

**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

**Invarianza idraulica e idrologica
Direttiva idraulica – PAI-PGRA (Dgr. 2112/2016)**

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello Prog.	Codice	Tipo doc.	N° elaborato	Nome file	Tipo elaborato	Scala
DEF	01CSG26	PDF	19	INVAR	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.

Sommario

1	INTRODUZIONE	5
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA.....	6
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
2.2	INQUADRAMENTO PAESAGGISTICO-MORFOLOGICO	8
2.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
2.4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	11
2.5	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	13
2.6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	13
2.7	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TECNICO	18
3	INQUADRAMENTO URBANISTICO DELL'AREA.....	19
3.1.1	<i>Classificazione sismica</i>	<i>19</i>
3.1.2	<i>Pericolosità sismica locale</i>	<i>20</i>
3.1.3	<i>Vincoli.....</i>	<i>20</i>
3.1.4	<i>Pericolosità idrogeologica</i>	<i>20</i>
4	PERMEABILITA' IN SITO.....	23
5	DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO	23
6	METODOLOGIE DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ADOTTATI.....	24
6.1	METODO ANALITICO DI DETTAGLIO	24
6.1.1	<i>Ietogramma di pioggia di progetto.....</i>	<i>25</i>
6.1.2	<i>Ietogramma di pioggia netto.....</i>	<i>26</i>
6.1.3	<i>Ietogramma di pioggia netto.....</i>	<i>28</i>
6.1.4	<i>Calcolo portata infiltrata.....</i>	<i>29</i>
6.1.5	<i>Calcolo del volume invasato con il metodo di dettaglio</i>	<i>30</i>
7	CALCOLO DELLA MASSIMA PORTATA SCARICATA E TEMPO DI SVUOTAMENTO	31
7.1	PORTATA MASSIMA SCARICATA	31
7.2	TEMPO DI SVUOTAMENTO	31

8	DATI DI PROGETTO	31
9	RISULTATI DEI CALCOLI.....	32
9.1	CARATTERISTICHE GENERALI	32
9.2	LINEE SEGNALETRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA	33
9.3	IETOGRAMMA DI PIOGGIA	33
9.4	IDROGRAMMA DI PIENA.....	34
10	DIMENSIONAMENTO INVARIANZA	36
11	DIMENSIONAMENTO OPERA	37

1 INTRODUZIONE

L'invarianza idraulica e idrologica consiste, in sintesi, nella limitazione dei deflussi delle acque meteoriche non contaminate verso il reticolo idrico in caso di realizzazione di nuovi edifici civili e industriali, di parcheggi e strade e di interventi di riqualificazione al fine di far diminuire il deflusso verso le reti di drenaggio urbano e da queste verso i corsi d'acqua già in condizioni critiche, riducendo così l'effetto degli scarichi urbani sulle portate di piena dei corsi d'acqua stessi.

Nello specifico, scopo del presente lavoro è l'individuazione delle modifiche all'assetto idrogeologico dell'area, conseguenti all'intervento di realizzazione di un impianto agrivoltaico, con l'obiettivo di definire le misure compensative e/o le caratteristiche delle opere necessarie ad evitare l'aggravio delle condizioni idrauliche rispetto alla situazione preesistente o come da richiesta di norma.



Rendering impianto fotovoltaico

Le verifiche del rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica e/o idrologica vengono condotte conformemente al Piano stralcio per il rischio idrogeologico - Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano - Adottata dal Comitato Istituzionale con delibera n. 3/2 del 20 ottobre 2003 e s.m.i., come da variante di coordinamento PGRA-PAI, adottata dal C.I. con delibera 2/2 del 7/11/2016 (D.G.R. 2112/2016) della Regione Emilia Romagna. Nello specifico verranno adottati i metodi di calcolo in essa richiamati.

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

2.1 Inquadramento geografico

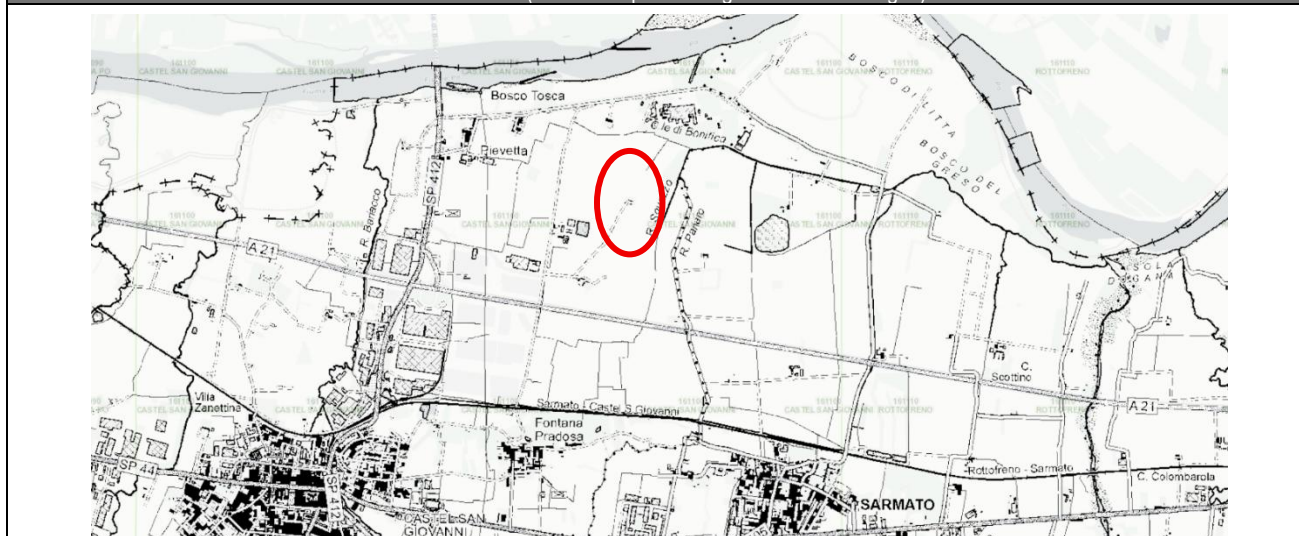
L'area interessata dall'impianto agrivoltaico ed oggetto dello studio si colloca nel settore nord orientale del territorio comunale di Castel San Giovanni (PC), in loc. Cascina Colombarolo, ad una altitudine di circa **50÷55 metri s.l.m.** ed insiste sui **Mappali 30, 31, 34, 35 del Foglio 5** e ai **Mappali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

STRALCIO IMMAGINE SATELLITARE (Google Earth)



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



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.

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 fasce 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.

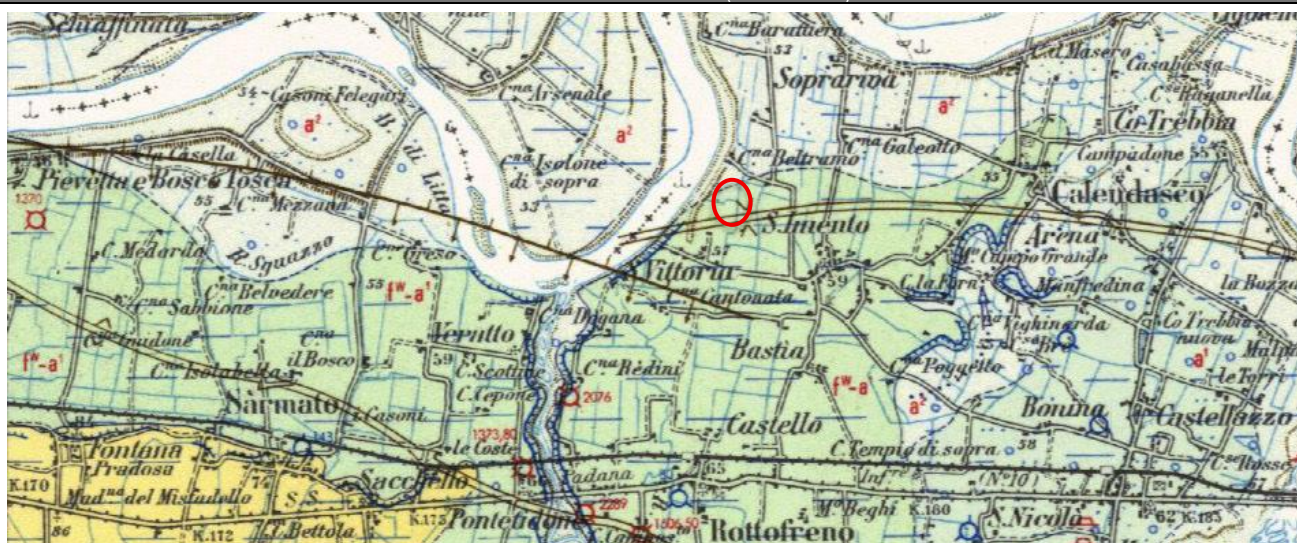
L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES), è un'unità alluvionale, terrazzata, costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia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



Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro (fg^w); alluvioni würmiane ed altre più recenti non separabili cartograficamente (ovest Trebbia) ($fw-a^1$). WÜRM.

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 ($fw-a^1$) ed altre alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con lenti limose 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 – Subsintema 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.

2.4 Inquadramento geomorfologico

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 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.

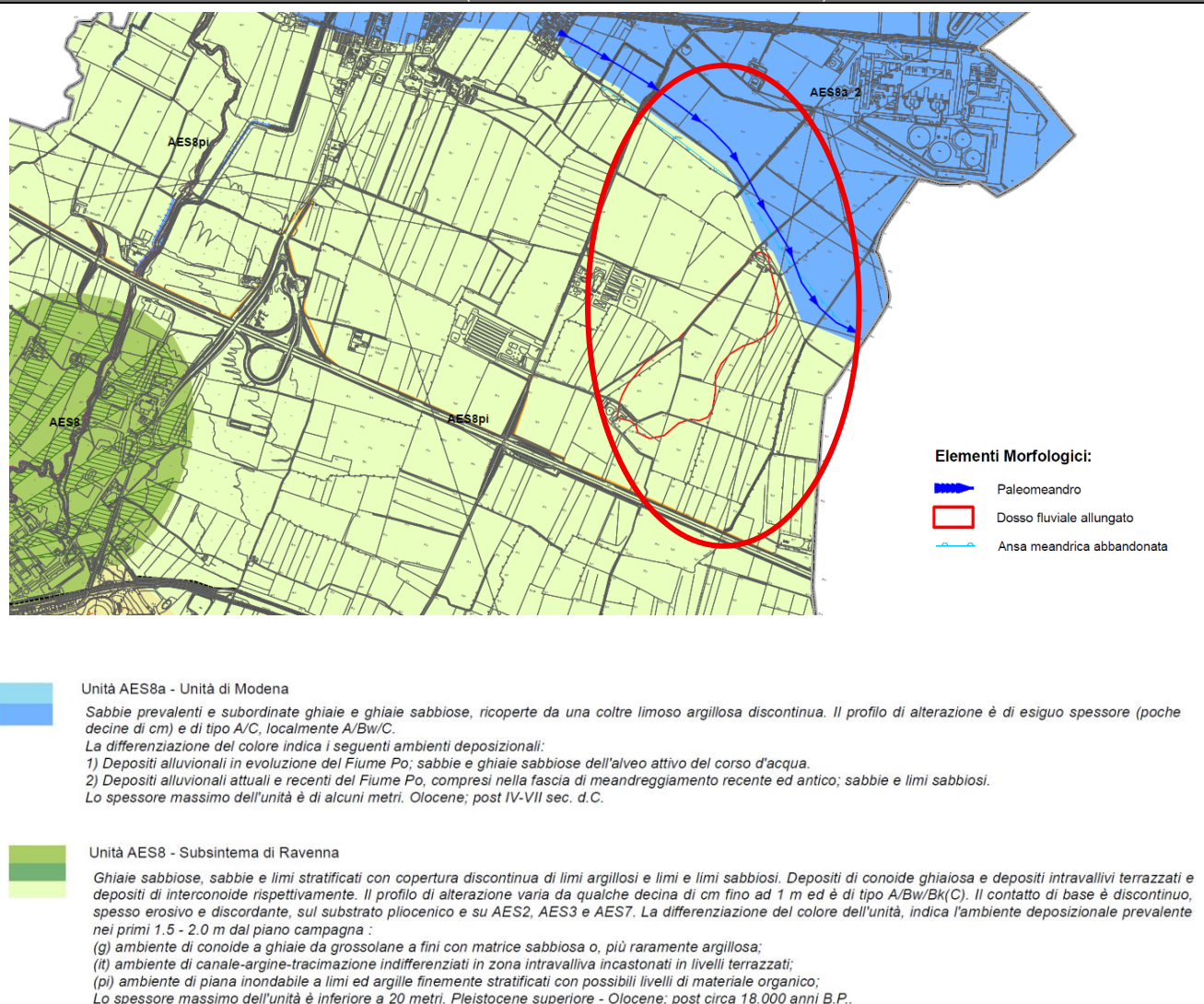
La pianura presenta nel complesso una lieve immersione da SSO a NNE, con pendenze generalmente dell'ordine dell'1-2%, che diventano più accentuate nelle fasce corrispondenti alle scarpate morfologiche di terrazzo o alle incisioni vallive dei corsi d'acqua appenninici principali.

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.

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



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 geostrutturali 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.

2.6 Inquadramento idrogeologico

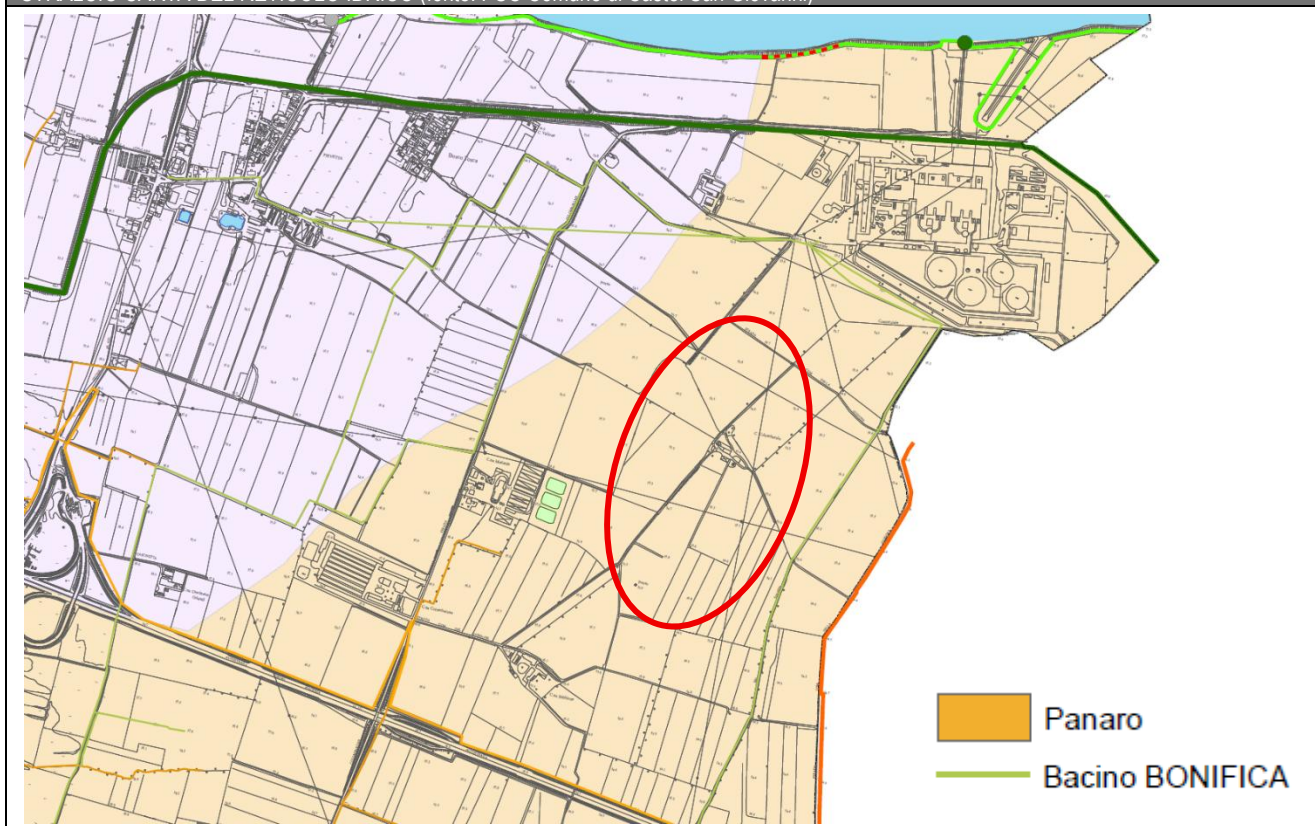
Dal punto di vista idrogeologico la porzione di Pianura Padana in esame risulta costituita da un bacino con substrato terziario e quaternario riempito da depositi di origine fluvio-glaciale e dalle alluvioni dei corsi d'acqua olocenici, rappresentati da alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille, a 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

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



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:

- 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.

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CROCISTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE												
AFFRONTANTI			SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO											
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI OLIVATELLO	UNITÀ DI VALLE DEL BOSCO	UNITÀ DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITÀ DI BORGO PANIGALE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.12	0.125	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A ₀				
															A ₁				
															A ₂				
															A ₃				
QUATERNARIO MARINO	MELAZZANO SABIE DI CASTELVETRO p.p. SABIE DI ALLE e PAVIA p.p.	MELAZZANO e CALABRIANO p.p. SABIE DI CASTELVETRO p.p. SABIE DI ALLE e PAVIA p.p.	CALABRIANO p.p. SABIE DI MONTERICCIO FORMAZIONE DI TERRA DEL SOLE p.p.	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE DI CASTELLARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	UNITÀ ALLUVIONALE INFERIORE	-0.35-0.45	-0.65	-0.8	-1.0	-2.2	-3.3-3.6	-3.9	PLEISTOCENE MEDIO	B	B ₁
																			B ₂
																			B ₃
																			B ₄
P ₂	FORMAZIONE DI CASTELLARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL PLOCCO INFERIORE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	PLOCCO INFERIORE MIOCENE	C	C ₁				
															C ₂				
															C ₃				
															C ₄				
															C ₅				
ACQUEDOTTO BASALE																			

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.

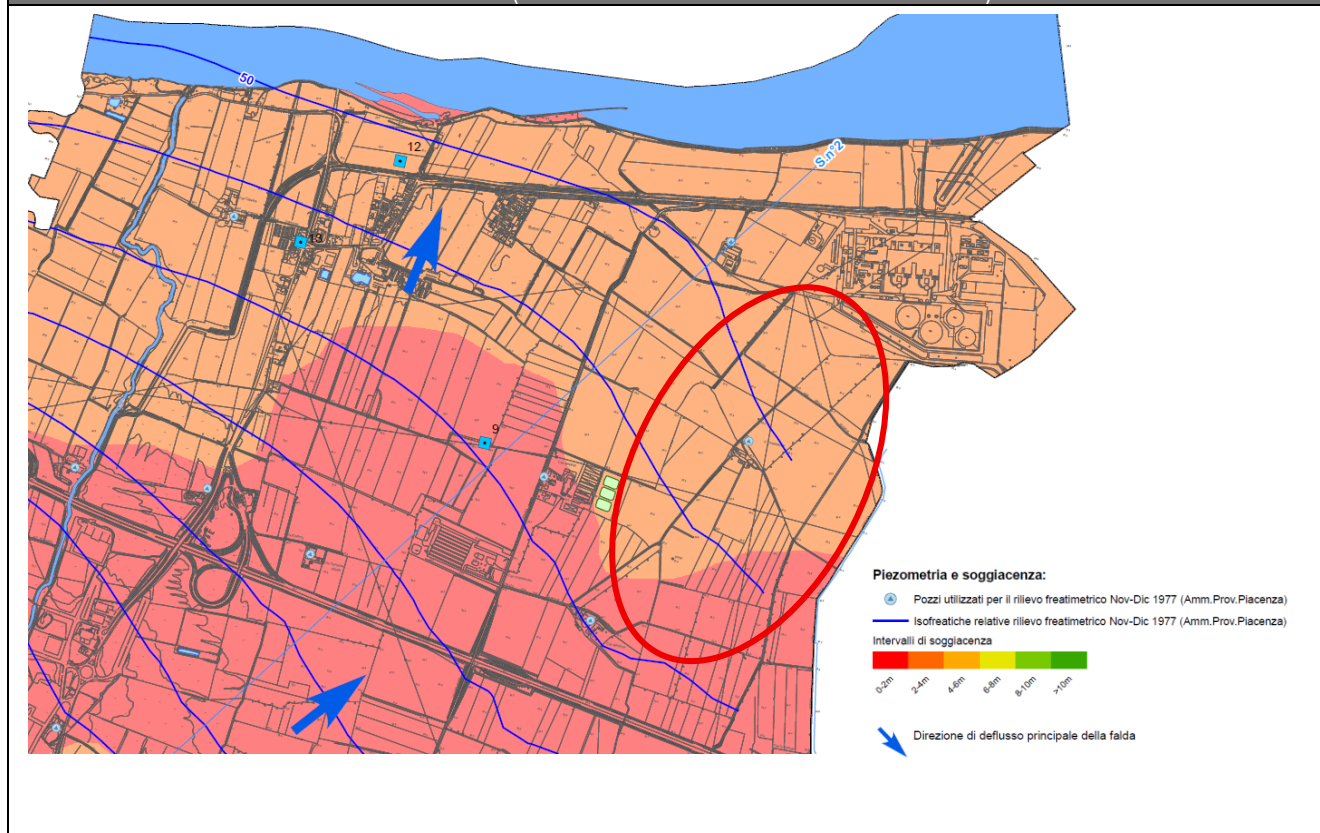
La direzione di deflusso, avente orientamento prevalente verso NE, subisce modificazioni in corrispondenza dalla piana a meandri posta nel settore nord orientale del territorio comunale, influenzata da alimentazioni di subalveo del fiume Po.

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.

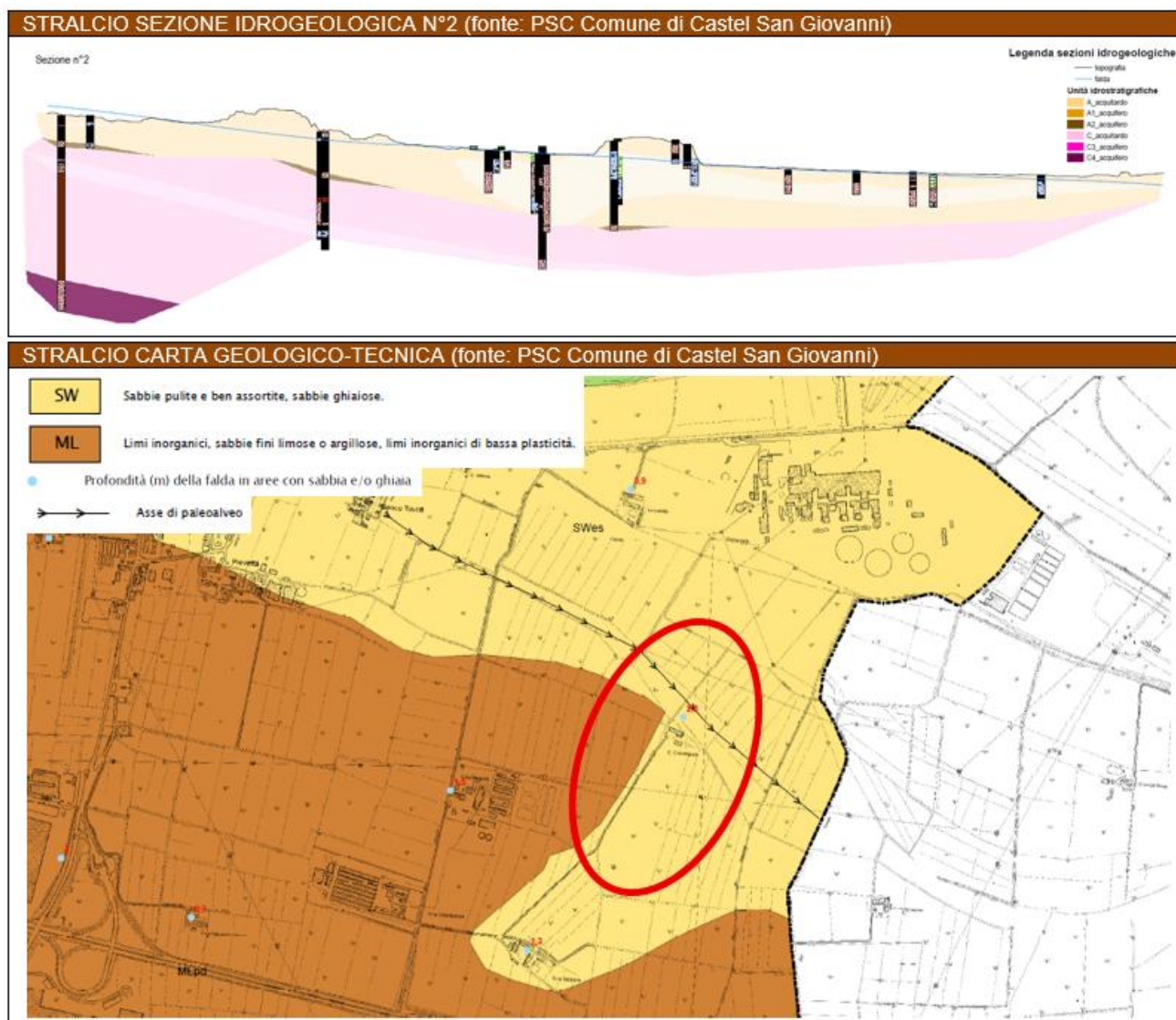
Di seguito viene riportata, per completezza, anche la Sezione Idrogeologica n°2, la cui traccia passa circa 350 m ad ovest del sito oggetto di indagine. Si considera tale sezione rappresentativa del sottosuolo dell'area di studio, in merito ai rapporti stratigrafici delle unità idrogeologiche.

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



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).



3 INQUADRAMENTO URBANISTICO DELL'AREA

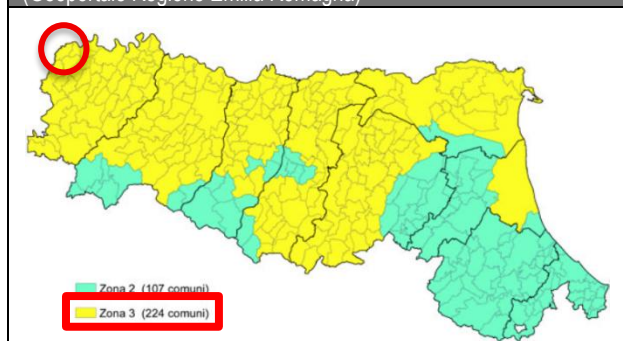
La fase di progettazione preliminare e di valutazione della fattibilità dell'intervento ha previsto l'analisi delle limitazioni d'uso del territorio (vincoli) in particolare modo quelli descritti e presenti nel Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE) e nel Piano Strutturale del comune di Castel San Giovanni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

3.1 Classificazione sismica

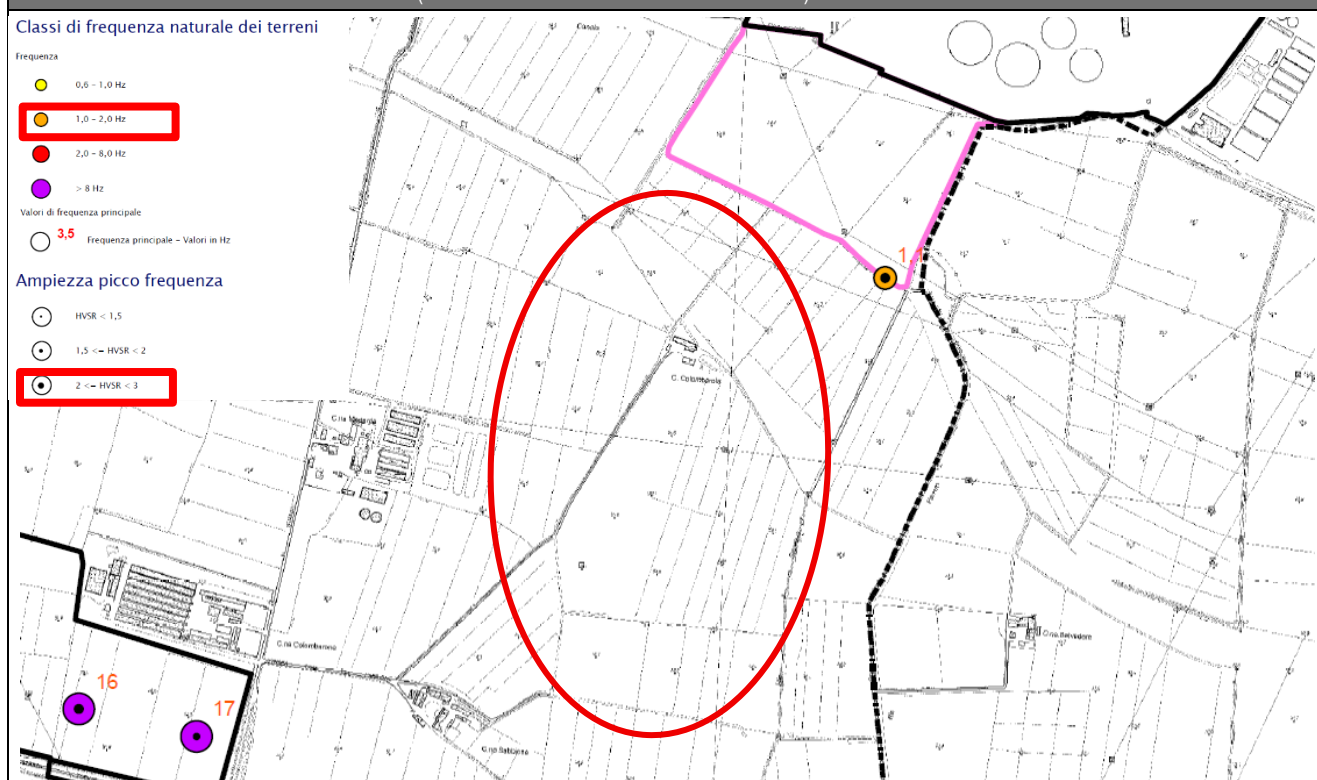
A seguito del Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e dell'OPCM 28 aprile 2006, n. 3519, il Comune di Castel San Giovanni (PC) è inserito in zona sismica 3, ovvero appartiene a quelle zone caratterizzate da:

- 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.

MAPPA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE
(Geoportale Regione Emilia Romagna)



STRALCIO CARTA GEOLOGICO-TECNICA (fonte: PSC Comune di Castel San Giovanni)



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 - FAPGA;
- Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – FASI 0.1 – 0.5 s;
- Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – FASI 0.5 – 1.0 s;
- Carta di microzonazione sismica – Livello 2 – FASI 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

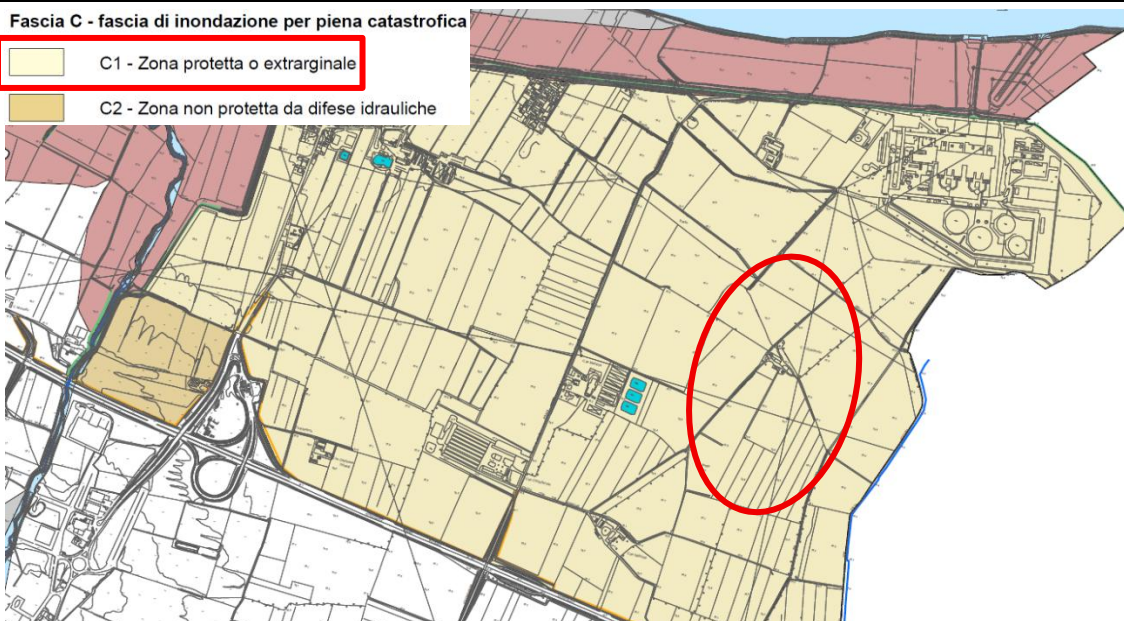
Dall'esame della **Carta delle Fasce Fluviali** del PSC comunale vigente si evince che l'area di studio ricade nella Fascia C – fascia di inondazione per piena catastrofica, nello specifico nella categoria C1 – zona protetta o extrarginale alle fasce fluviali del P.T.C.P

STRALCIO CARTA DELLE FASCE FLUVIALI (fonte: PSC Comune di Castel San Giovanni)

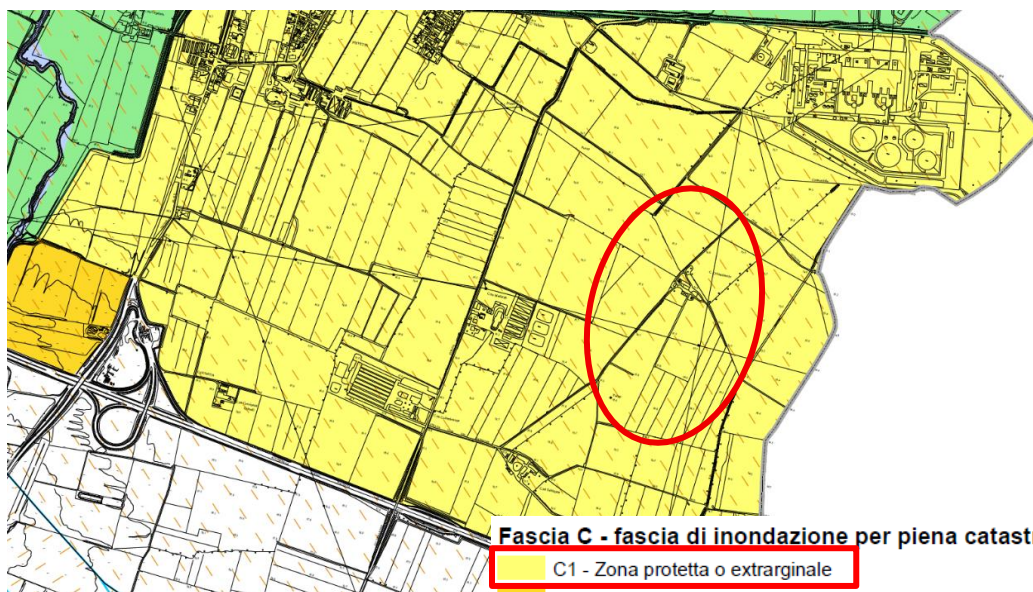
Fascia C - fascia di inondazione per piena catastrofica

C1 - Zona protetta o extrarginale

C2 - Zona non protetta da difese idrauliche



STRALCIO CARTA DEI VINCOLI IDROGEOLOGICI ED IDRAULICI (fonte: PSC Comune di Castel San Giovanni)



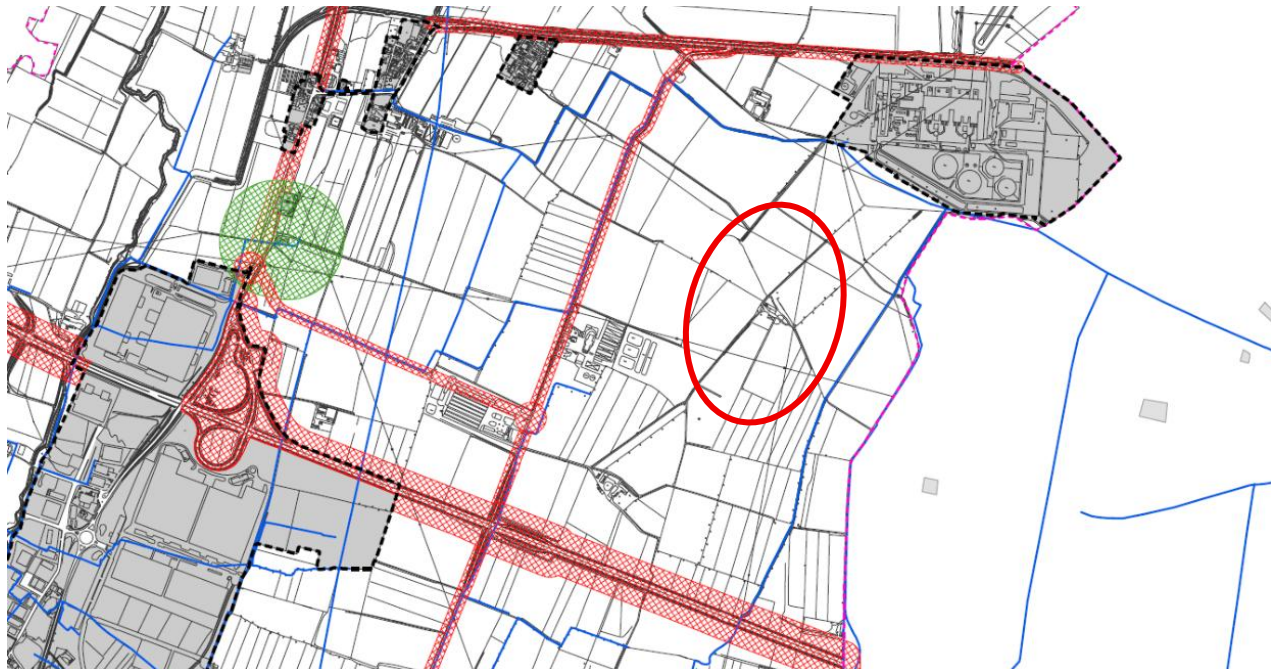
Fascia C - fascia di inondazione per piena catastrofica (art. 40 PSC)

C1 - Zona protetta o extrarginale

C2 - Zona non protetta da difese idrauliche

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

Canali consortili con fasce di rispetto ai sensi del comma 12 art. 10 NTA del PTCP Zona di rispetto stradale - D.Lgs. n. 285/1992



4 PERMEABILITA' IN SITO

Per l'acquisizione dei dati litologici, 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.

Dalle indagini si estrapola una stratigrafia caratterizzata da limi argillosi soffici talora sabbiosi.

In assenza di prove di permeabilità sito-specifiche, per i depositi costituiti da argille limose soffici si assume un coefficiente di permeabilità di riferimento pari a $k = 5 \times 10^{-7}$ m/s, valore cautelativo e coerente con terreni fini a bassa permeabilità.

Tale parametro dovrà essere eventualmente verificato mediante prove in sito o di laboratorio in fase di approfondimento progettuale.

k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²
GRADO DI PERMEABILITA'	ALTO			MEDIO		BASSO		MOLTO BASSO		IMPERMEABILE			
DRENAGGIO	BUONO					POVERO			IMPERMEABILE				
TIPO DI TERRENO	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			Sabbia fine, limi organici e inorganici. Miscele di sabbia, limo e argilla.			argille omogenee				

5 DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO

Al fine di dimensionare e verificare le opere d'invarianza idraulica in progetto devono essere definite preventivamente le precipitazioni di progetto.

Il territorio comunale di **Castel San Giovanni** è caratterizzato da un clima temperato continentale, con un'ampia escursione termica annuale, dovuta a temperature basse in inverno ed alte in estate.

La piovosità è concentrata principalmente nei mesi autunnali e primaverili.

La temperatura media annua si attesta indicativamente sui $12^{\circ}\pm 13^{\circ}\text{C}$ e le precipitazioni medie annue sono valutabili in 650-800 mm.

Per quanto riguarda l'evento pluviometrico di riferimento, sono state utilizzate le curve di possibilità climatica in funzione della probabilità di accadimento di eventi estremi con riferimento ad un orizzonte temporale (tempo di ritorno considerato) di 100 anni (cautelativo) per una durata di 2 ore.

Tali curve, descritte da una equazione in forma monomia, che pone in relazione diretta l'altezza di pioggia (h) con la durata (t), hanno la seguente forma:

A tal fine viene applicato il metodo delle linee segnalatrici di pioggia a due parametri a e n, in cui i parametri a ed n vengono determinati con riferimento ad un ben preciso valore di tempo di ritorno, TR, dell'evento meteorico.

L'altezza di precipitazione di progetto viene calcolata come segue:

$$h = a \cdot D^n$$

h [mm]: altezza di pioggia

D [ore]: durata di pioggia

n [-]: coefficiente di scala della linea segnalatrice di pioggia

a [mm/ora]: parametro della linea segnalatrice di pioggia

Per durate delle precipitazioni superiori ad un'ora si adottano i valori dei parametri a e n valevoli per durate superiori ad un'ora ed inferiori a 24 ore.

Per le durate inferiori a un'ora si utilizza lo stesso parametro a, adottato per eventi di durata superiore all'ora, mentre il parametro n viene definito in modo specifico per tale durata.

In assenza di dati più precisi spesso, in letteratura tecnica idrologica, viene riportato un valore indicativo pari a $n = 0,5$.

Per quanto riguarda al tempo di ritorno TR adottato per la stima dei parametri, si fa riferimento a valori idonei a garantire le condizioni di sicurezza dell'opera e rispettare i valori e le indicazioni richiesti da norma, come riportato a seguito nel report dei calcoli.

I dati pluviometrici per il calcolo dei parametri **a** (**a = 54.26 mm/h**) e **n** (**n = 0.2634**) della curva monomia dagli dal Piano Assetto Idrogeologico) redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001:

"Norme di attuazione: Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni".

6 METODOLOGIE DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ADOTTATI

Al fine di ottemperare alle verifiche di invarianza idraulica e idrologica è stato adottato il seguente metodo di calcolo:

- ❖ procedura dettagliata cinematica

Nei paragrafi seguenti verranno descritti tali metodi ed a fine relazione verranno riportati i report dei calcoli.

6.1 Metodo analitico di dettaglio

Il metodo analitico di dettaglio prevede di calcolare in modo analitico la curva della portata entrante nell'accumulo, minuto per minuto, l'altezza idrica nell'invaso e la contestuale portata uscente o infiltrata, per un evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

Noto il volume invasato istante per istante, si calcola il relativo valore massimo, che rappresenta il volume minimo che l'accumulo deve possedere al fine di garantire il vincolo di invarianza ed il rispetto della portata scaricata, per detto evento meteorico di fissata durata e tempo di ritorno.

La durata dell'evento meteorico ritenuto critico viene riportato nel report dei calcoli.

Per quanto attiene alla portata entrante nel serbatoio essa viene calcolata, mediante il modello cinematico, come somma delle portate generate dalle singole aree.

L'applicazione della procedura dettagliata prevede l'implementazione dei seguenti passaggi:

- calcolo ietogramma di pioggia di progetto lorda mediante lo ietogramma Chicago;
- depurazione delle piogge e calcolo dello ietogramma netto;
- calcolo dell'idrogramma in ingresso all'accumulo come somma degli idrogrammi generati dalla singola area;
- calcolo del bilancio del serbatoio e del battente idrico al suo interno minuto per minuto;
- calcolo del volume invasato e dell'idrogramma in uscita dall'invaso;
- calcolo del volume minimo di laminazione come valore massimo del volume invasato.

6.1.1 Ietogramma di pioggia di progetto

Per la definizione dell'evento di pioggia di progetto si può utilizzare lo ietogramma Chicago, sviluppato da Keifer e Chu nel 1957 con riferimento alla fognatura di Chicago. Tale ietogramma è caratterizzato da un picco d'intensità massima e da una intensità media per ogni durata, anche parziale, uguale a quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica. Analiticamente lo ietogramma Chicago è descritto da due equazioni, rispettivamente riferite al ramo crescente prima del picco e al successivo ramo decrescente dopo il picco.

Il calcolo dell'altezza di precipitazione h [mm], in funzione del tempo t [ore], viene calcolato con le seguenti.

$$h(t) = r \cdot a \left[\left(\frac{t_r}{r} \right)^n - \left(\frac{t_r - t}{r} \right)^n \right] \quad \text{per } t \leq t_r$$
$$h(t) = r \cdot a \cdot \left(\frac{t_r}{r} \right)^n + a \cdot (1 - r) \cdot \left(\frac{t - t_r}{1 - r} \right)^n \quad \text{per } t_r < t \leq t_p$$

Per durate superiori alla durata della precipitazione t_p esso rimane costante.

h [mm]: altezza di precipitazione

a [mm/oraⁿ]: parametro della linea segnalatrice di pioggia

n [-]: coefficiente di scala della linea segnalatrice di pioggia

r [-]: coefficiente di posizione del picco di precipitazione rispetto alla durata della pioggia

t [ore]: generico istante di calcolo

t_p [ore]: durata della precipitazione

t_r [ore]: tempo del picco di precipitazione pari a $t_p \cdot r$

I parametri a ed n adottati sono quelli che fanno riferimento alla durata della precipitazione di progetto.

Il range di applicazione del coefficiente di posizione risulta $0 \leq r \leq 1$. La sua posizione all'interno della durata complessiva θ dell'evento può essere scelta sulla base di indagini statistiche relative alla zona in esame, oppure in mancanza di informazioni si può porre $r=0,4$ valore medio che risulta dagli studi in materia riportati in letteratura.

Sulla base di tali formule l'intensità di precipitazione i [mm/h], al generico istante t [ore], viene calcolato con la seguente

$$i(t) = \frac{h(t) - h(t - \Delta t)}{\Delta t}$$

i [mm/ora]: intensità di precipitazione

Δt [ore]: passo di calcolo dell'intensità di precipitazione posto pari a 1 min.

6.1.2 Ietogramma di pioggia netto

Lo ietogramma di pioggia netto viene calcolato mediante il metodo di depurazione delle piogge di Horton.

Tale modello prevede che l'infiltrazione delle acque di pioggia nel sottosuolo decresce da un valore massimo iniziale legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico che eguaglia la conduttività idraulica a saturazione, la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda.

La rapidità con cui la curva esponenziale decresce, è anch'essa legata al tipo di suolo.

- Se $i_0 \geq f_0$:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

$f(t)$ [mm/ora]: infiltrazione al tempo t

f_c [mm/ora]: conduttività idraulica a saturazione

f_0 [mm/ora]: infiltrazione iniziale (per $t=0$)

k [1/ora]: costante di decadimento

- Se $i_0 < f_0$:

È necessario traslare tale curva di un intervallo di tempo t_0 tale che nel momento in cui si verifica l'intersezione tra la nuova curva d'infiltrazione e lo ietogramma di pioggia lordo ($i = f'$), il volume di pioggia affluito sia uguale a quello infiltrato ($I = F'$), ovvero:

$$\begin{cases} i(t_p) = f'(t_p - t_0) \\ I(t_p) = F'(t_p - t_0) \end{cases}$$

t_p [ora]: tempo di ponding; intersezione tra la curva di infiltrazione traslata e lo ietogramma di pioggia lordo

t_0 [ora]: tempo di traslazione della curva d'infiltrazione

i_p [mm/ora]: intensità di pioggia al tempo di ponding

$f(t_p - t_0)$ [mm/ora]: infiltrazione al tempo $t = t_p - t_0$

$I(t_p)$ [mm]: volume di pioggia affluito al tempo di ponding

$F'(t_p - t_0)$ [mm]: volume infiltrato al tempo $t = t_p - t_0$

Il tempo di ponding t_p ed il tempo di traslazione della curva d'infiltrazione t_0 vengono calcolati risolvendo numericamente il sistema di equazioni sopra riportato.

Il volume di infiltrazione si calcola come:

$$F'(t) = \int_0^t f(\tau) \cdot d\tau = f_c \cdot t + (f_0 - f_c) \cdot \frac{(1 - e^{-kt})}{k}$$

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton si fa riferimento a quanto riportato anche nel Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017 di Regione Lombardia, che suggerisce l'utilizzo dei valori riportati in Tabella seguente:

Valori parametri modello di Horton

Classe suolo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore ⁻¹]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Le classi d'uso del suolo sono quelle proposte dal Natural Resources Conservation Service:

- **Classe A** - Scarsa potenzialità di afflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili;
- **Classe B** - Potenzialità di afflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione;
- **Classe C** - Potenzialità di afflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione;
- **Classe D** - Potenzialità di afflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Lo ietogramma netto $i_n(t)$ si può calcolare come segue.

Per $t > t_p$ e $i(t) > f(t)$:

$$i_n(t) = i(t) - f'(t)$$

Altrimenti:

$$i_n(t) = 0$$

i_n [mm/ora]: intensità di pioggia netta

i [mm/ora]: intensità di pioggia lorda

t_p [ore]: tempo di "ponding"

f [mm/ora]: intensità d'infiltrazione (curva di Horton traslata)

6.1.3 Ietogramma di pioggia netto

L'idrogramma in ingresso all'invaso viene calcolato come somma degli idrogrammi delle singole aree.

Nello specifico si adotta il modello cinematico, ipotizzando una curva area tempi lineare.

Le equazioni generali di riferimento sono, in forma discretizzata, le seguenti.

$$\begin{cases} q_k = \sum_{j=1}^k p_j \cdot IUH_{k-j+1} \cdot \Delta t \\ p_j = \frac{2,78}{1000} \cdot i_{n,j} \cdot A \\ IUH_{k-j+1} = \frac{1}{A} \cdot \frac{A_{k-j+1}}{\Delta t} \end{cases}$$

q_k [m³/s]: portata all'istante di tempo $t = k \cdot \Delta t$

p_j [m³/s]: volume di pioggia netta all'istante di tempo $t = j \cdot \Delta t$

$i_{n,j}$ [mm/ora]: intensità di pioggia netta all'istante di tempo $t = j \cdot \Delta t$

Δt [ore]: intervallo di tempo considerato, pari ad 1 minuto

IUH_{k-j+1} [-]: idrogramma istantaneo unitario all'istante di tempo $t = (k - j + 1) \cdot \Delta t$

A_{k-j+1} [ha]: porzione di bacino alla sezione di chiusura all'istante di tempo $t = (k - j + 1) \cdot \Delta t$

A [ha]: area totale dell'intervento

In mancanza d'indicazioni specifiche, si consideri la curva aree-tempi lineare, caso particolare per cui l'idrogramma istantaneo unitario (IUH) risulta costante nel tempo e pari:

$$IUH_{k-j+1} = \frac{1}{t_c}$$

t_c [ore]: tempo di corrvazione

Il tempo di corrvazione t_c , nelle reti di drenaggio urbano può essere calcolato come:

$$t_c = t_e + \frac{t_r}{1,5}$$

t_e [ore]: tempo di entrata in rete

t_r [ore]: tempo di rete del percorso idraulicamente più lungo a monte della sezione di calcolo

1,5: coefficiente di taratura

Il tempo di rete t_r si può calcolare come, il valore massimo di percorrenza di tutti i percorsi possibili:

$$t_r = \max_j \left\{ \sum_i \frac{L_{i,j}}{V_{r,i,j}} \right\}$$

j [-]: j-esimo percorso possibile lungo la rete fino alla sezione di calcolo considerata

i [-]: i-esimo ramo lungo il j-esimo percorso

L_{ij} [m]: lunghezza dell'i-esimo ramo lungo il j-esimo percorso

V_{rij} [m/s]: velocità a pieno riempimento dell'i-esimo ramo lungo il j-esimo percorso

La velocità a pieno riempimento V_r si può calcolare utilizzando l'equazione di Chezy-Strickler:

R [m]: raggio idraulico, che per condotte circolari risulta pari a: $R = D/4$

D [m]: diametro interno della condotta

i [-]: pendenza della condotta

k_s [$m^{1/3}/s$]: coefficiente di scabrezza della condotta di Strikler

Per piccole superfici, quali tetti e cortili interni, il tempo di corrivazione è generalmente molto piccolo e può essere assunto pari al tempo di ingresso in rete, per cui in assenza di dati specifici relativi al caso in esame, possono essere presi a riferimento i valori in tabella seguente.

Valori proposti in letteratura per la stima del tempo di entrata in rete

Tipi di bacini	t_e [min]
Centri urbani intensivi con tetti collegati direttamente alle canalizzazioni e con frequenti caditoie stradali	$5 \div 7$
Centri commerciali con pendenze modeste e caditoie meno frequenti	$7 \div 10$
Aree residenziali di tipo intensivo con piccole pendenze e caditoie poco frequenti	$10 \div 15$

Il tempo di base dell'idrogramma di piena t_b si calcola come $t_b = \theta + t_c$, dove θ è la durata della precipitazione.

6.1.4 Calcolo portata infiltrata

La portata infiltrata viene calcolata adottando la formula di Darcy.

$$Q_{inf} = K_{calc} \cdot i \cdot A_f$$

Q_{inf} [m^3/s]: portata infiltrata

K_{calc} [m/s]: coefficiente di permeabilità di calcolo del terreno a lungo termine

i [m/m]: gradiente idraulico

A_f [m^2]: superficie d'infiltrazione di calcolo

Nel calcolo del processo di infiltrazione vengono adottati valori cautelativi dei coefficienti di permeabilità del terreno idonei a rappresentare le reali condizioni di permeabilità a lungo termine.

6.1.5 Calcolo del volume invasato con il metodo di dettaglio

Il calcolo del volume invasato dal sistema di laminazione e della portata scaricata viene descritto dall'equazioni di continuità seguente.

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

Q_e [m^3/s]: portata in ingresso all'invaso

Q_u [m^3/s]: portata in uscita dall'invaso, scaricata o infiltrata

W [m^3]: volume invasato

t [s]: tempo

Dove il volume invasato W , in ipotesi di forma prismatica, è dato dalla seguente relazione.

$$W = W[H(t)] = A_{inv} \cdot H(t)$$

H [m]: battente idrico all'interno dell'invaso

A_{inv} [m^2]: area di base dell'invaso

Q_u è la legge di efflusso dell'invaso che dipende dal battente idrico H , come descritto nel paragrafo precedente.

$$Q_u = Q_u(H(t))$$

Q_e è la portata in ingresso all'invaso relativa al tempo di ritorno di progetto ed alla durata critica di progetto.

Risolvendo numericamente l'equazione di continuità è possibile definire istante per istante l'altezza del battente idrico, il volume invasato e la portata scaricata o infiltrata.

Il volume minimo che deve avere l'invaso W_0 è dato dal massimo valore di tutti i volumi d'acqua invasati in tutti gli intervalli di tempo i-esimi.

$$W_0 = \max_i(W_i)$$

7 CALCOLO DELLA MASSIMA PORTATA SCARICATA E TEMPO DI SVUOTAMENTO

7.1 Portata massima scaricata

In relazione alle portate massime scaricabili, dalle verifiche idrauliche effettuate risulta una portata complessiva Q_{max} pari a 10 l/s, corrispondente a 1.15 l/s-ha, considerando una superficie scolante pari a 8.7 ha.

7.2 TEMPO DI SVUOTAMENTO

Il tempo di svuotamento T_{sv} viene calcolato con la seguente.

$$T_{sv} = \frac{W}{Q_{inf}}$$

W [m3]: volume invasato massimo

Q inf [m3/s]: portata scaricata

8 DATI DI PROGETTO

Le superfici interessate dall'intervento sono così suddivise:

SUPERFICI INVARIANZA			
impermeabile	Area totale impianto	220,460.20	mq
	Locale tecnico	21.06	mq
	Cabina ENEL	23.33	mq
	Locali TRAFO *(6)	161.34	mq
	Superficie pannelli (27,5°) *(19980)	55,052.25	mq
semi-permeabile	Area strada interna sterrata	15,201.56	mq
permeabile	Area fascia di mitigazione	13,322.10	mq
	Area terreno agricolo coltivato	136,678.56	mq

Considerando un coefficiente di afflusso medio pari a **0,3961** risulta una **superficie scolante** pari a **87.324 m² (8.7 ha)**.

Il progetto, in virtù sia della litologia del terreno sia della tipologia di intervento, verrà realizzato mediante infiltrazione nel suolo agrario.

I pannelli che comporranno il parco agrivoltaico saranno montati su supporti tubolari nel terreno. Tali supporti sorreggeranno l'insieme dei pannelli assemblati, mantenendoli alti da terra, e fra le file di pannelli viene lasciata una fascia di ampia larghezza destinata alla coltivazione agricola secondo coltura identificata.

L'impatto per sottrazione di suolo dovuto alla presenza è da considerarsi poco significativo in quanto, una volta posati i moduli, l'area sotto i pannelli resta libera ed anch'essa coltivata secondo coltura identificata.

Nonostante quanto sopra, a scopo cautelativo, si è comunque considerato che la presenza dei pannelli cambi il **coefficiente di afflusso** relativo al terreno da 0.20 a **0.90**.

Le strade interne al parco agrivoltaico saranno del tipo a terra battuta.

9 RISULTATI DEI CALCOLI

Si riportano di seguito i risultati dei calcoli.

9.1 Caratteristiche generali

Comune di	Castel San Giovanni	Provincia	Piacenza
Classe dell'intervento	Impermeabilizzazione potenziale marcata		

Metodi di calcolo adottati			
Metodo analitico di dettaglio			

Portata massima scaricabile			
Portata massima scaricata x ettaro	1.15	$l/(s \cdot ha_{imp})$	$(10 l/s / 8.7 ha = 1.15 l/s \cdot ha)$

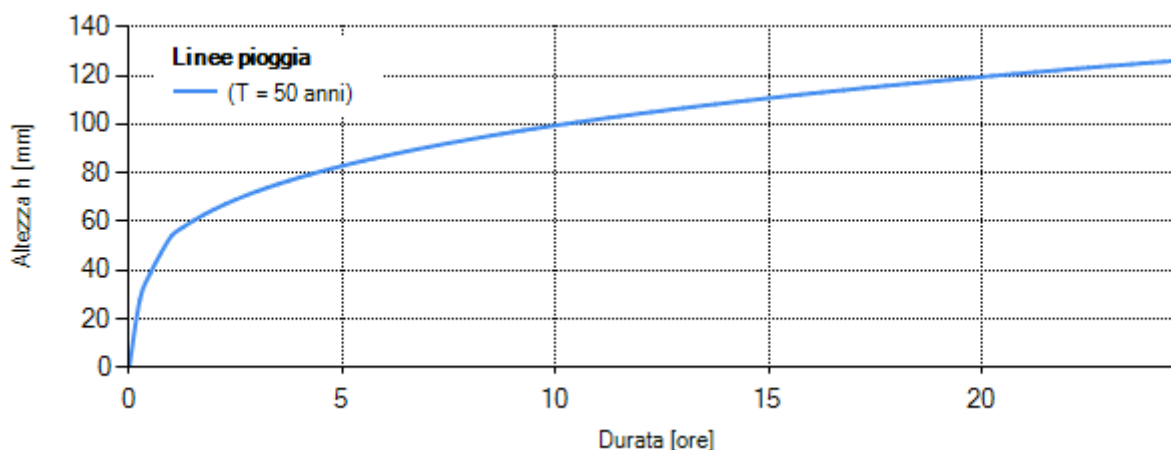
Definizione aree e caratteristiche idrologiche				
Descrizione	Tipo area	Superficie [m ²]	Coeff. Afflusso φ	T. corriv. tc [min]
CABINA, PIAZZOLA, PANNELLI FOTOVOLTAICI	Area impermeabile	55258.0	0.90	12
STRADE STERRATE	Area semi permeabile	15202.0	0.50	12
AREA AGRICOLA + AREA MITIGAZIONE	Area permeabile	150000.0	0.20	12

Sup. totale intervento	220460 m ²	Coeff. afflusso medio ponderale φ_m	0.3961
Sup. impermeabile scolante	87324 m ²		

9.2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica

Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica			
Tempo di ritorno	TR	50	anni
Coefficiente pluviometrico orario	a	54.26	mm/h ⁿ
Coefficiente di scala	n	0.2634	-
Coefficiente di scala (durata < 1 ora)	n ₁	0.4800	-

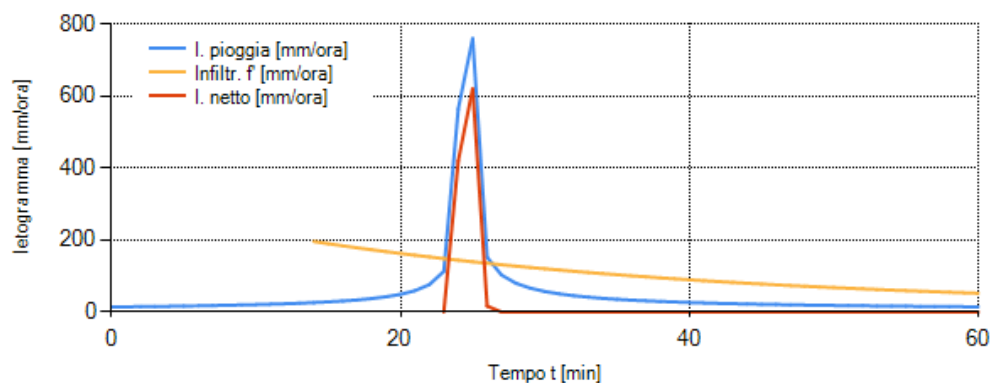
Linee pioggia - Grafico



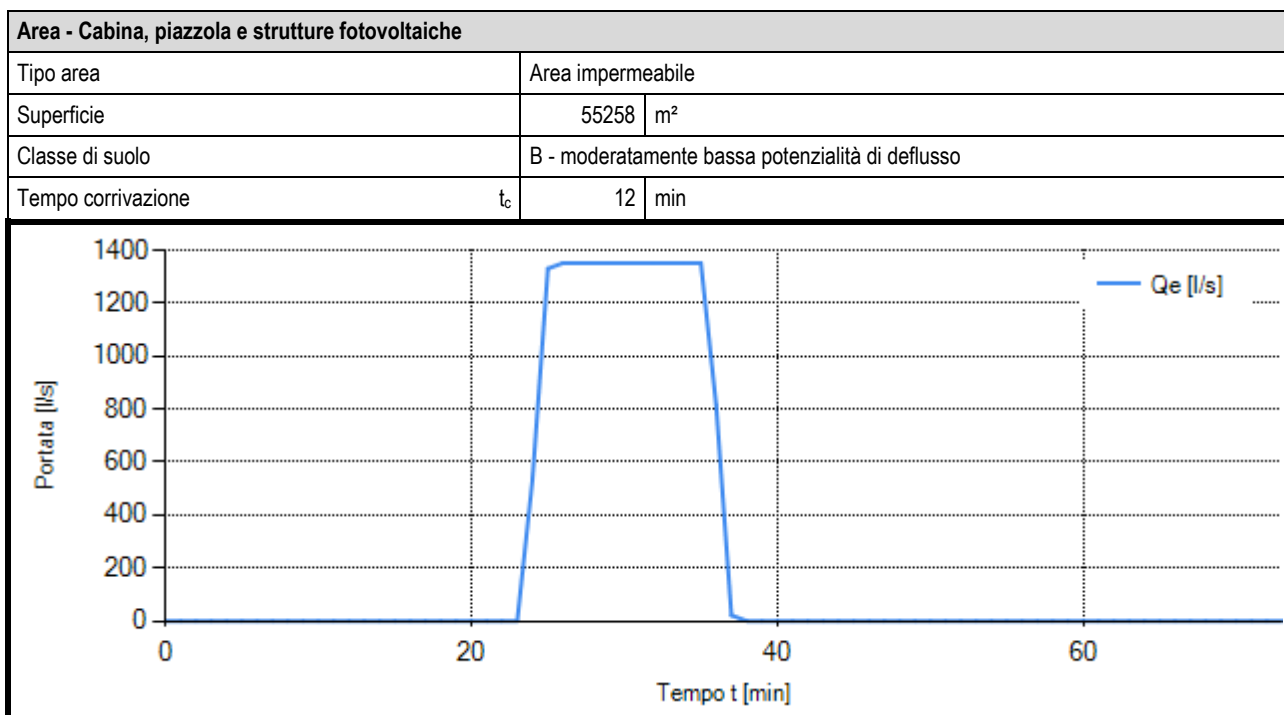
9.3 Ietogramma di pioggia

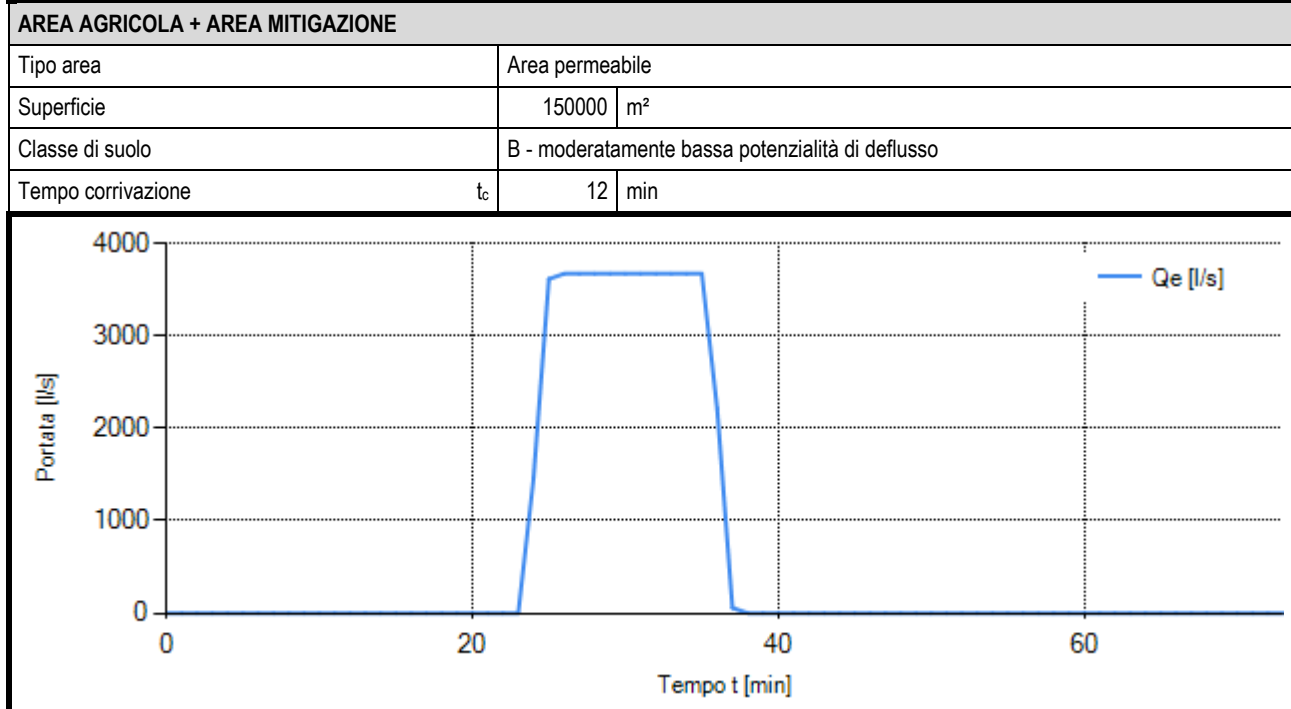
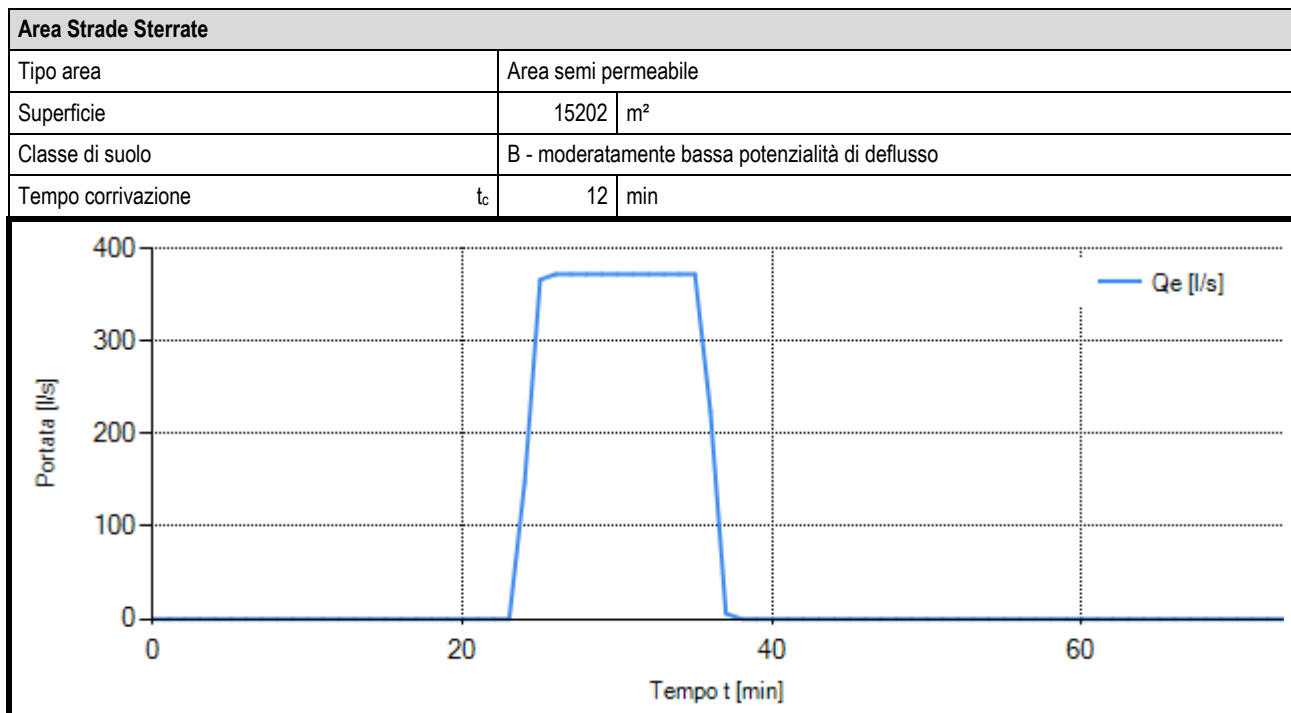
Definizione ietogramma di pioggia - Cinematico Chicago		
Durata pioggia di progetto (θ)	1.00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0.40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo di Horton	
Classe di suolo	B - moderatamente bassa potenzialità di deflusso	
Parametro f ₀	200	mm/h
Parametro f _c	12.7	mm/h
Parametro k	2	1/h

Ietogramma di pioggia



9.4 Idrogramma di piena





10 DIMENSIONAMENTO INVARIANZA

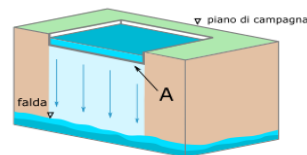
Metodo analitico di dettaglio

Durata critica	D_w	1,00	ore
Battente idrico massimo	H_{max}	0.018	m
Superficie di infiltrazione		220000	mq
Volume invaso minimo (volume da adottare)	W_0	3880	m³

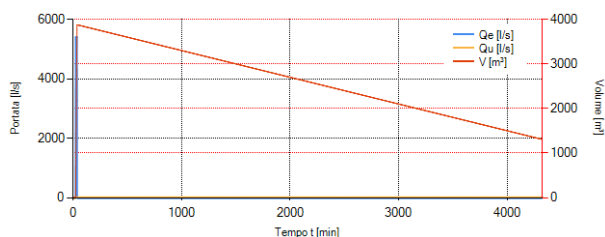
Metodologia: Modello cinematico, mediante integrale di convoluzione, con curva area tempi lineare e ietogramma tipo Chicago.

Sistema di scarico

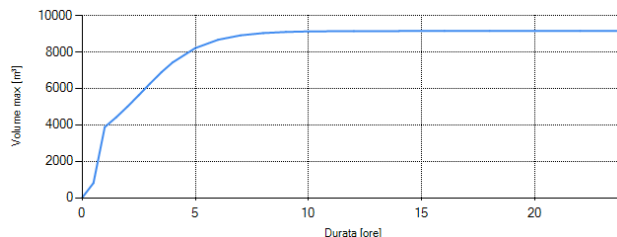
Tipologia di svuotamento	Infiltrazione a portata costante		
Portata massima scaricabile	$Q_{u,max}$	10	l/s
Coeff. permeabilità di calcolo	K_{calc}	1.00	m/s * 10 ⁻⁷
Gradiente idraulico	i	1.00	m/s
Area di infiltrazione (sup. agraria)	A_f	220000	m ²
Battente acqua massimo al suolo	h	20	mm



Variazione volume massimo invasato in funzione della durata della pioggia e Idrogramma totale



IDROGRAMMA TOTALE AREE



VOLUME INVASO

11 DIMENSIONAMENTO OPERA

La superficie da considerare ai fini dell'invarianza idraulica è di 220.460 mq con un coefficiente di afflusso medio pari a 0,3961 alla quale corrisponde una superficie impermeabile scolante di 87.237 m².

È stata considerata inoltre la proiezione della superficie dei moduli sul terreno considerando l'inclinazione media (pari a 27,5°) degli stessi, pari a 55.000 mq, tenendo conto però che le acque meteoriche si infiltreranno su tutta la superficie agraria sottostante.

Il volume dell'invaso avrà una cubatura minima pari a 3.880 m³.

Dividendo quindi il volume risultante per la superficie totale di 220.000 mq avremo che si formerà sul suolo un battente idrico massimo di circa 18 mm, acqua che poi verrà infiltrata nel suolo.

PLAMIMETRIA DI PROGETTO (fonte SE)



Il progetto, infatti, in virtù sia della litologia del terreno sia della tipologia di intervento, verrà realizzato mediante infiltrazione della pioggia gravante nel suolo agrario e, pertanto, assorbita dalle colture presenti.

Erbusco (BS), 10/06/2026



IL TECNICO
ING. MATTEO BONO



IL TECNICO
DOTT. GEOL. STEFANO SALVI