, in quest'ultimo persistono le condizioni per

avere prevalente aggradazione sedimentaria. A questa fase corrisponde la deposizione dei sedimenti di piana e conoide alluvionale distale appartenenti all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore. Nel momento in cui diminuisce la subsidenza relativa del bacino di piggyback, come conseguenza del forte sollevamento regionale prodotto in corrispondenza dell'ETF, si determinano significativi spostamenti verso Nord del margine appenninico e quindi si assiste allo sviluppo di depositi di conoide alluvionale, terrazzati. Quest'ultimi, nel loro insieme, costituiscono l'Alloformazione Emiliano Romagnola Superiore.

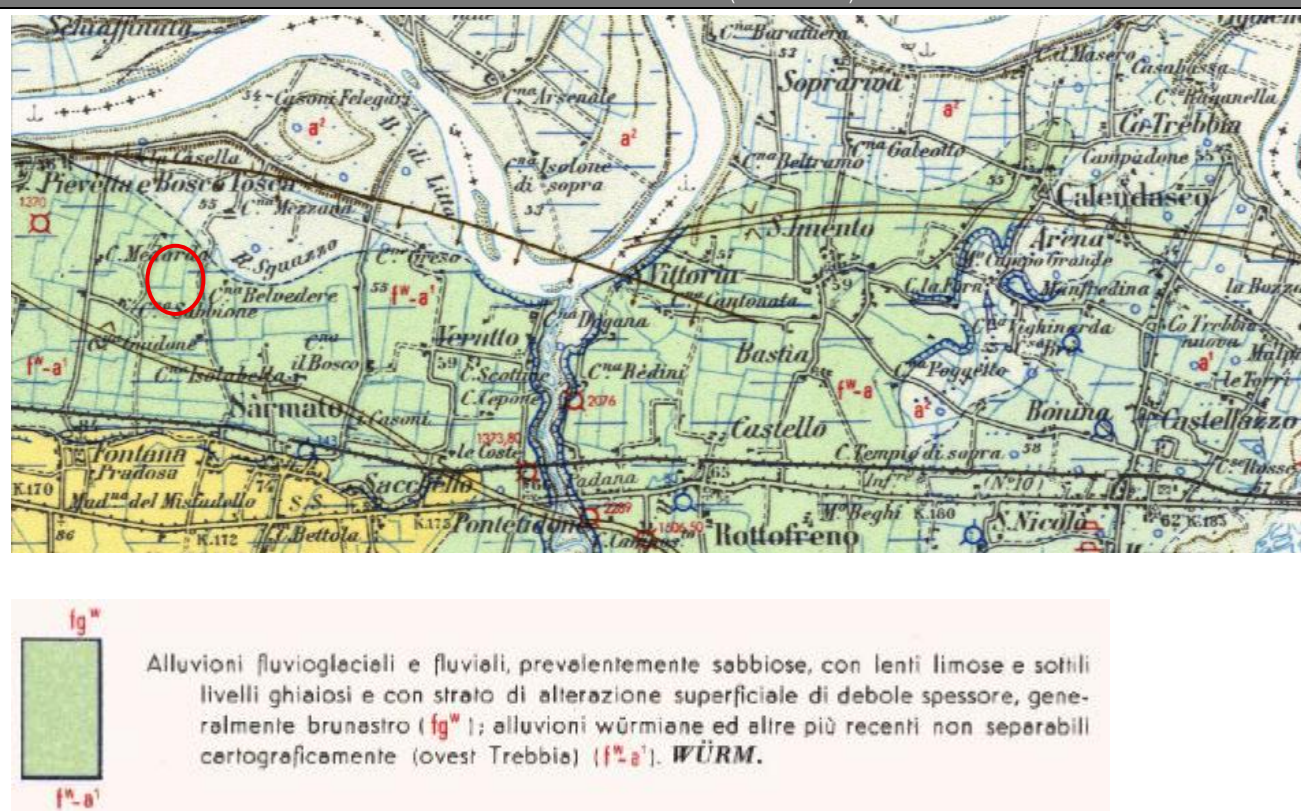
L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES), è un'unità alluvionale, terrazzata, costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide.

L'età complessiva dell'unità è Pleistocene medio - Olocene.

Come riferito in precedenza l'AES risulta suddivisibile in 5 allomembri, affioranti a quote progressivamente decrescenti lungo il margine appenninico; in ordine crescente di età:

- Allomembro di Ravenna;
- Allomembro di Villa Verucchio;
- Allomembro di Agazzano;
- Allomembro di Maiatico;
- Allomembro di Monterlinzana.

STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100.000 – FOGLIO 60 "PIACENZA" (fonte: ISPRA)

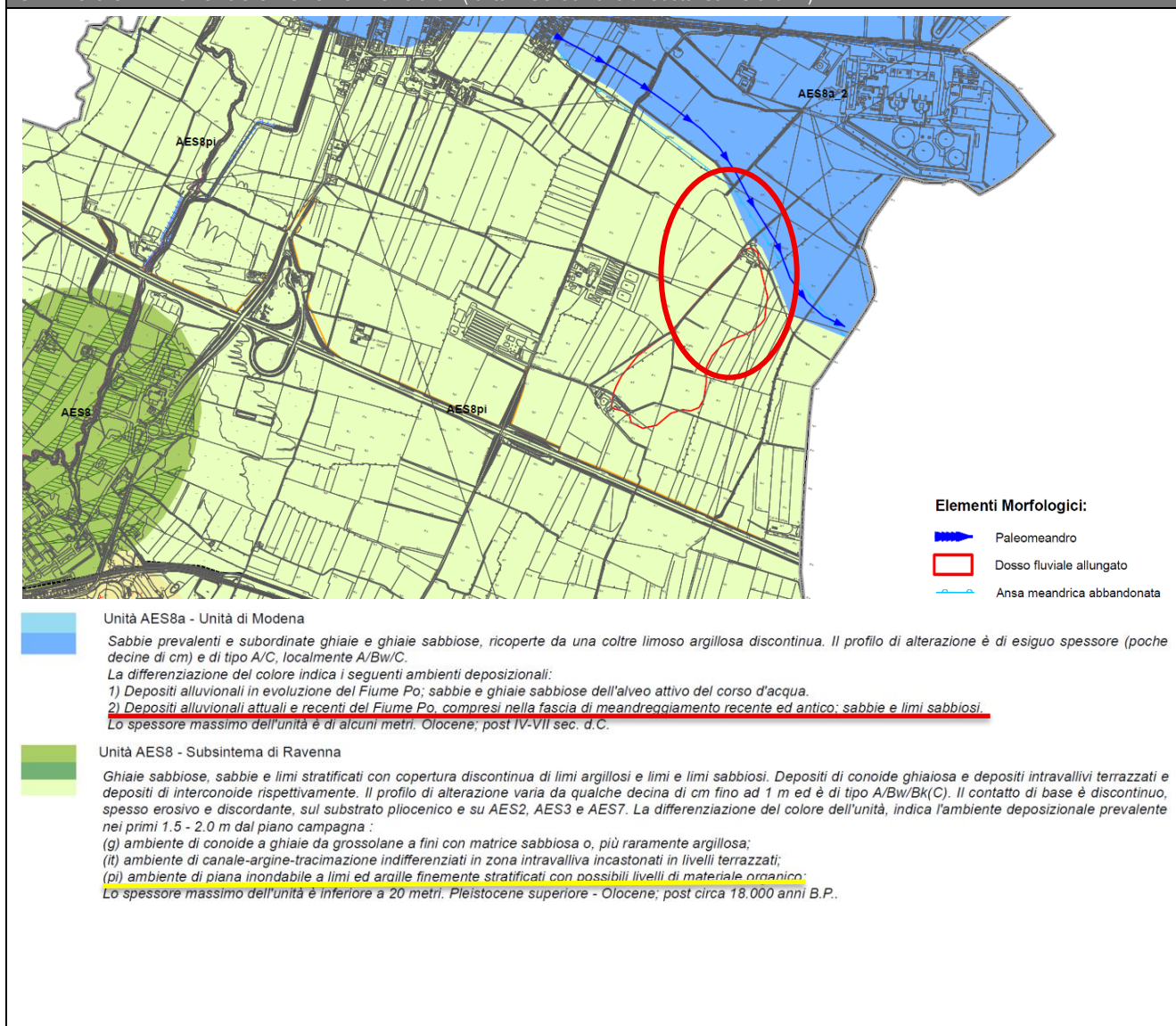


Nel sito oggetto di studio i depositi presenti superficialmente risultano ascrivibili, come cartografato nel **Foglio 60 "PIACENZA" della Carta Geologica d'Italia 1:100.000** (ISPRA) riportato nella pagina corrente, ai depositi alluvionali würmiani (f^w-a¹) ed altre alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con limi lenti e sottili livelli ghiaiosi.

Per quanto riguarda la cartografia a scala più piccola è stata esaminata la **Carta Geologica-Geomorfologica** del Piano Strutturale Comunale del Comune di Castel San Giovanni. Dall'analisi dell'estratto riportato nella pagina seguente, si apprende che i depositi presenti nell'area in cui verranno inserite le opere in progetto si suddividono in:

- **AES8a – Unità di Modena**, costituita da sabbie prevalenti e subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. Il profilo di alterazione è esiguo (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C. Nello specifico qui sono indicati depositi alluvionali attuali e recenti del Fiume Po, compresi nella fascia di meandraggiamento recente ed antico, sabbie e limi sabbiosi;
- **AES8 – Subsistema di Ravenna**, costituito da 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. Nello specifico, in sito si individuano depositi di ambiente di piana inondabile a limi ed argille finemente stratificati con possibili livelli di materiale organico.

STRALCIO CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA (fonte: PSC Comune di Castel San Giovanni)



2.4. Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico, il settore meridionale del territorio in esame, mostra i tipici lineamenti del paesaggio di bassa collina, situato in prossimità del margine collinare appenninico, modellato in terreni marini del Pliocene superiore, ricoperti dai depositi alluvionali Pleistocenici, costituenti paleosuperfici in stato di più o meno avanzata alterazione. Tali superfici risultano profondamente incise e smembrate dall'azione erosiva dei corsi d'acqua, che hanno finito per suddividerle in costoni di ampiezza ridotta ed a sommità più o meno pianeggiante, delimitati lateralmente da scarpate di erosione fluviale, il cui angolo di declivio naturale è strettamente connesso alla natura e alla degradabilità dei materiali che le compongono.

La fascia di pianura, che si è formata con il contributo del materiale eroso e trasportato dai corsi d'acqua appenninici, può essere schematicamente suddivisa in due fasce principali, in base anche alla distribuzione granulometrica dei sedimenti, disposte parallelamente al margine appenninico:

aree dell'alta pianura, caratterizzate dai paesaggi morfologici delle conoidi più antiche e dai paesaggi perfluviali dell'alta pianura emiliana; queste presentano condizioni di notevole fragilità in relazione alla presenza di suoli permeabili ed alla conseguente vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo;

aree della bassa pianura, in cui si individua un'antica depressione morfologica compresa tra la pianura pedemontana e la fascia a meandri del Fiume Po, che occupa il settore nord-orientale prossimo al corso d'acqua.

La pianura presenta nel complesso una lieve immersione da SSO a NNE, con pendenze generalmente dell'ordine dell'1-2%, che diventano più accentuate nelle fasce corrispondenti alle scarpate morfologiche di terrazzo o alle incisioni vallive dei corsi d'acqua appenninici principali.

La sedimentazione, legata all'idrografia, modella la pianura e definisce la morfologia della stessa; lungo le aste fluviali la velocità delle acque si riduce progressivamente dall'apice della conoide a valle, influenzando di conseguenza la capacità di trasporto del corso d'acqua, e portando, nello stesso senso, a una diminuzione della granulometria dei depositi.

L'alta pianura è caratterizzata da alternanze irregolari di depositi alluvionali ghiaiosi con lenti limoso-argillose localmente prevalenti, organizzate in diversi ordini di terrazzi correlabili con le cicliche variazioni climatiche quaternarie. Il limite settentrionale della fascia di alta pianura è rappresentato da un'evidente scarpata morfologica, che nella zona di Fontana Pradosa raggiunge un'altezza di circa 20 m rispetto alla piana sottostante.

Più a valle, nella bassa pianura alluvionale, si rinvencono depositi con granulometrie eterogenee, per lo più fini, presentanti uno spessore variabile con alternanze a geometria lentiforme di argille di decantazione, siltiti e sabbie fini di tracimazione, sabbie e ghiaie, localizzate lungo i tracciati dei paleoalvei. I passaggi laterali di facies sono frequenti e netti, mentre i corsi d'acqua corrono principalmente incassati nella pianura circostante.

La rete idrografica principale (rappresentata da ovest ad est dai corsi del Torrente Bardoneggia, Rio Gambero - Rio Cavo - Rio Carogna, Rio Torto, Rio Lora, Rio Carona, Rio Boriacco e Rio Panaro) è caratterizzata da un orientamento complessivamente perpendicolare all'asse di rilievo (dorsale appenninica), con sottobacini stretti e lunghi corrispondenti ai principali torrenti, che presentano percorsi subparalleli; infatti lo schema strutturale insiste su una disposizione dei gruppi geostutturali con un'orientazione ESE- WNW, mentre quello dei corsi d'acqua è SSW-NNE.

I corsi d'acqua presentano generalmente incisioni strette ed incassate, con andamento generalmente sinuoso, in conseguenza della ridotta portata di pertinenza.

Tra le forme paleofluviali rinvenibili nel territorio comunale, rientrano le tracce di idrografia abbandonata individuabili sia nelle zone pianeggianti (in questo scarsamente visibili) sia in rilievo (dossi fluviali), probabilmente attribuibili o ad antichi percorsi fluviali, con caratteristiche geometriche sovradimensionate rispetto a quelle attuali, o ad idrografia secondaria di età più recente.

In particolare nella fascia di meandreaggiamento del Fiume Po, posta a nord della scarpata si individua esclusivamente un lembo di un paleomeandro antico, posto a nord di C.na Colombarolo.

Dall'analisi dell'estratto della **Carta geologica-geomorfologica** del PSC comunale vigente riportato nella pagina precedente, è possibile effettuare notare che:

- Dalla zona centrale al margine meridionale, l'area di studio insiste su un dosso fluviale allungato;
- Nel settore settentrionale dell'area di studio, è indicata la presenza di un paleomeandro e di un'ansa meandrica abbandonata, entrambe con orientazione NW-SE.

2.5. Inquadramento idrografico

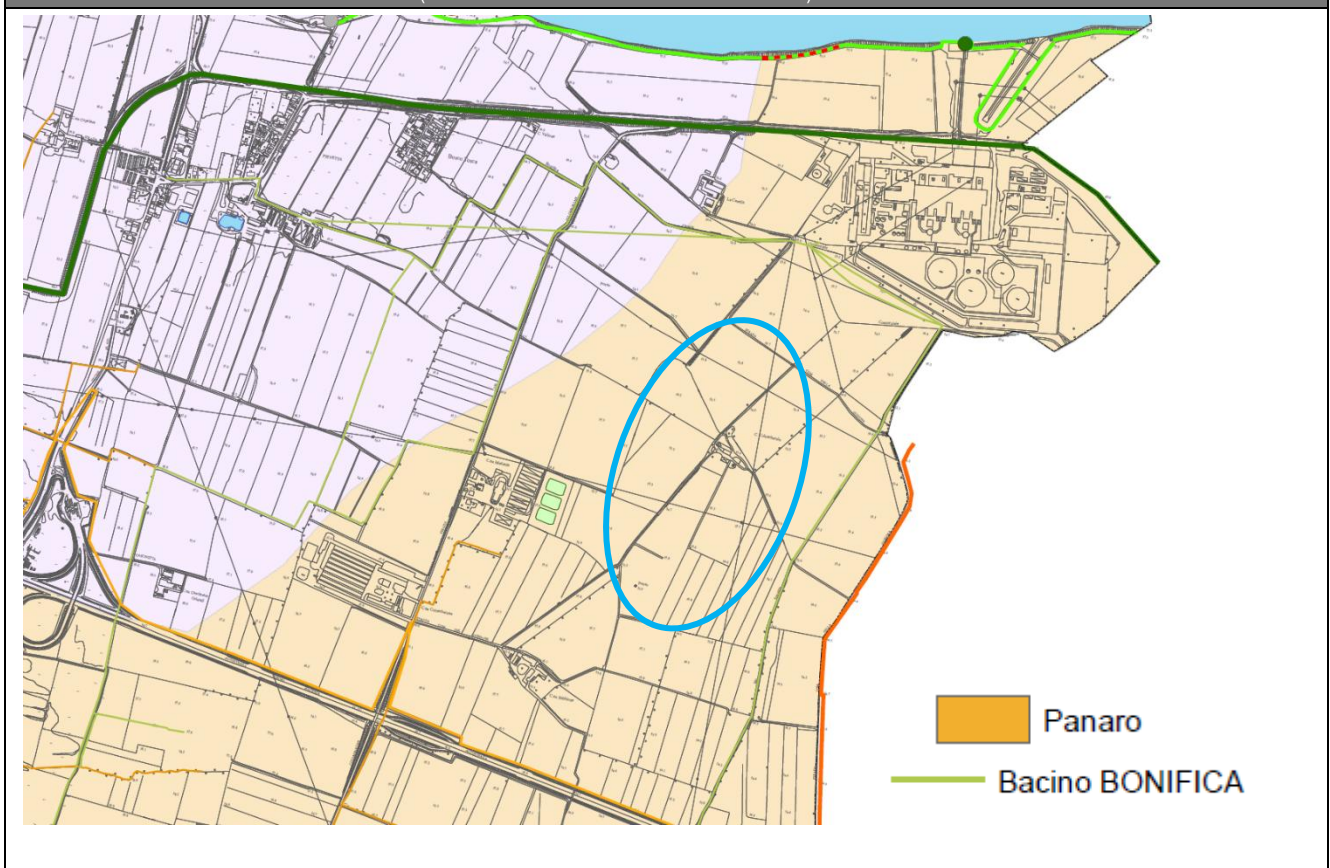
Per quanto concerne l'**idrografia di superficie**, il territorio del comune di Castel San Giovanni è interessato da un reticolato idrografico ben sviluppato, rappresentato dai corsi d'acqua di provenienza appenninica, affluenti di destra del Fiume Po, aventi tipico decorso subparallelo con orientamento prevalente rivolto a N-NE.

L'elemento idrografico principale è rappresentato ovviamente dal Fiume Po che rappresenta il limite nord del territorio comunale; gli affluenti sono rappresentati da ovest verso est dal:

- Torrente Bardoneggia;
- Rio Gambero - Rio Cavo – Rio Carogna;
- Rio Torto - Rio Lora – Rio Carona – Rio Boriacco;
- Rio Panaro.

Dalla presa visione della **Carta del Reticolo Idrico** del PSC comunale vigente, l'area di studio ricade nel bacino di drenaggio superficiale del Rio Panaro, in sinistra idrografica rispetto allo stesso, che scorre ad una distanza di poche centinaia di metri dal confine est dell'area.

STRALCIO CARTA DEL RETICOLO IDRICO (fonte: PSC Comune di Castel San Giovanni)



2.6. Inquadramento idrogeologico

Dal punto di vista **idrogeologico** la porzione di Pianura Padana in esame risulta costituita da un bacino con substrato terziario e quaternario riempito da depositi di origine fluvioglaciale e dalle alluvioni dei corsi d'acqua olocenici, rappresentati da alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille, a struttura difficilmente riconducibile a schemi geometrici ben definiti, che ospitano falde libere, artesiane e semiartesiane.

In questa fascia di pianura i depositi continentali costituenti il materasso alluvionale, passano in profondità ai depositi neogenici tettonizzati, attraverso una successione argilloso-sabbiosa, a tratti ghiaiosa, in facies marina e talora salmastra (Quaternario marino secondo l'Agip Mineraria), che hanno rappresentato la fase iniziale di colmamento delle depressioni strutturali.

Gli ultimi e più recenti studi condotti dalla R.E.R. tramite il Progetto CARG, hanno portato ad una nuova definizione dei depositi pleistocenici ed olocenici della pianura emiliano-romagnola, finalizzata alla caratterizzazione degli acquiferi principali, basata su un'attenta verifica delle stratigrafie dei pozzi idrici e non esistenti e sui caratteri petro-geologici dei depositi stessi.

Nell'ambito del modello stratigrafico-idrogeologico dell'intera Pianura Padana emiliano-romagnola, vengono distinte e cartografate a scala regionale 3 Unità Idro-stratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi di Acquiferi A, B e C, che affiorano sul margine meridionale del Bacino padano e si immergono verso nord, al di sotto dei sedimenti depositi dal fiume Po e dai suoi affluenti nell'Olocene (ultimi 20.000 anni circa), contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale).

I corpi geologici che fungono da serbatoio idrico (= acquifero) sono costituiti da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi di origine deltizia, litorale e alluvionale, depositi dai fiumi appenninici a partire da circa 3,5 milioni di anni fa.

Ciascun Gruppo di Acquiferi, risulta relativamente ben separato dagli altri sotto il profilo idraulico, grazie a spessi livelli argillosi ed è rappresentato da diversi serbatoi acquiferi sovrapposti o giustapposti, suddivisi in Complessi e Sistemi Acquiferi.

Nell'ambito del territorio di Castel San Giovanni è possibile riassumere il seguente quadro idrogeologico:

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CROCEOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE																
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO															
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI OLIVATELLO	UNITÀ DI VALA DEL BOSCO	UNITÀ DI CA' DI SCOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLLO SUPERIORE	UNITÀ DI BORGO PANIGALE	DILAZIONE DI POGGIOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.12	-0.35-0.45	-0.65	-0.8	-1.0	-2.2	-3.3-3.6	-3.9	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	PLEISTOCENE MEDIO	A	A ₁
																						A ₂
	A ₃																					
	A ₄																					
QUATERNARIO MARINO	MELAZZANO SABBIE & CASTELVETRO p.p. SABBIE DELL'E & RAVOLA p.p.	MELAZZANO & CALABRANO p.p. SABBIE & CASTELVETRO p.p. SABBIE DELL'E & RAVOLA p.p.	CALABRANO p.p. SABBIE & MONTERICCIO FORMAZIONE DI TERRA DEL SOLE p.p.	CALABRANO p.p. FORMAZIONE DI CASTELLARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	FLUCCONE INFERIORE	FLUCCONE MEDIO / SUPERIORE	FLUCCONE INFERIORE MODERNO	C	B ₁									
													B ₂									
													B ₃									
													B ₄									
P ₂	FORMAZIONE DI CASTELLARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL FLUCCONE MEDIO-SUPERIORE	FLUCCONE INFERIORE	FLUCCONE MEDIO / SUPERIORE	FLUCCONE INFERIORE MODERNO	FLUCCONE INFERIORE MODERNO	C ₁															
								C ₂														
													C ₃									
													C ₄									
													C ₅									

- i serbatoi acquiferi del Bacino Idrogeologico della Pianura Padana si formano a partire da circa 1 milione di anni fa, dapprima all'interno di un sistema deposizionale di delta- conoide alluvionale (Gruppo Acquifero C3) e quindi, nel Pleistocene medio e superiore, all'interno di piane e conoidi alluvionali attribuibili ai corsi d'acqua appenninici (Gruppi Acquiferi B e A);

- gli elementi che condizionano la formazione delle conoidi alluvionali e l'evoluzione del drenaggio appenninico sono l'evoluzione strutturale della catena appenninica e le oscillazioni climatiche quaternarie;
- i depositi grossolani ascritti al Gruppo Acquifero C3 costituiscono serbatoi acquiferi di grande estensione, solitamente in pressione, intercalati da barriere di permeabilità di notevole spessore e continuità, la cui correlazione è estendibile a tutta l'alta pianura;
- i Gruppi Acquiferi B e A, di origine alluvionale, non costituiscono un acquifero monostrato indifferenziato, ma risultano molto complessi e più articolati del Gruppo C, con numerosi livelli idrici sovrapposti e giustapposti.

Facendo riferimento alle informazioni contenute nello studio commissionato dalla Regione Emilia Romagna, ENI - AGIP "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna", pubblicato nel 1998, il Gruppo Acquifero A, che contiene i livelli acquiferi generalmente captati per uso potabile o produttivo, si estende in modo degradante dal margine collinare verso l'asse padano, passando da profondità di pochi metri (nel settore di Creta) fino a circa - 60 m. dalla superficie al limite nord-est del territorio comunale.

Lo spessore cumulativo dei livelli permeabili mediamente minore di 20 m. tende ad aumentare procedendo in direzione della valle del Fiume Po, in relazione all'aumento dei sedimenti sabbiosi legati alla sedimentazione del corso d'acqua.

Tali considerazioni trovano conferma nelle stratigrafie dei pozzi idrici perforati nella zona.

Sulla base dei dati a disposizione il Gruppo Acquifero B assume importanza ridotta nel settore padano in esame, con prevalenza di sedimenti impermeabili e spessore degli orizzonti acquiferi sostanzialmente nulla.

La struttura dei corpi acquiferi risulta condizionata dalla presenza dell'alto strutturare corrispondente all'allineamento "Sperone di Stradella" - Colle di San Colombano, collocato poco a ovest del territorio di Castel San Giovanni, dove si verifica un sollevamento della struttura appenninica che determina un assottigliamento del materasso alluvionale della valle padana.

In relazione agli studi idrogeologici condotti da Arpa nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque sono distinguibili due complessi idrogeologici connessi a differenti sistemi deposizionali, riferibili alle conoidi alluvionali "intermedie" del Tidone e dei corsi d'acqua minori (Carona e Bardoneggia) ed alla pianura alluvionale padana.

I due complessi trovano separazione in corrispondenza della scarpata morfologica, ben individuabile a nord di Fontana Pradosa, che separa i ripiani alluvionali più antichi connessi all'attività deposizionale dei corsi d'acqua appenninici dalla piana alluvionale riferibile all'attività del Fiume Po.

Per quanto riguarda la **soggiacenza della prima falda**, il territorio comunale è risultato suddiviso in quattro settori contrassegnati da valori di soggiacenza compresi rispettivamente tra:

- 0-2 m comprendente il settore nord-orientale compreso tra la ferrovia PC-TO e l'autostrada A21, ed alcuni settori posti in corrispondenza delle depressioni valliformi occupate da Rio Lora, Rio Carona, Rio Cavo, Rio Gambero e Rio Bardoneggia;
- 2-4 m costituente un'ampia fascia di transizione tra il settore precedente e le fasce della pianura più sopraelevate in quota; comprende anche la porzione di bassa pianura più prossima alla fascia golenale del Fiume Po;
- 4-8 m rappresentano la fascia di transizione al settore dei pianalti e di pedecollina;
- > 8 m corrisponde ai settori sommitali dei pianalti antichi e della pedecollina.

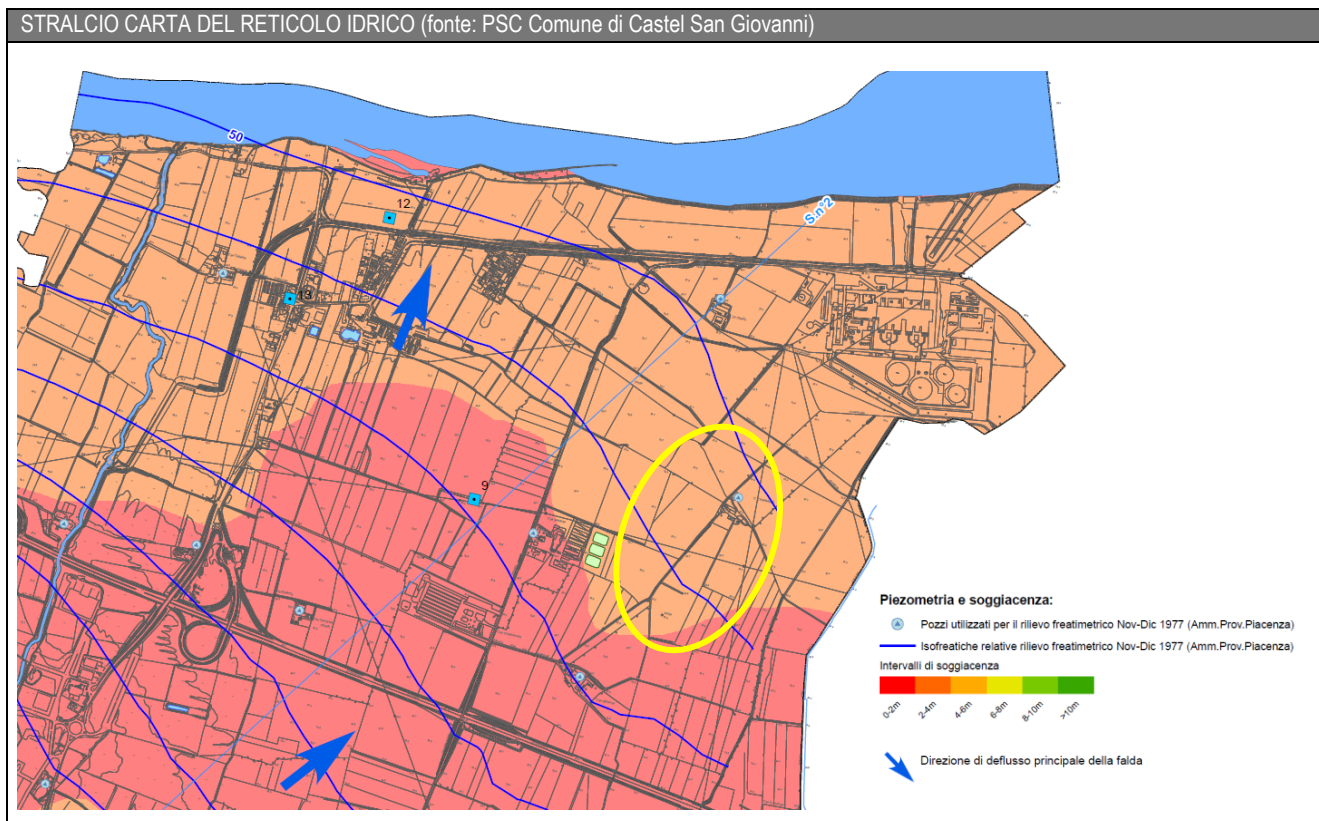
L'andamento della superficie piezometrica risulta abbastanza regolare, con gradiente decrescente da monte verso valle; nei settori intravallivi, si riscontra un gradiente variabile tra 0,07÷0,09%, per scendere al 0,04 % nel settore di bassa pianura a nord dell'abitato di Castel San Giovanni.

La direzione di deflusso, avente orientamento prevalente verso NE, subisce modificazioni in corrispondenza dalla piana a meandri posta nel settore nord orientale del territorio comunale, influenzata da alimentazioni di subalveo del fiume Po.

Le irregolarità dell'andamento delle curve isofreatiche sono attribuibili a locali variazioni della trasmissività dei depositi alluvionali costituenti la struttura idrogeologica, che si presenta irregolare e discontinua.

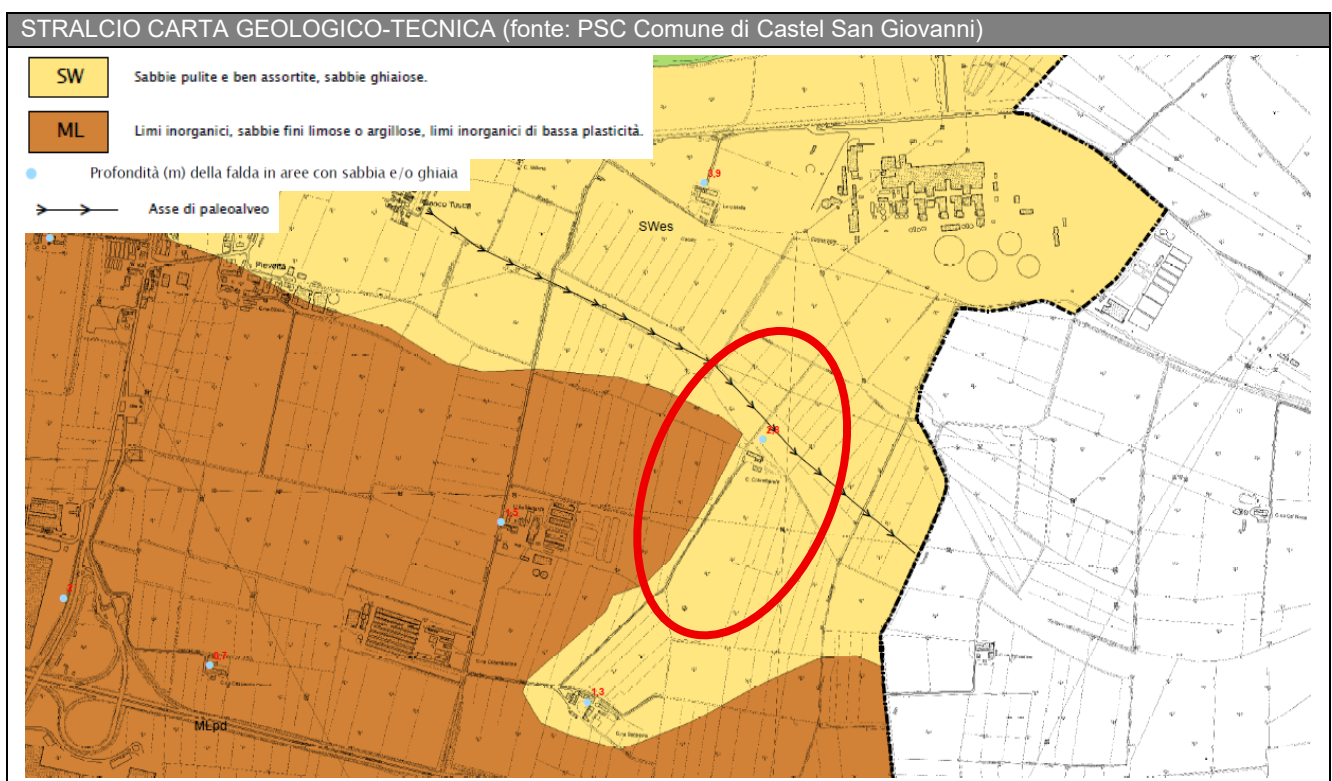
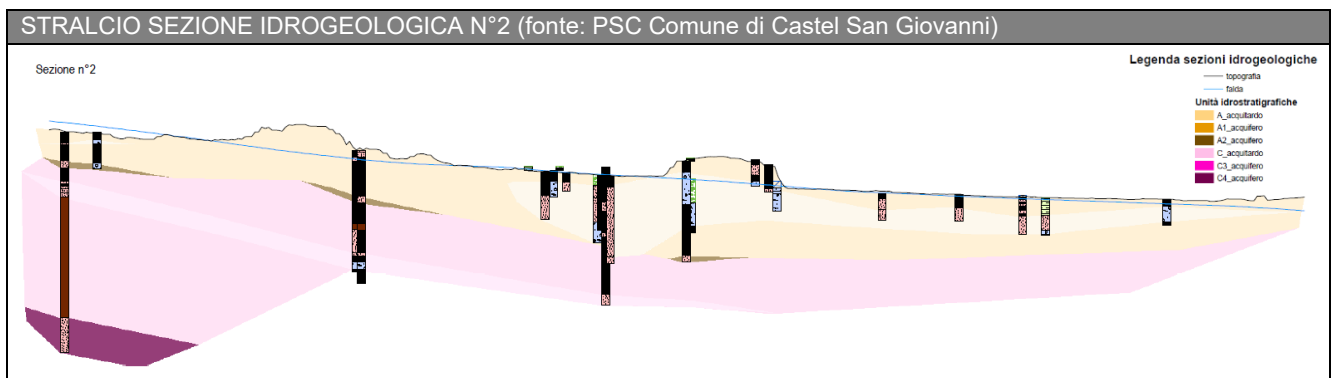
Dall'esame della **Carta idrogeologica** del PSC comunale vigente emerge che la quota altimetrica della prima falda è pari a circa 50÷52 m s.l.m.; quindi, la soggiacenza della prima falda si attesta a circa 2.00÷4.00 m di profondità dal p.c.

Di seguito viene riportata, per completezza, anche la **Sezione Idrogeologica n°2**, la cui traccia passa circa 350 m ad ovest del sito oggetto di indagine. Si considera tale sezione rappresentativa del sottosuolo dell'area di studio, in merito ai rapporti stratigrafici delle unità idrogeologiche.



2.7. Inquadramento geologico-tecnico

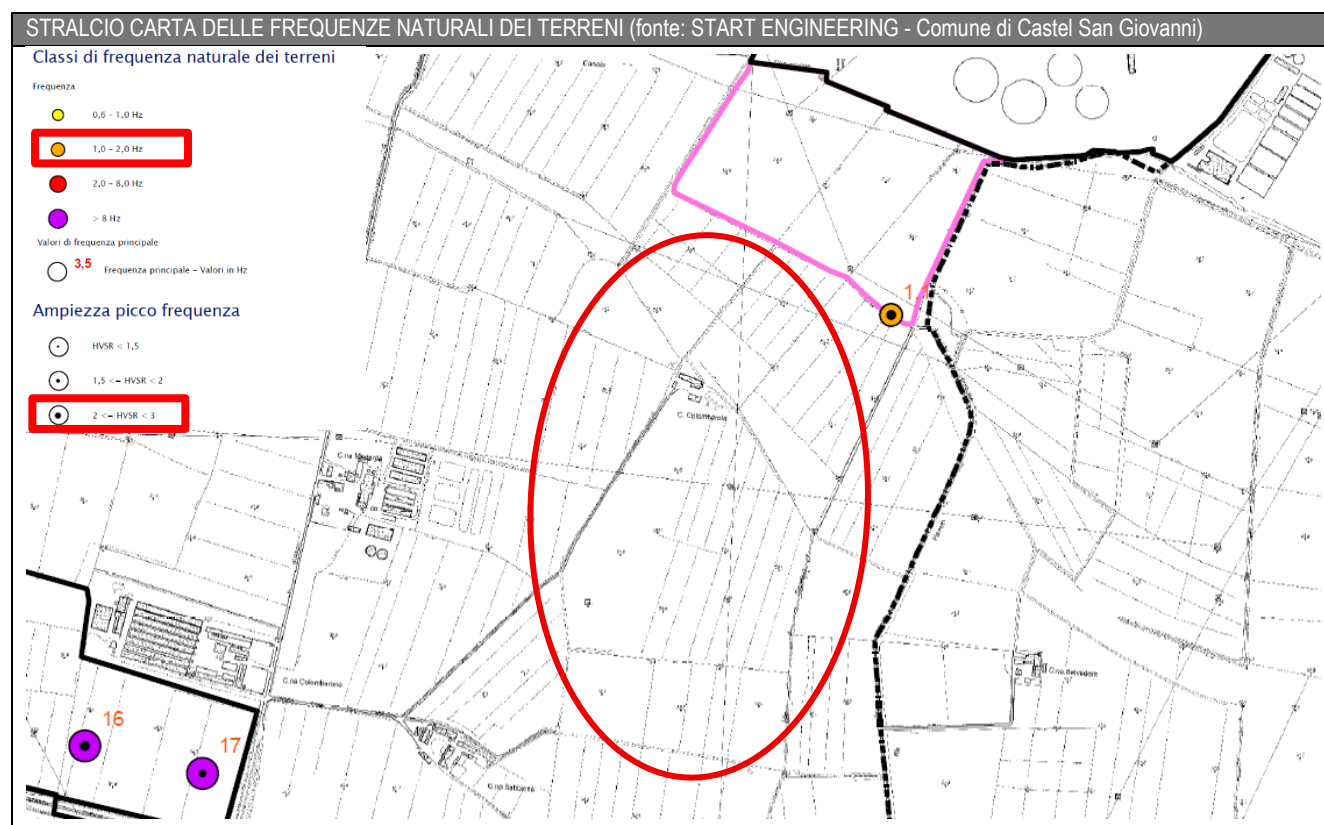
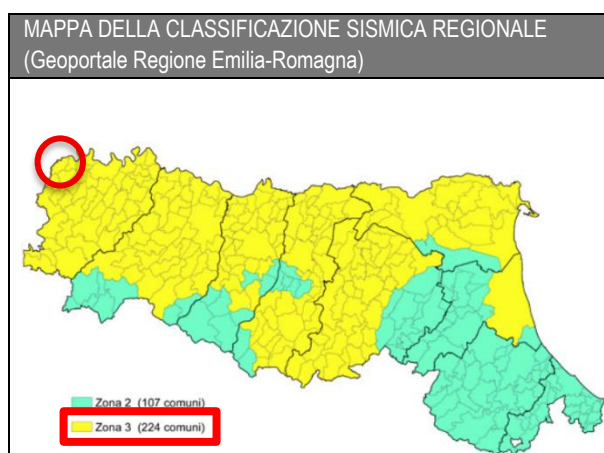
Per quanto riguarda l'aspetto **geologico-tecnico** dei terreni presenti in sito, è stata esaminata la **Carta Geologico-Tecnica** dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Castel San Giovanni. La quasi totalità dell'area di studio ricade entro il tipo di terreno **SW** – *Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose, riferibili alla fascia di meandraggiamento del Fiume Po*. L'ambiente genetico-deposizionale dei terreni di copertura è indicato come **es** – *argini, barre, canali*. Una ristretta porzione del settore nord occidentale dell'area di studio, ricade entro il tipo di terreno **ML** – *Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi inorganici di bassa plasticità*. Sono depositi antichi di piana alluvionale caratterizzati da orizzonte superficiale limoso-argilloso di spessore variabile tra 11-13 m, seguito da orizzonti prevalentemente sabbiosi e sabbioso ghiaiosi, con ambiente genetico-deposizionale di *pianura pedemontana (pd)*.



La fase di progettazione preliminare e di valutazione della fattibilità dell'intervento ha previsto l'analisi delle limitazioni d'uso del territorio (vincoli) in particolare modo quelli descritti e presenti nel Regolamento Urbanistico Edilizio (**RUE**) e nel Piano Strutturale del comune di Castel San Giovanni (**PSC**).

A seguito del Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e dell'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519, il Comune di Castel San Giovanni (PC) è inserito **in zona sismica 3**, ovvero appartiene a quelle zone caratterizzate da:

- Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compresa tra 0,05 e 0,15;
- Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,15g.



3.2. Pericolosità sismica locale

Vengono di seguito riportati degli estratti riguardanti le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello **Studio di microzonazione sismica del Comune di Castel San Giovanni**, redatto ai sensi della D.A.L. 112/2007 e adeguato agli standard richiesti dai nuovi indirizzi regionali (DGR 2193/2015) ed agli standard nazionali di rappresentazione e archiviazione dei dati predisposti dalla Commissione Tecnica per il supporto e monitoraggio degli studi di microzonazione sismica.

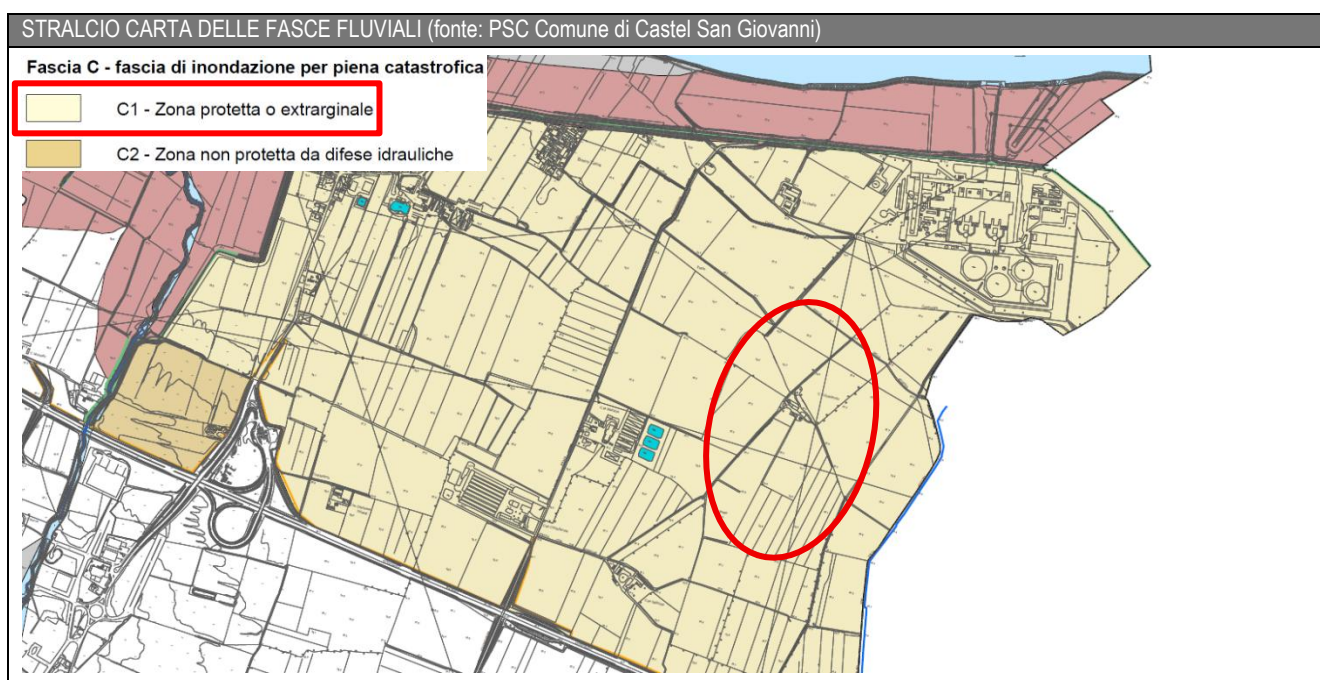
Dall'esame della **Carta delle indagini**, di cui un estratto è riportato a pagina 19, si riscontra la presenza di due indagini geofisiche pregresse (REMI e HVSR) effettuate lungo il margine nord orientale area di studio.

Dall'esame della **Carta delle frequenze naturali dei terreni** si riscontra che, dall'indagine HVSR pregressa effettuata presso il sito di progetto, la frequenza naturale fondamentale del terreno è compresa tra 1.0÷2.0 Hz e l'ampiezza del picco di frequenza è compresa tra 2÷3.

Dalla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del comune di Castel San Giovanni, si può constatare che il sito oggetto di studio ricade esternamente alle aree soggette a particolari indicazioni di carattere sismico per le seguenti carte:

- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS);**
- **Carta di microzonazione sismica – Livello 2 - FA_{PGA};**
- **Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – FA_{SI 0.1 – 0.5 s};**
- **Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – FA_{SI 0.5 – 1.0 s};**
- **Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – FA_{SI 0.5 – 1.5 s}.**

3.3. Vincoli



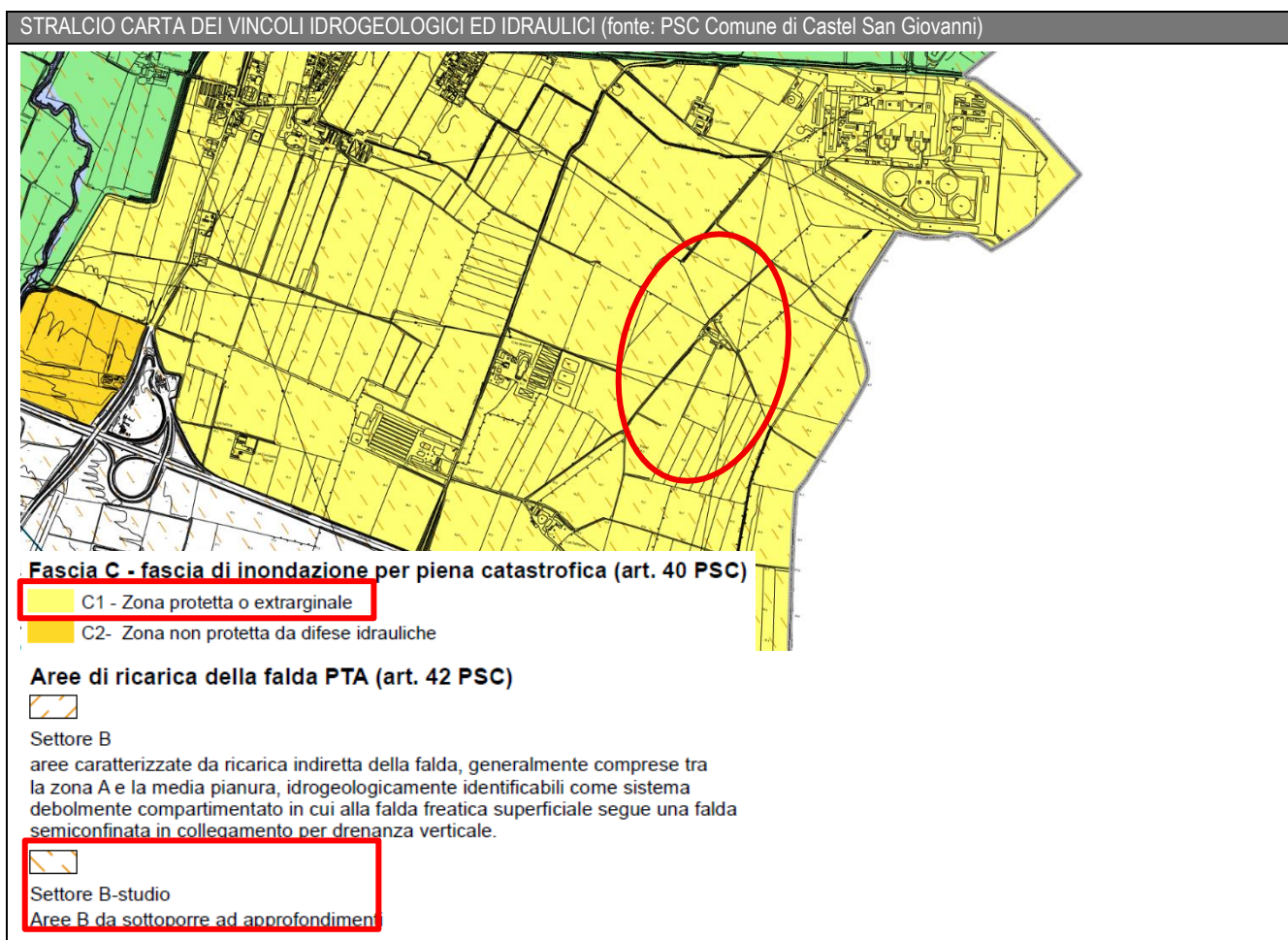
Dalla presa visione della **Carta dei Vincoli Antropici e Infrastrutturali** del PSC comunale vigente si evince che l'area di studio ricade esternamente alle aree sottoposte a vincolo.

Dall'analisi della **Carta dei vincoli idrogeologici ed idraulici** del PSC comunale vigente, si evince che l'area di studio ricade nella Fascia C – fascia di inondazione per piena catastrofica, nello specifico nella categoria C1 – zona protetta o extrarginale

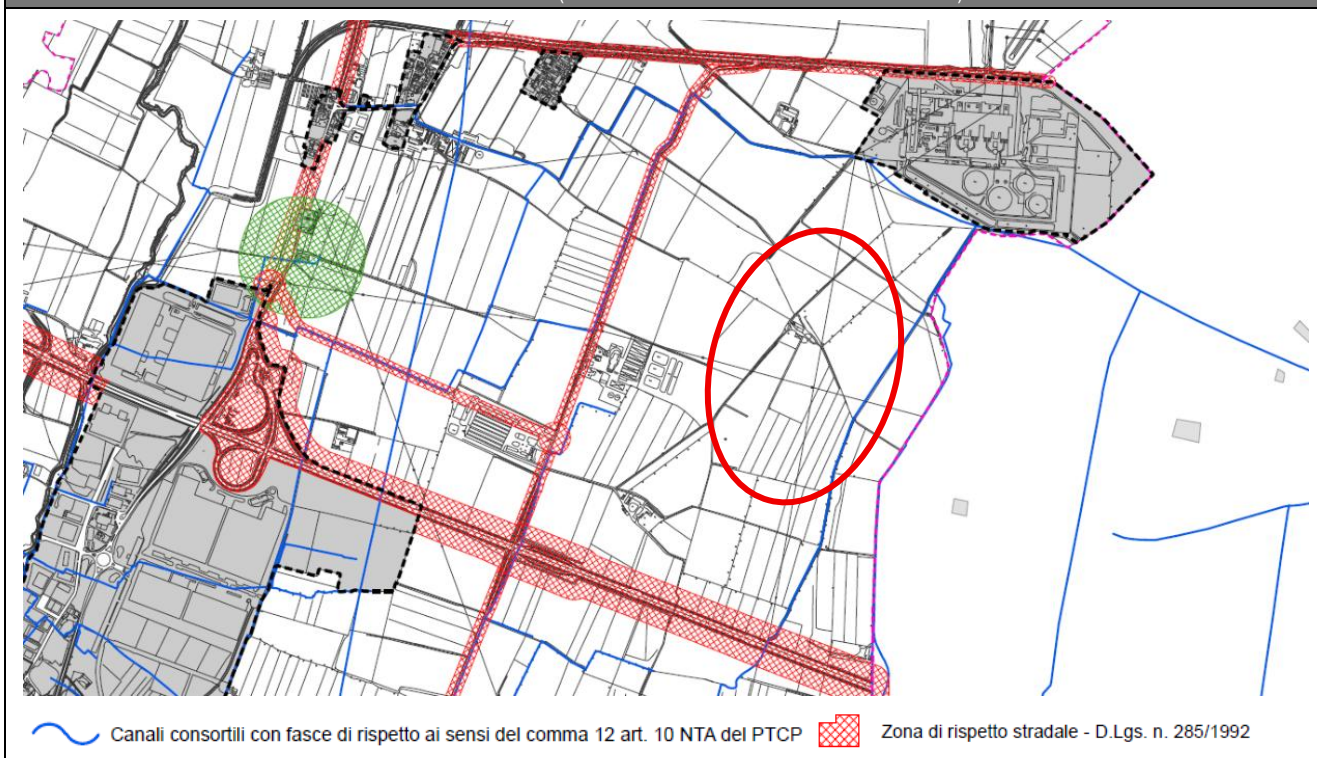
per le acque superficiali. Per quanto riguarda le acque sotterranee, l'area ricade nel Settore B-studio, ovvero appartiene alle aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra la zona A e la media pianura, idrogeologicamente identificabili come sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale, che va sottoposta ad ulteriori approfondimenti.

3.4. Pericolosità idrogeologica

Dall'esame della **Carta delle Fasce Fluviali** del PSC comunale vigente si evince che l'area di studio ricade nella Fascia C – fascia di inondazione per piena catastrofica, nello specifico nella categoria C1 – zona protetta o extrarginale alle fasce fluviali del P.T.C.P.



STRALCIO CARTA DELLE AREE VINCOLATE PER LEGGE (fonte: PSC - Comune di Castel San Giovanni)



4. SCELTA DEL TERREMOTO E STIMA DEGLI EFFETTI DI SITO

4.1. Premessa

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera.

Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla **classe d'uso**, permette di determinare il **periodo di riferimento**;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il **periodo di ritorno** associato a ciascun stato limite.

A questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera.

4.2. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1) \text{ dove:}$$

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella sottostante.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM

5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

$C_u = 2.0$.

4.3. Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

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

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} , ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

4.4. Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

La tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche: in cui è suddiviso il territorio nazionale è stato suddiviso in 10751 punti di un reticolo di riferimento.

a_g = accelerazione orizzontale massima;

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

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

4.5. Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A).

4.6. Coefficienti simici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

4.6.1. Coefficienti sismici fondazioni e stabilità dei pendii

Nel caso delle fondazioni e della stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2) \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

con

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'**accelerazione massima attesa al sito** di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28

$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E) e del rapporto a_g/g .

Categoria sottosuolo	S_S
A	1,00
B	$1.00 \parallel 1.40-0.40 F_0 a_{bedrock} \parallel 1.20$
C	$1.00 \parallel 1.70-0.60 F_0 a_{bedrock} \parallel 1.50$
D	$0.90 \parallel 2.40-1.50 F_0 a_{bedrock} \parallel 1.80$
E	$1.00 \parallel 2.00-1.10 F_0 a_{bedrock} \parallel 1.60$

S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,00
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,40

4.7. Classificazione del sottosuolo

La **classificazione del sottosuolo** si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della **velocità equivalente** di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da $V_S \geq 800$ m/s.

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

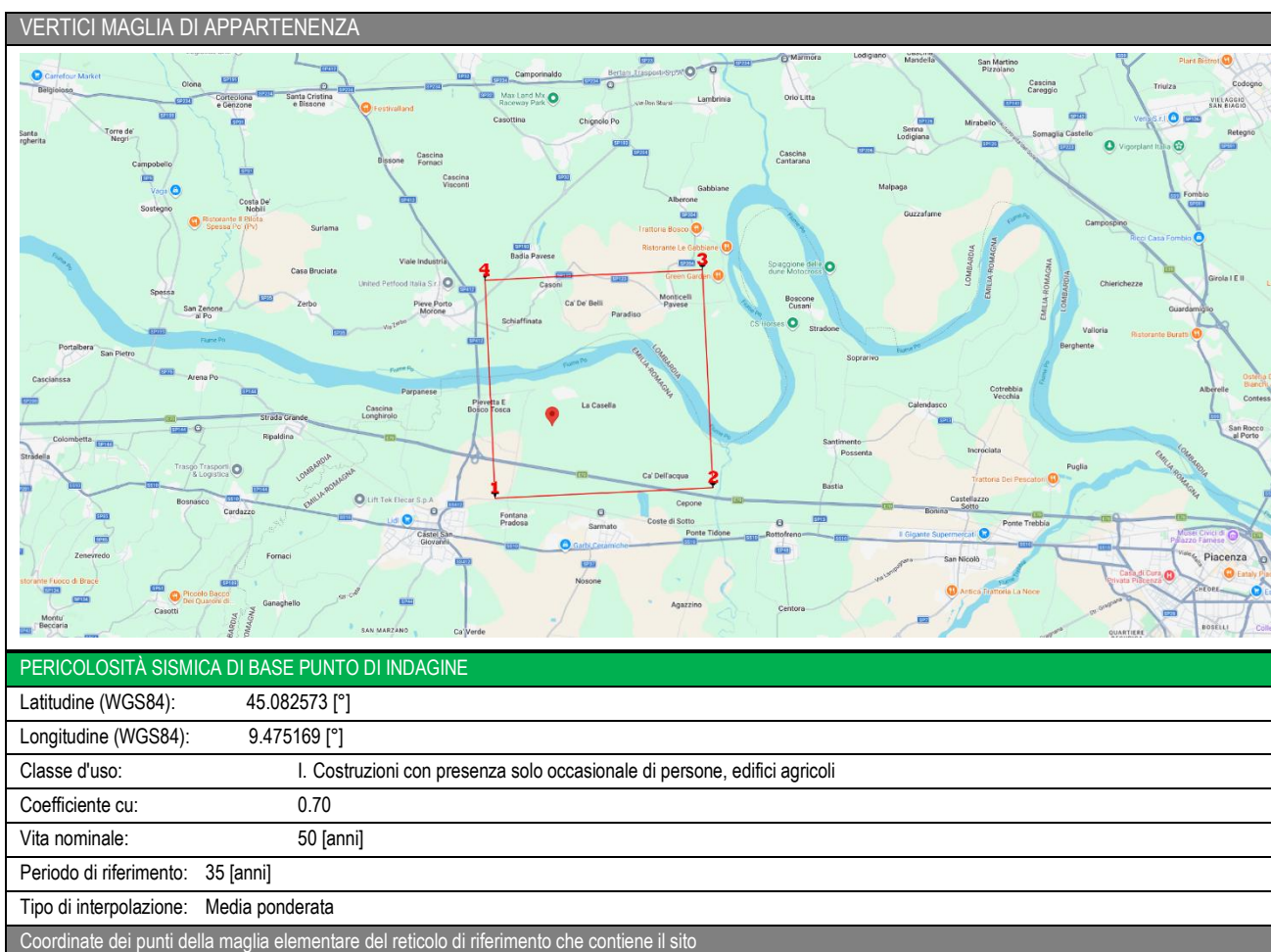
Categoria	Descrizione	spessore m	$V_{s,eq}$ (m/s) da a	
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	Qualsiasi	≥ 800

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 360 m/s e 800 m/s.	> 30 m	360	800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle velocità equivalenti compresi fra 180 e 360 m/s.	> 30 m	180	360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle velocità equivalenti compresi fra 100 e 180 m/s.	> 30 m	100	180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	Fino a 30 m	D	C

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Sulla base del valore calcolato di $V_{s,30}$ vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

4.8. Determinazione del sisma di progetto

La determinazione del sisma di progetto è stata effettuata sulla base della procedura descritta nel D.M. 17.01.2018 (appendice B).



Sito 1	14040
Sito 2	14041
Sito 3	13819
Sito 4	13818
Parametri sismici punto di indagine - Salvaguardia della vita (SLV)	
Probabilità di superamento:	10%
Tr:	332 [anni]
ag:	0,079 [g]
Fo:	2,486
Tc*:	0,278 [s]
PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO	
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1: Pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$
Coefficienti sismici stabilità pendii e fondazioni - Salvaguardia della vita (SLV)	
Ss:	1,500
Cc:	1,600
St:	1,000
Kh:	0,021
Kv:	0,011
Amax:	0,1544 [g]
Beta:	0,180

Le indagini geofisiche pregresse, riportate nella documentazione di microzonazione sismica del PSC vigente ed effettuate nell'anno 2001, fanno riferimento a prove eseguite con metodologia **HVSR** e **REMI** lungo il margine settentrionale dell'area oggetto di studio.

Tali indagini hanno fornito valori di V_{seq} pari a **253 m/s**, valore che consente di attribuire il sito alla categoria di sottosuolo C ai sensi del D.M. 17.01.2018.

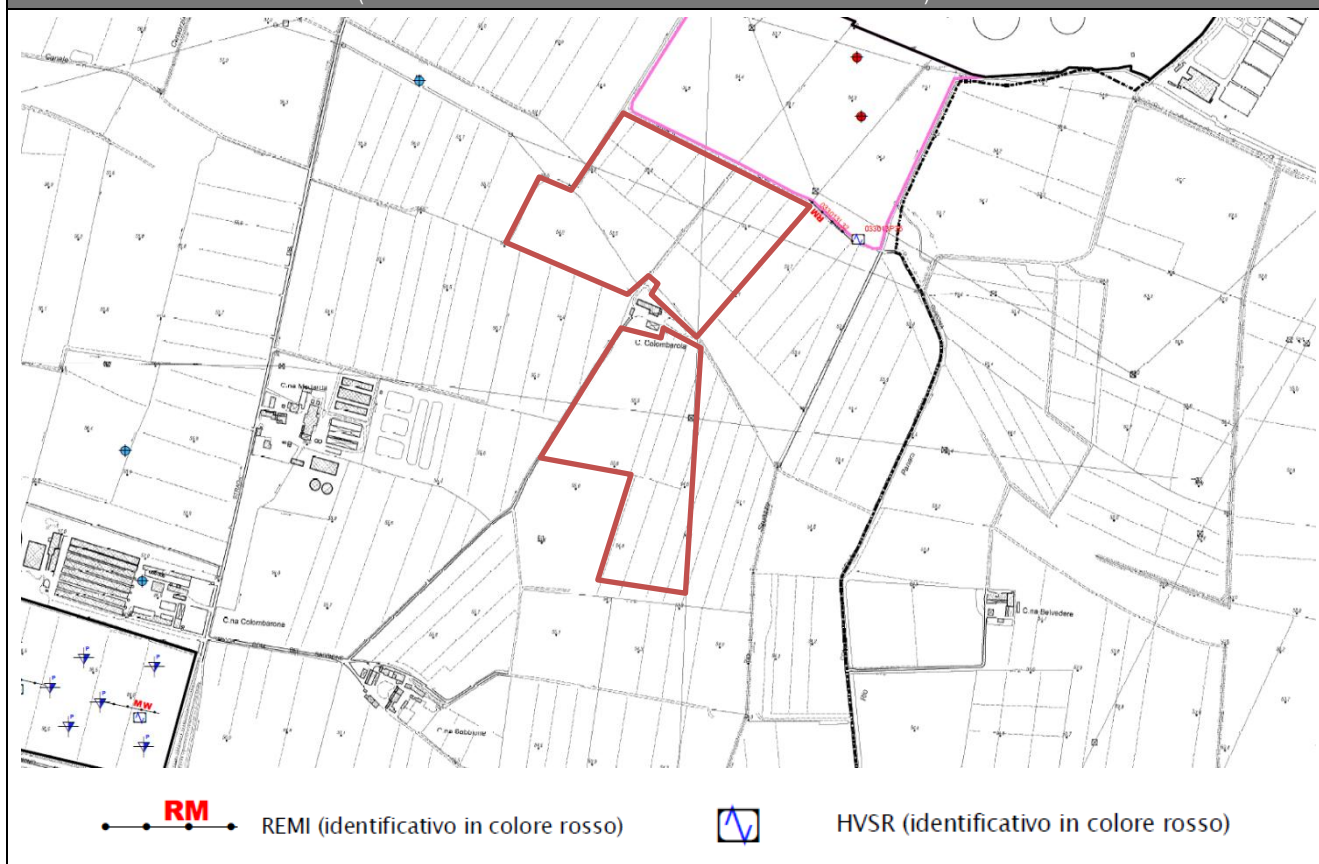
Di conseguenza, viene assegnata al sito di indagine la:

CATEGORIA SOTTOSUOLO C

4.9. Stima dell'inclinazione del carico dovuta ad eventi sismici

Si evidenzia inoltre che i valori della capacità portante sono comunque subordinati ai cedimenti (vedere capitolo specifico).

STRALCIO CARTA DELLE INDAGINI (fonte: START ENGINEERING - Comune di Castel San Giovanni)



Si ricorda anche che i valori della capacità portante dipendono dall'interazione struttura – terreno e pertanto i valori saranno in funzione delle tipologie delle fondazioni che verranno adottate, delle dimensioni e dalla loro profondità di imposta.

Nel caso di sollecitazioni indotte da un evento sismico è opportuno tenere in considerazione, nel calcolo dei carichi ammissibili, anche degli effetti inerziali sul terreno di fondazione, effetti che conducono ad una diminuzione della capacità portante.

In sostanza la componente orizzontale della sollecitazione sismica conduce ad una risultante del carico inclinata rispetto alla verticale.

L'inclinazione della risultante da inserire nel calcolo della portanza è quello di considerare l'accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni.

INDAGINE SISMICA PREGRESSA (fonte: Studio MS - Comune di Castel San Giovanni)

INDAGINE SISMICA PASSIVA (Nakamura)

HVSR
033013P35

Cantiere : Microzonazione Sismica - Comune di Castel San Giovanni

Località : Castel San Giovanni - Via Mucchi

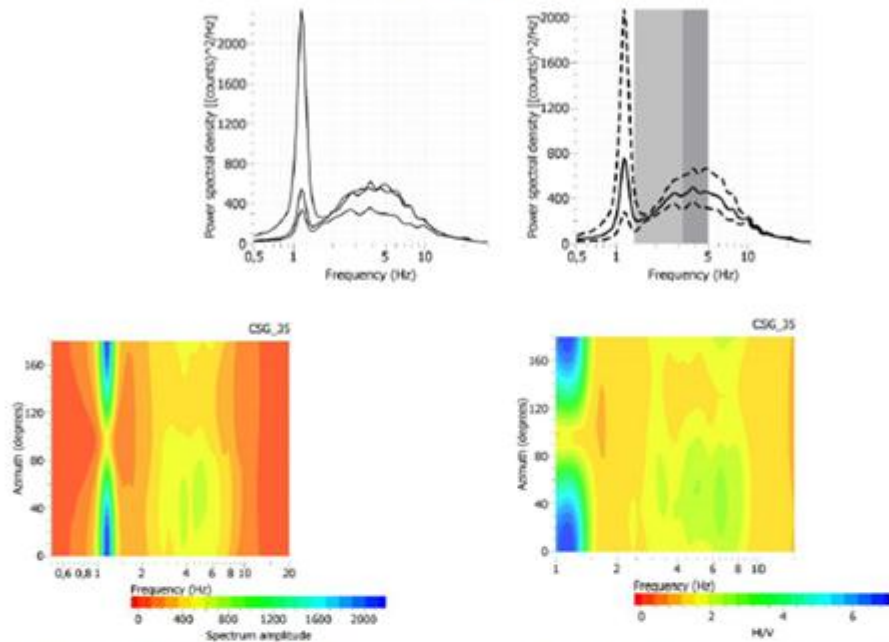
Coordinate WG84 UTM 33N

X : 65489,65

Y : 5007166

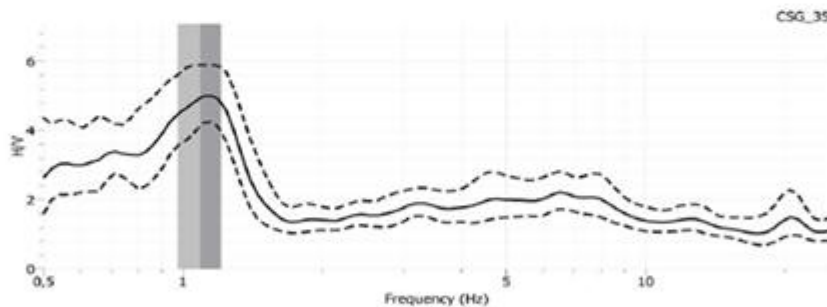
Quota m slm 53,50

Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri

Mappa della direzionalità degli spettri



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Frequenza del picco del rapporto H/V:	1.09 Hz ± 0.12 Hz
Ampiezza del picco del rapporto H/V :	4.97

CRITERI SESAME

1) $f_0 > 10/f_w$	OK
2) $nc(f_0) > 200$	OK
3) $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz or $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	OK
4) esiste $f - \epsilon [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f-) < A_0/2$	OK
5) esiste $f + \epsilon [f_0, 4 \cdot f_0] \mid AH/V(f+) < A_0/2$	OK
6) $A_0 > 2$	OK
7) $f_{\text{picco}} [AH/V(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
8) $\sigma_f < \epsilon(f)$	OK
9) $\sigma_A < \theta(f)$	OK

5. MODELLO GEOTECNICO

5.1. Indagine geognostica in sito

5.1.1. Breve descrizione dell'indagine effettuata

Per l'acquisizione dei dati geotecnici pertinenti alle caratteristiche del volume di sottosuolo interessato dalle opere di fondazione, in assenza di indagini geognostiche sito-specifiche, sono state assunte come riferimento indagini pregresse eseguite in aree poste a nord e a sud del sito di intervento

È stato pertanto elaborato un modello geotecnico di riferimento mediante l'interpretazione e la correlazione di prove penetrometriche e sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nelle aree limitrofe al sito di intervento.

5.1.2. Stima dei valori caratteristici dei parametri geotecnici in sito

Dalle indagini si estrapola una stratigrafia come riportata nel modello geotecnico indicato nel presente capitolo.

La valutazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, per le verifiche allo Stato Limite Ultimo e allo Stato Limite d'Esercizio, è stata eseguita conformemente alle indicazioni contenute nell'Eurocodice 7, nel D.M. 14.01.2009 e nella Circolare 02.02.2009. Considerato il numero sufficientemente elevato di dati misurati (q_c e N_{SPT}) si è optato per un approccio statistico, utilizzando una probabilità di superamento del 5%, come indicato nell'Eurocodice 7).

Il modello geotecnico è stato ottenuto attraverso la procedura descritta in dettaglio di seguito.

- I singoli valori di q_c e N_{SPT} ottenuti con le penetrometrie sono stati inizialmente accorpati in strati omogenei;
- Per ogni strato omogeneo è stata eseguita una stima cautelativa del valore medio di q_c e N_{SPT} e con la seguente relazione statistica: dove:

p_k = valore caratteristico del parametro geotecnico (q_c e N_{SPT});

p_m = valore medio del parametro (q_c e N_{SPT});

n = numero di misure;

s_p = deviazione standard delle misure;

$t_{n-1,0.05}$ = t di Student per n-1 gradi di libertà e probabilità di superamento del 5%.

$$P_k = P_m - t_{n-1}^{0,05} \left(\frac{s_p}{\sqrt{n}} \right)$$

I livelli stratigrafici individuati lungo le verticali di prova sono stati correlati fra di loro e i corrispondenti parametri geotecnici mediati. Questa operazione è stata condotta sulla base delle indicazioni contenute nell'Eurocodice 7:

("Se l'edificio è sufficientemente rigido e resistente, il parametro rappresentativo può essere dato dalla media dei valori medi nell'ambito dell'intero volume, o parte del volume stesso, di terreno sottostante l'edificio stesso.") e nella Circolare 02.02.2009 ("...appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi ... quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.").

MODELLO GEOTECNICO SEMPLIFICATO DA PIANO CAMPAGNA ATTUALE (ZERO PENETROMETRICO)										
Profondità m		Unit. Geotec.	Litologia	Φ' (°)	Dr (%)	Cu kg/cm ²	O.C.R.	γ_{nat} t/m ³	E_s kg/cm ²	M kg/cm ²
da a	vedi sezione	ALS	Argilla limosa soffice	-	-	0.35	1	1.80	-	30

METODO CALCOLO PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI			
Denominazione	Simbolo	Unità misura	Metodo di calcolo
INCOERENTI			
Angolo di attrito	Φ'	(°)	Searle
Densità relativa incoerenti	Dr	(%)	Kulhawy & Mayne
Peso di volume	γ_{nat}	(t/m ³)	Mayne & Peuchen
Modulo di Young incoerenti	E_s	(kg/cm ²)	Murray - sabbia
COESIVI			
Coesione non drenata	Cu	(kg/cm ²)	Searle
Peso di volume	γ_{nat}	(t/m ³)	Mayne & Peuchen

Modulo edometrico	M	(kg/cm ²)	Mitchell & Gardner - CL
Rapporto di sovraconsolidazione	OCR	-	Mayne

UBICAZIONE INDAGINI IN SITO

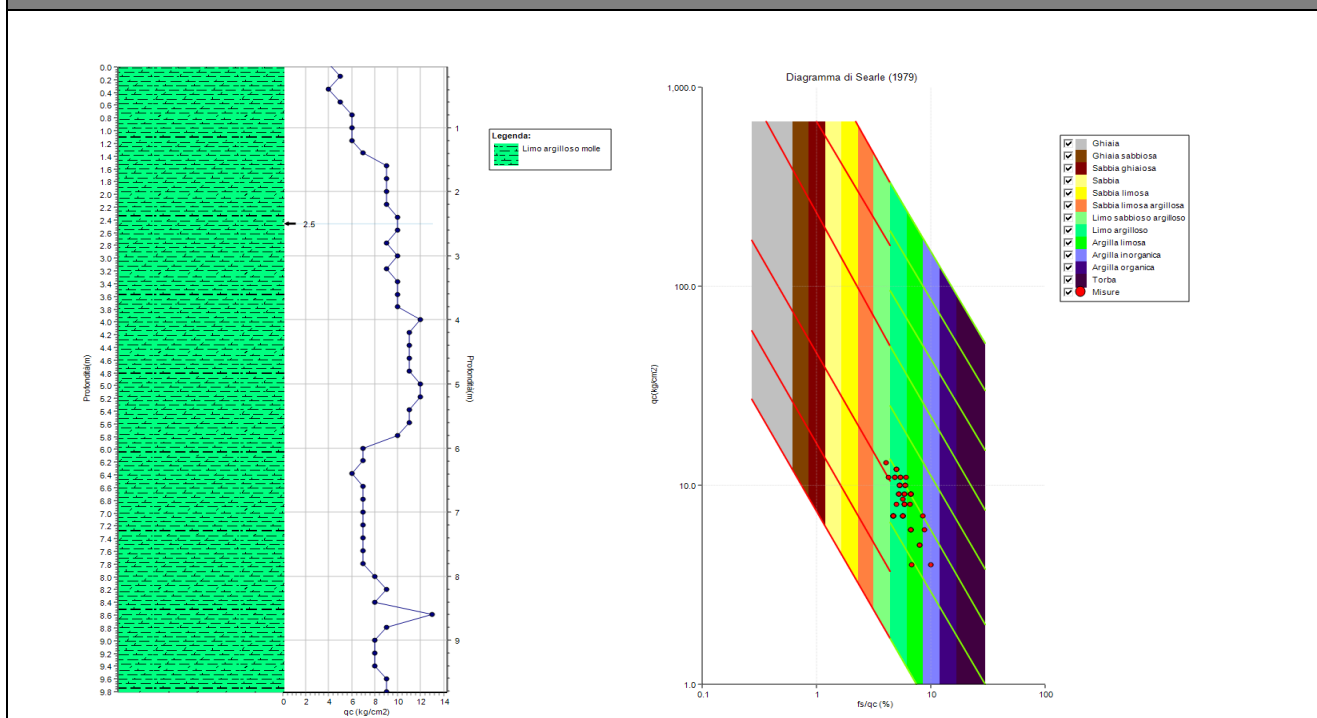


PROVE PENETROMETRICHE

SONDAGGI GEOGNOSTICI

SITO OGGETTO DI INTERVENTO

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA (CPT) DI RIFERIMENTO



6. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

Sono state condotte, facendo riferimento a quanto disposto dal D.M. 17.01.2018, le seguenti verifiche:

1. le verifiche alla liquefazione dei terreni in condizioni sismiche.

6.1. Verifica alla liquefazione dei terreni in condizioni sismiche

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

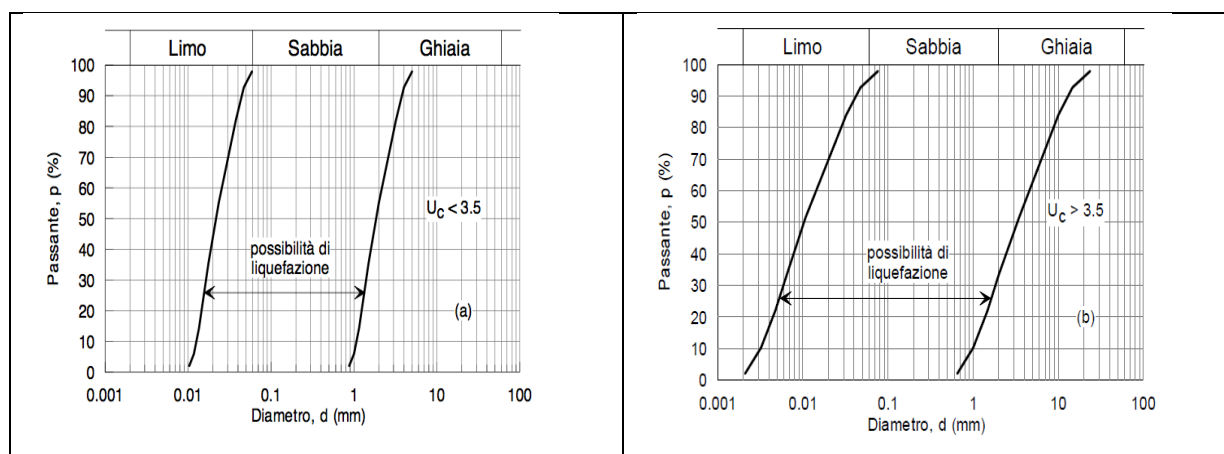
Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

6.1.1. Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



6.2. Verifica alla liquefazione nel sito in esame

L'applicazione del **quarto criterio** di cui al paragrafo 6.1 riferiti al D.M. 17.01.2018 § 7.11.3.4.2 **consente di escludere** la possibilità di **liquefazione** nei terreni di fondazione del sito in esame.

7. CONCLUSIONI

Le considerazioni geologiche e geotecniche riportate nel presente elaborato sono da intendersi di carattere preliminare, in quanto formulate in assenza di specifiche indagini dirette eseguite nel sito in esame e basate su dati bibliografici, cartografici e su indagini effettuate in aree limitrofe geologicamente assimilabili.

Ricordiamo che la zona sismica per il territorio di Castel San Giovanni (PC) è la **zona Sismica 3**, come indicato nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018;

Dalle indagini geofisiche eseguite mediante metodologie MASW e HVSR in siti limitrofi all'area di intervento, il sottosuolo è stato ricondotto alla **categoria C** ai sensi della normativa vigente;

La **verifica alla liquefazione dei terreni** è stata omessa in seguito all'applicazione del quarto criterio del D.M. 17.01.2018 § 7.11.3.4.2;

Dalle indagini eseguite in aree limitrofe si evince inoltre la presenza della **falda** freatica a una profondità di **circa 3 m** dal piano campagna.

ERBUSCO (BS), 14.05.2026

IL TECNICO
ING. MATTEO BONO



IL TECNICO
DOTT. GEOL. STEFANO SALVI

