

Regione Emilia - Romagna

Comune di Forlì

Provincia di Forlì - Cesena

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

Lotto di impianti di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica

"FORLÌ 1" - "FORLÌ 2"

Via Rossellino, snc

Oggetto:

RELAZIONE DEL CALCOLO DI CONFORMITÀ IDRAULICA

Num. Rif. Lista:

-

Codifica Elaborato:

R-VCI

Studio di progettazione:



Servin
Servizi Integrati Gestionali Ambientali scpa
Circonvallazione Piazza d'Armi, 130 48122
Ravenna (RA)
C.F. e P.IVA 01465700399

Progettista:

Dott. Geol. MICHELA LAVAGNOLI



Incarico professionale ricevuto dalla Chiron Energy Asset Management S.r.l., società facente parte del Gruppo Chiron Energy.

Cod. File:

-

Scala:

-

Formato:

-

Codice:

PD

Rev.:

00

Rev.	Data	Descrizione revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
0	04/2025	Prima emissione	Geol. Michela Lavagnoli	Geol. Michela Lavagnoli	Geol. Michela Lavagnoli
1	-				
2	-				

INDICE

1	PREMESSA GENERALE	2
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO	5
3	CONTESTO AMBIENTALE DI RIFERIMENTO	7
3.1	Assetto geomorfologico	7
3.2	Assetto geologico e litostratigrafico.....	10
3.3	Acque superficiali.....	11
3.4	Acque sotterranee.....	15
4	INVARIANZA IDRAULICA	17
4.1	DETERMINAZIONE DEL VOLUME DI INVASO.....	17
5	OPERE DI PROGETTO AI FINI DELL'INVARIANZA IDRAULICA.....	21
6	ASPETTI CONCLUSIVI	22

1 PREMESSA GENERALE

La presente relazione riporta la valutazione dei volumi necessari per il mantenimento dell'invarianza idraulica relativa al progetto per la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico nel territorio comunale di Forlì (FC), il cui intervento interesserà una superficie complessiva di circa 11,3 ha. L'impianto sarà collegato alla rete pubblica mediante un elettrodotto interrato.

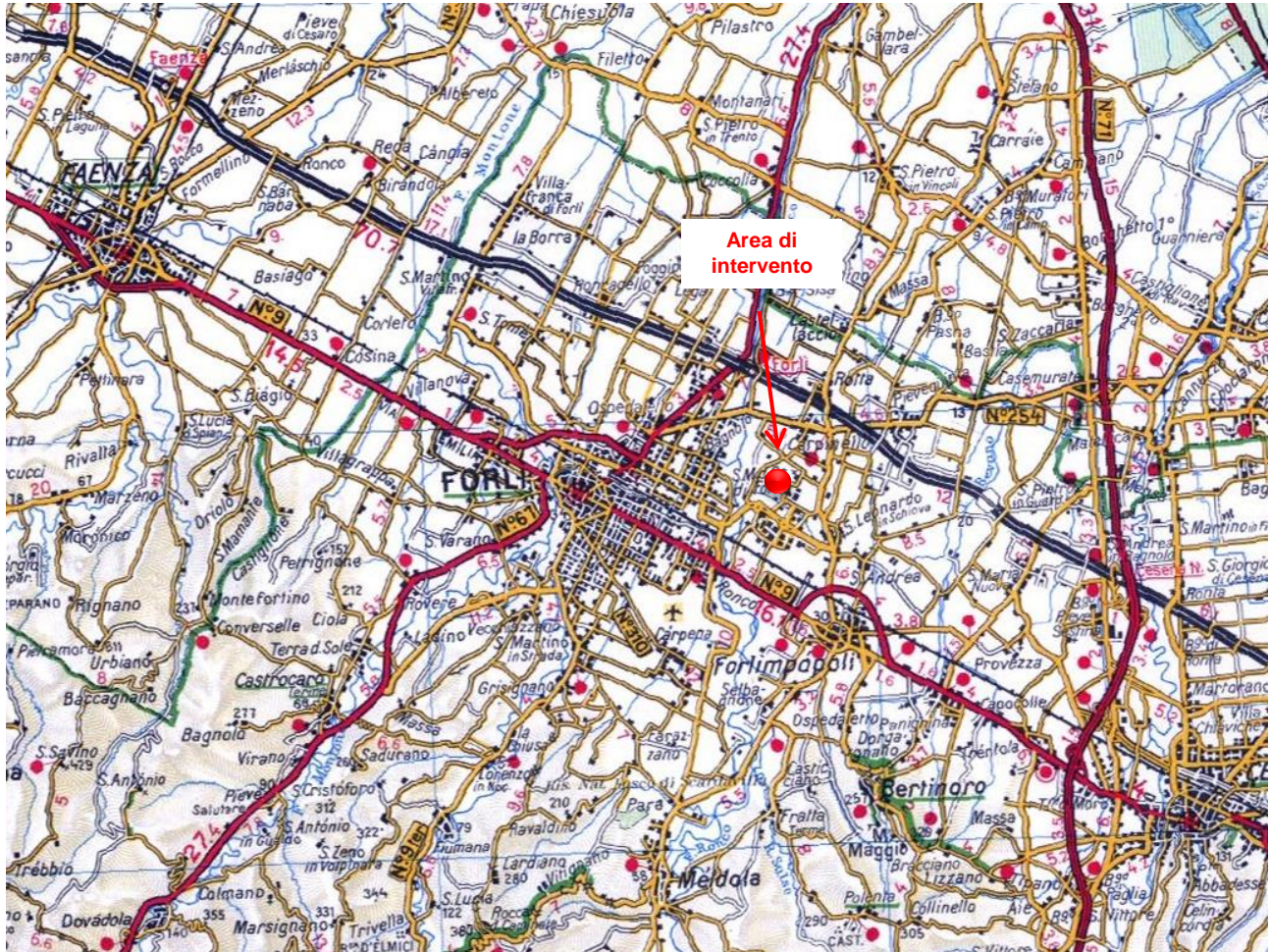


Figura 1.1 – Ubicazione area di progetto



Figura 1.2 – Panoramica dell'area da via Rossellino e da via del Santuario



Figura 1.3 – Ubicazione area di progetto su ortofoto (fonte: google earth)



Figura 1.4 - Dettaglio foto aere dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico (Fonte: Google earth)

Per la stima dei volumi necessari per garantire l'Invarianza Idraulica, si può fare riferimento alla "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" – 2017, che contiene le indicazioni tecniche relative all'esecuzione degli studi, delle verifiche e delle valutazioni di carattere idrologico ed idraulico, ed individua gli accorgimenti tecnico-costruttivi e i criteri di pianificazione in base ai quali i soggetti competenti, svolgono i propri compiti al fine di perseguire un assetto territoriale sostenibile nei termini della sicurezza dei beni e delle persone rispetto ai rischi idraulici e della qualità dell'ambiente fluviale.

La Direttiva del 2017, distingue i casi in merito classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici, proponendo la Tabella riportata di seguito, la quale distingue gli interventi in base all'estensione superficie d'intervento ed alla percentuale di superficie da ritenersi impermeabile dopo l'intervento.

Classe di Intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $Imp > 0,3$

Classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici ai fini dell'invarianza idraulica

La metodologia prevede che la misura del volume minimo d'invaso w da prescrivere in aree sottoposte a una quota di trasformazione I (% dell'area che viene trasformata) e in cui viene lasciata inalterata una quota P (tale che $I+P=100\%$) è data dal valore convenzionale:

$$w = w^{\circ} (\varphi / \varphi^{\circ})^{1/(1-n)} - 15 I - w^{\circ} P \quad (1)$$

essendo:

$w^{\circ} = 50 \text{ mc/ha}$,

φ = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione,

φ° = coefficiente di deflusso prima della trasformazione,

$n = 0.48$ (esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%,

I e P espressi come frazione dell'area trasformata.

Il volume così ricavato è espresso in mc/ha e deve essere moltiplicato per l'area totale dell'intervento (superficie territoriale, St), a prescindere dalla quota P che viene lasciata inalterata.

Per la stima dei coefficienti di deflusso φ e φ° si fa riferimento alla relazione convenzionale:

$$\varphi^{\circ} = 0.9 Imp^{\circ} + 0.2 Per^{\circ} \quad (2-a)$$

$$\varphi = 0.9 Imp + 0.2 Per \quad (2-b)$$

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO

Il campo fotovoltaico, con potenza nominale complessiva di 11.994,84 kW, sarà costituito da un totale di 18.174 moduli fotovoltaici e 38 inverter multistringa. L'estensione complessiva dell'area recintata risulta pari a circa 11,3.ha.



Figura 2-1 Vista aerea del campo fotovoltaico in progetto

L'impianto sarà di tipo fisso, senza parti in movimento (tracker). I moduli fotovoltaici saranno esposti a sud (orientamento di 0°) e un'inclinazione rispetto al piano orizzontale di 25° (tilt).

Oltre alle strutture metalliche necessarie per il fissaggio dei moduli fotovoltaici, all'interno dell'area saranno realizzate n.9 cabine prefabbricate per il parallelo, la trasformazione e l'immissione in rete dell'energia elettrica prodotta dall'impianto:

- n.5 cabine MT/BT denominate "Cabina MT/BT 1.A", "Cabina MT/BT 1.B", "Cabina MT/BT 2.A", "Cabina MT/BT 2.B", "Cabina MT/BT 2.C";
- n. 2 cabine MT utente denominate "Cabina Utente 1" e "Cabina Utente 2";
- n. 1 cabina di Consegna (locale DSO + locale MISURA) denominata "Cabina di Consegna BERNARDO_FV";
- n.1 cabina di Sezionamento denominata "Cabina di Sezionamento SANTUARIO_SZ".

Le cabine saranno appoggiate su platee di fondazione in calcestruzzo, inoltre una parte di superficie sarà interessata dalla viabilità e dai piazzali. L'area è attraversata da una linea DN 150 RETE METANO -SNAM che attraversa il fondo trasversalmente nella porzione sud-est dell'area, dalla quale sarà mantenuta un'opportuna fascia di rispetto.

In sintesi, i dati salienti dell'intervento (cfr. Relazione tecnica generale) sono:

- superficie intervento 131.314 m²;
- superficie recintata 113.680 m²;
- n° moduli fotovoltaici: 18.174;
- superficie pannelli proiettata a terra 44.492 m²;
- superficie impermeabile per fondazioni cabine 201 m²;
- superfici semipermeabile per la viabilità interna all'area recintata e piazzali in stabilizzato: 4.402 m².
- superfici semipermeabile per la viabilità esterna all'area recintata: 599 m².

Le strutture metalliche di sostegno dei moduli fotovoltaici saranno costituite da un sistema per installazione in campo aperto di tipo bipalo modulare, e saranno formate da:

- corpo di sostegno;
- traverse fissate al sostegno, costituite da profili integrati da scanalature;
- fondazioni costituite semplicemente da un profilato in acciaio zincato a caldo conficcato nel terreno.

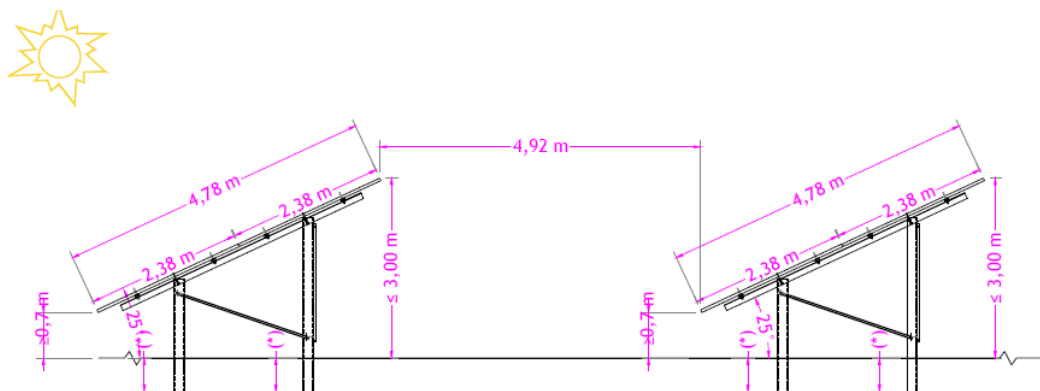


Figura 2-2 – Profilo delle file dei pannelli fotovoltaici

In fase di esercizio le aree di impianto non saranno interessate da copertura o pavimentazione impermeabile, a meno delle aree occupate dalle cabine, piazzali e strade.

3 CONTESTO AMBIENTALE DI RIFERIMENTO

3.1 Assetto geomorfologico

L'area dove verrà realizzato l'impianto risulta pianeggiante con quote comprese tra circa 20 e 21,5 m slm (Figura 3.1).

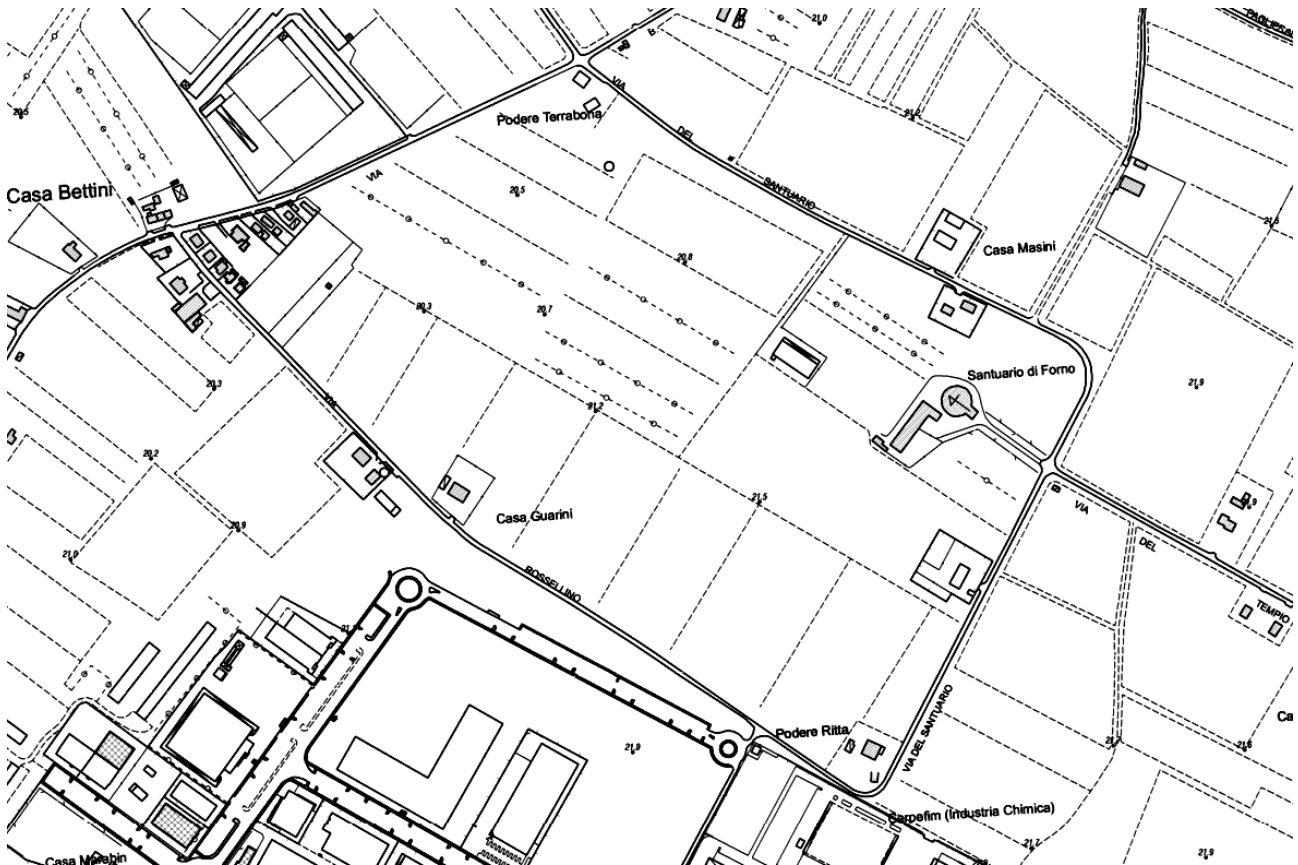


Figura 3.1 – Quote topografiche in prossimità dell'area di intervento tratte dalle CTR 240143 e 240144

L'agente morfogenetico che ha maggiormente contribuito alla genesi ed evoluzione delle forme che caratterizzano il territorio è probabilmente il reticolo delle acque incanalate. L'evoluzione della pianura olocenica è infatti riconducibile ad un modello semplice, nel quale i corsi d'acqua appenninici, a valle delle conoidi pedemontane, poco attive durante l'Olocene (ultimi 15.000 anni), oggi prevalentemente in erosione, tendono a proseguire verso il collettore principale su alvei pensili, formati da sedimenti che il corso d'acqua non è più in grado di portare in carico.

I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto; questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali. In assenza di argini artificiali i fiumi tendono a divagare e quando le acque di piena traboccano si verifica un deposito differenziato con la sedimentazione di elementi fini o grossolani in funzione della diversa energia cinetica della corrente. In prossimità dell'alveo il fiume tende a depositare materiali più grossolani formando dossi di tracimazione (argini naturali), oltre che ventagli e canali di esondazione in corrispondenza delle rotte; tali emergenze morfologiche si manifestano sia lungo i corsi attuali dei fiumi che in corrispondenza di alvei abbandonati (paleoalvei). Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse. L'accrezione della pianura emiliano-romagnola è avvenuta perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente a causa dei continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente legati ai processi strutturali e di sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo.

Le strutture riconosciute cartograficamente nell'intorno dell'area di intervento sono rappresentate da tracce di alvei abbandonati, sui quali sono state impostate alcune delle viabilità presenti e orli di terrazzo, in prossimità dell'alveo del fiume Ronco. In corrispondenza dell'area di intervento non sono presenti elementi geomorfologici, Figura 3.2.

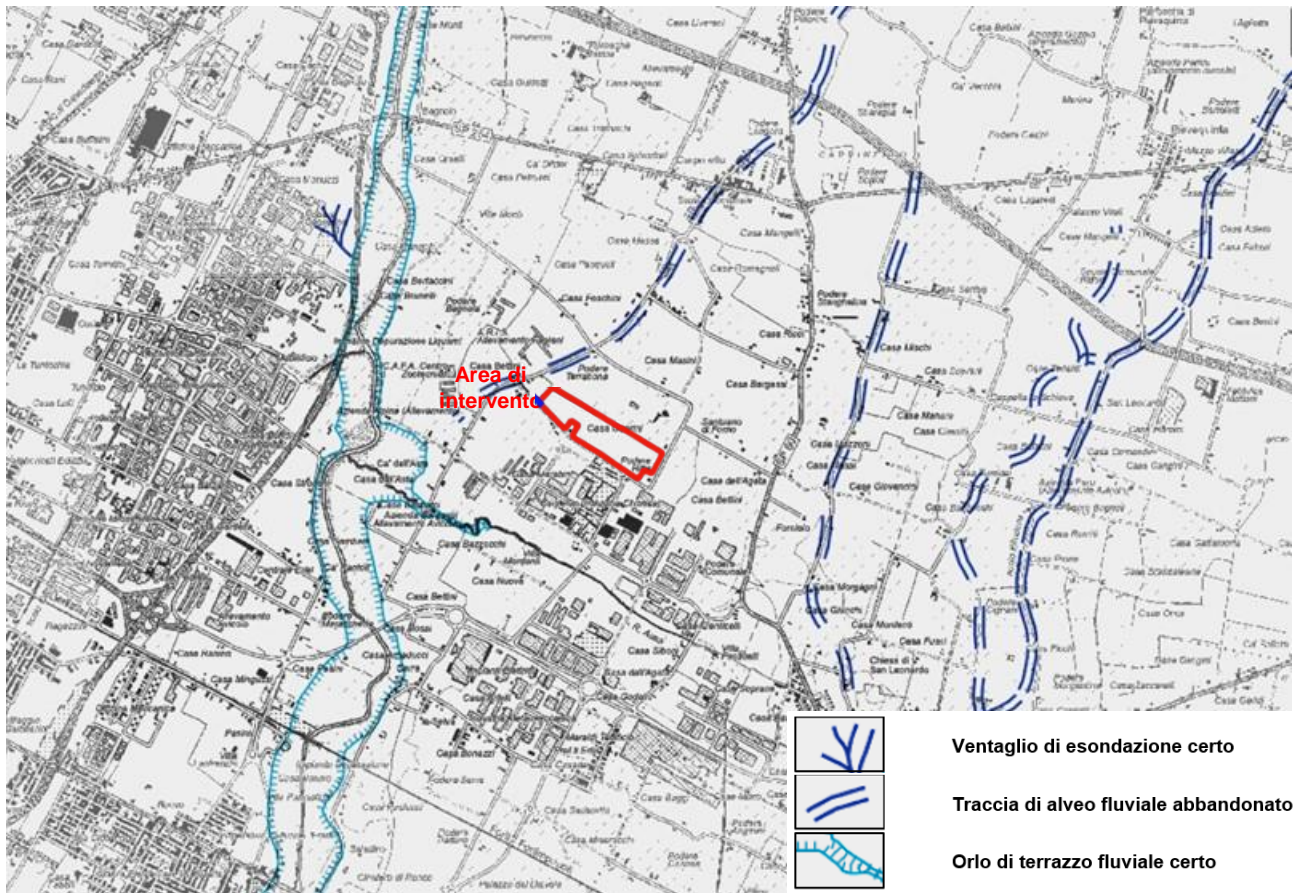


Figura 3.2 – Geomorfologia dell'area di intervento (Fonte: Sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>)

Un elemento caratterizzante l'attuale assetto geomorfologico è rappresentato dalla subsidenza: il graduale abbassamento del suolo trae origine da cause naturali insite nel territorio, quali, principalmente, la tettonica, che coinvolge i sedimenti profondi della pianura, ed il costipamento dei terreni ad opera del carico litostatico; a queste si sommano altre cause legate all'attività dell'uomo, soprattutto in riferimento all'estrazione di fluidi dal sottosuolo. Tra questi, lo sfruttamento delle acque sotterranee è senz'altro uno degli agenti più significativi. Gli studi effettuati sull'evoluzione del fenomeno mostrano chiaramente la correlazione fra interventi dell'uomo e cambiamenti nelle tendenze della subsidenza.

Senza entrare nel dettaglio sulle cause responsabili della subsidenza, date le finalità del presente studio, è comunque possibile eseguire una valutazione di massima sugli abbassamenti del suolo avvenuti negli ultimi anni nell'area di indagine. L'azione di monitoraggio del fenomeno della subsidenza viene attualmente svolto da Arpa: l'attività principale riguarda il rilievo periodico dei movimenti verticali del suolo sull'intero territorio di pianura della regione. Il prodotto finale è la carta delle velocità di movimento verticale del suolo, aggiornata al periodo intercorso tra l'ultimo rilievo e il rilievo precedente. L'aggiornamento viene realizzato con frequenza circa quinquennale, su incarico specifico della Regione Emilia-Romagna, Servizio Tutela e risanamento risorsa acqua. La cartografia prodotta viene utilizzata per i rispettivi compiti d'istituto, in particolare, da Servizi tecnici di bacino della Regione, Province, Autorità di bacino e Comuni.

Nelle figure sottostanti si riporta lo stralcio, relativo all'area di studio, della velocità di movimento verticale del suolo, rappresentata da isocinetiche, misurata rispettivamente nei periodi, 2006÷2011, 2011÷2016 e 2016÷2021.

Le isocinetiche nel periodo 2006÷2011 mostrano che l'area ove verrà realizzato l'impianto fotovoltaico presenta velocità di abbassamento verticale era compresa tra 7,5 e 5 mm/anno (Figura 3.3). Nel periodo

successivo, 2011÷2016 la velocità si riduce, risultando inferiore a 2,5 mm/anno, (Figura 3.4), infine nel periodo successivo il tasso di subsidenza risulta compreso tra 2,5 e 5 mm/anno, Figura 3.5.

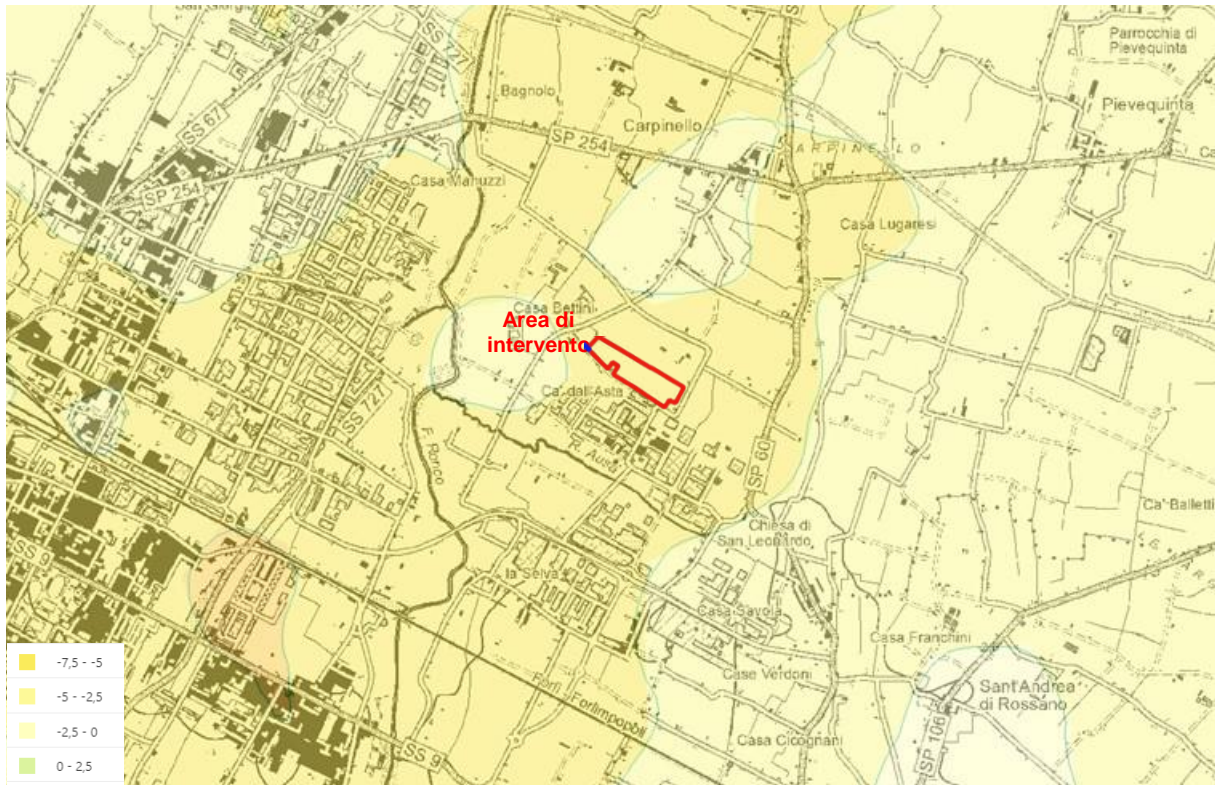


Figura 3.3 – Subsidenza nel periodo 2006÷2011 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

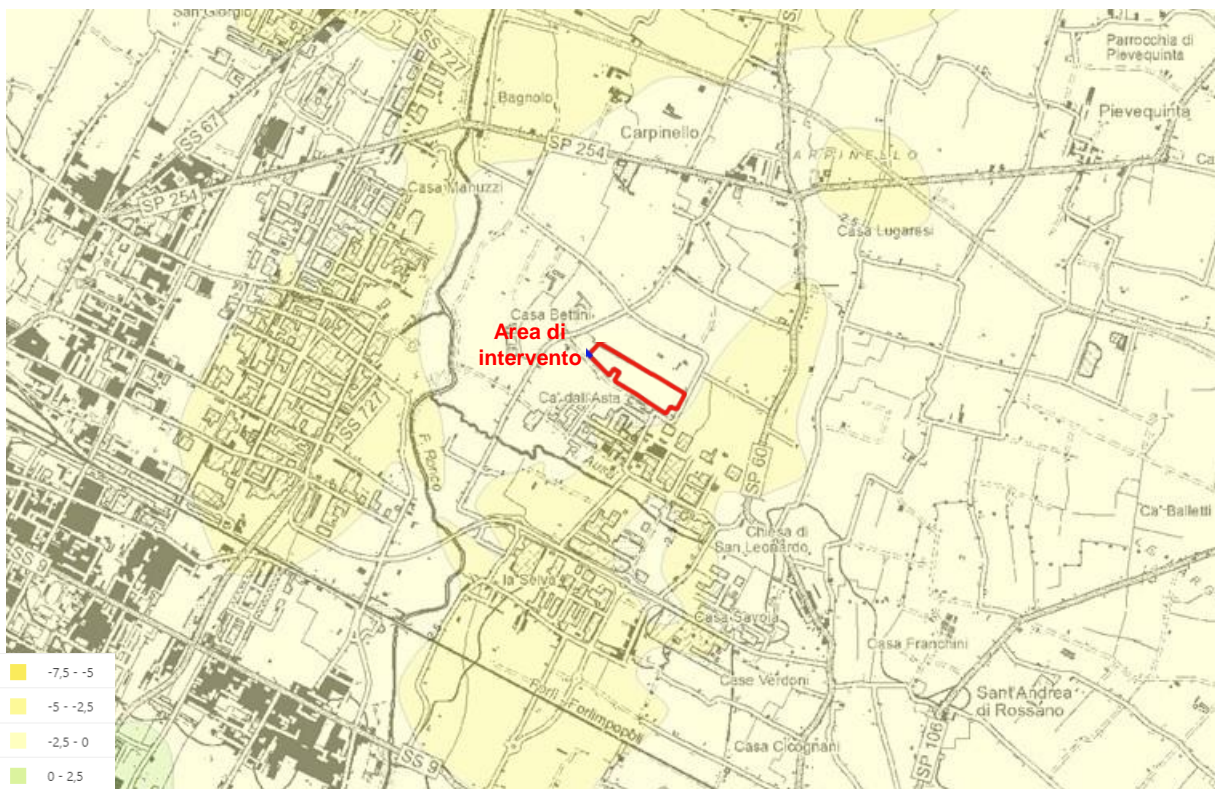


Figura 3.4 – Subsidenza nel periodo 2011÷2016 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

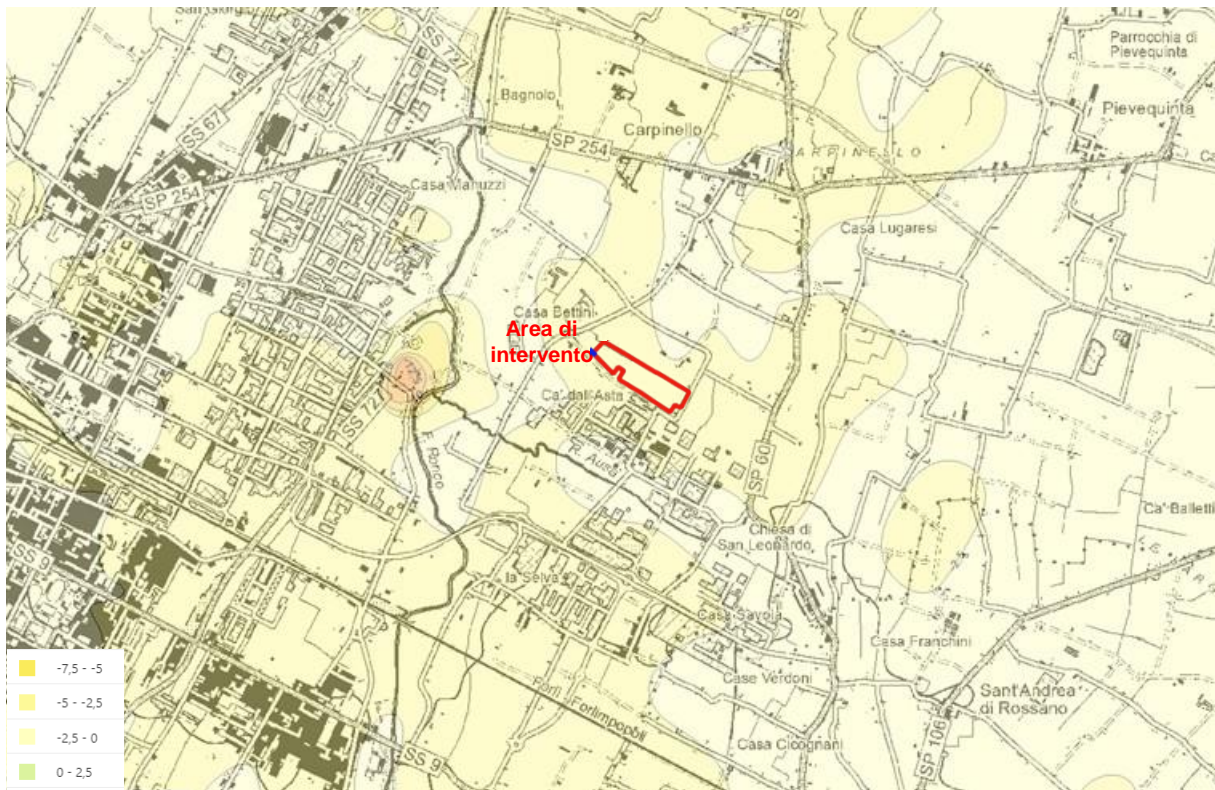


Figura 3.5 – Subsidenza nel periodo 2016÷2021 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

3.2 Assetto geologico e litostratigrafico

I terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di tipo alluvionale, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale.

Le caratteristiche litologiche dei terreni superficiali, riportate in Figura 3.6, sono state desunte dalla cartografia geologica messa a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (Sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>).

La carta descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche delle unità stratigrafiche subaffioranti ovvero dei terreni presenti sino ad una profondità media di circa 2÷3 m dal piano campagna. Secondo quanto indicato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna per la realizzazione della carta geologica sono stati utilizzati i dati derivanti dall'interpretazione di foto aeree e da satellite, da indagini geognostiche quali sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche e da trivellate a mano (tra cui i dati messi a disposizione dall'Ufficio Pedologico).

I depositi di superficie si riferiscono interamente al subsistema più recente (Subsistema di Ravenna - AES8) del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) la cui unità cartografica di rango gerarchico inferiore è l'unità di Modena (AES8a) che costituisce la parte sommitale di AES8.

In particolare, nell'area di intervento, sono presenti depositi attribuibili ad ambienti di piana alluvionale costituiti da sabbie limoso argillose e limi argilloso sabbiosi.

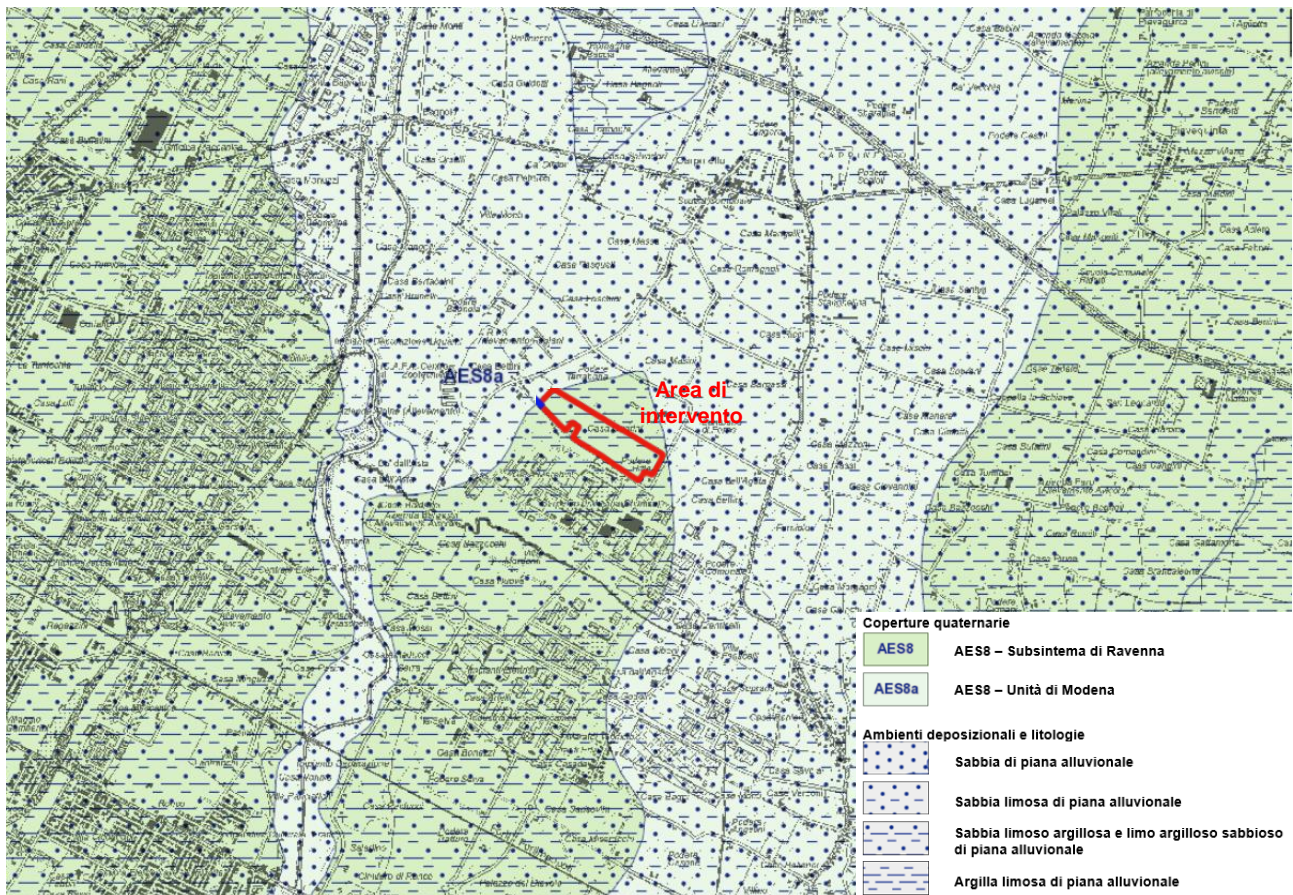


Figura 3.6 – Carta geologica, (Fonte: Sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>)

3.3 Acque superficiali

L'elemento idrografico principale è rappresentato dal Fiume Ronco, che scorre a circa 1 km ad ovest dell'area di intervento. Il Fiume Ronco insieme al Montone costituisce il bacino dei Fiumi Uniti, delimitato dallo spartiacque appenninico quasi interamente coincidente con il confine regionale, dal bacino del Fiume Lamone, in sinistra idraulica, mentre in destra è confinante con il bacino del Fiume Savio. Costituisce il più importante sistema idrografico della Romagna con una estensione di circa 1240 km²; i due corsi d'acqua principali, Ronco e Montone, confluiscono all'altezza della città di Ravenna (e da cui deriva l'attuale denominazione di Fiumi Uniti); inoltre appartiene al bacino il Fiume Rabbi, che diviene affluente del Montone appena giunto in pianura, alle porte della città di Forlì.

Originariamente i Fiumi Ronco e Montone sfociavano separatamente nel mare Adriatico; in seguito, per motivi di sicurezza idraulica dell'abitato di Ravenna, furono regimati in un unico tratto terminale, mentre il vecchio corso fu trasformato in canale navigabile e successivamente obliterato.

Il Fiume Ronco è formato dall'unione di tre rami: Bidente di Corniolo (1400 m slm), Bidente di Ridracoli (1200 m slm), Bidente di Strabatenza (1200 m slm); i tre rami si uniscono nei pressi di Isola. Sviluppa una lunghezza di 80 km circa. Nella parte alta del bacino, segnatamente nel sottobacino del Bidente di Ridracoli, sorge una diga di sbarramento (Ridracoli) che forma un invaso artificiale di circa 33 milioni di metri cubi.

Inoltre in prossimità dell'area di intervento è presente un reticolo di canali per il drenaggio delle acque meteoriche: lungo la via del Santuario, a nord del sito, scorre un ramo del canale Tassinara Vecchia con la funzione di scolo delle acque meteoriche, (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Rete idrografica (Fonte: Geoportale Regione Emilia Romagna)

In adempimento alla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita con il D. Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49, la Regione Emilia-Romagna nel dicembre 2013, ha pubblicato una cartografia riguardante le aree che potrebbero essere interessate da inondazioni di corsi d'acqua naturali e artificiali; nelle mappe della pericolosità cartografate in base agli ambiti (reticolo principale, reticolo secondario collinare-montano, reticolo secondario di pianura, area costiera marina) e ai bacini/distretti idrografici di riferimento i rispettivi raggruppamenti vengono indicati gli scenari:

- ✓ alluvioni frequenti (H) = TR 30 – 50 anni;
- ✓ alluvioni poco frequenti (M) = TR 100 – 200 anni;
- ✓ alluvioni rare (L) = TR fino a 500 anni.

Ad oggi sono disponibili i dati di pericolosità relativi al secondo ciclo di attuazione della Direttiva 2007/60/CE, conclusosi nel dicembre 2021, definitivamente approvati dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po con Decreto Segretariale (DS) n. 43/2022 del 11 aprile 2022. Si tratta delle mappe di pericolosità più aggiornate del PGRA vigente perché accolgono i dati relativi all'ultima fase del percorso di aggiornamento delle mappe (2021-2022), comprensivo del percorso di osservazione e partecipazione.

In riferimento al reticolo idrografico principale il sito non rientra in aree a pericolosità, mentre l'elettrodotto attraversa aree di pericolosità P2 – alluvioni poco frequenti.

In riferimento al reticolo secondario l'intervento, nel complesso, ricade in uno scenario di pericolosità P2 – alluvioni poco frequenti (Figura 3.8 e Figura 3.9).

Il progetto per quanto riguarda il rischio da alluvioni in riferimento al reticolo principale non rientra in aree di rischio mentre l'elettrodotto attraversa aree a rischio medio R2. Per quanto concerne il reticolo secondario l'impianto e l'elettrodotto rientrano in aree a rischio moderato (R1), (Figura 3.10 e Figura 3.11).

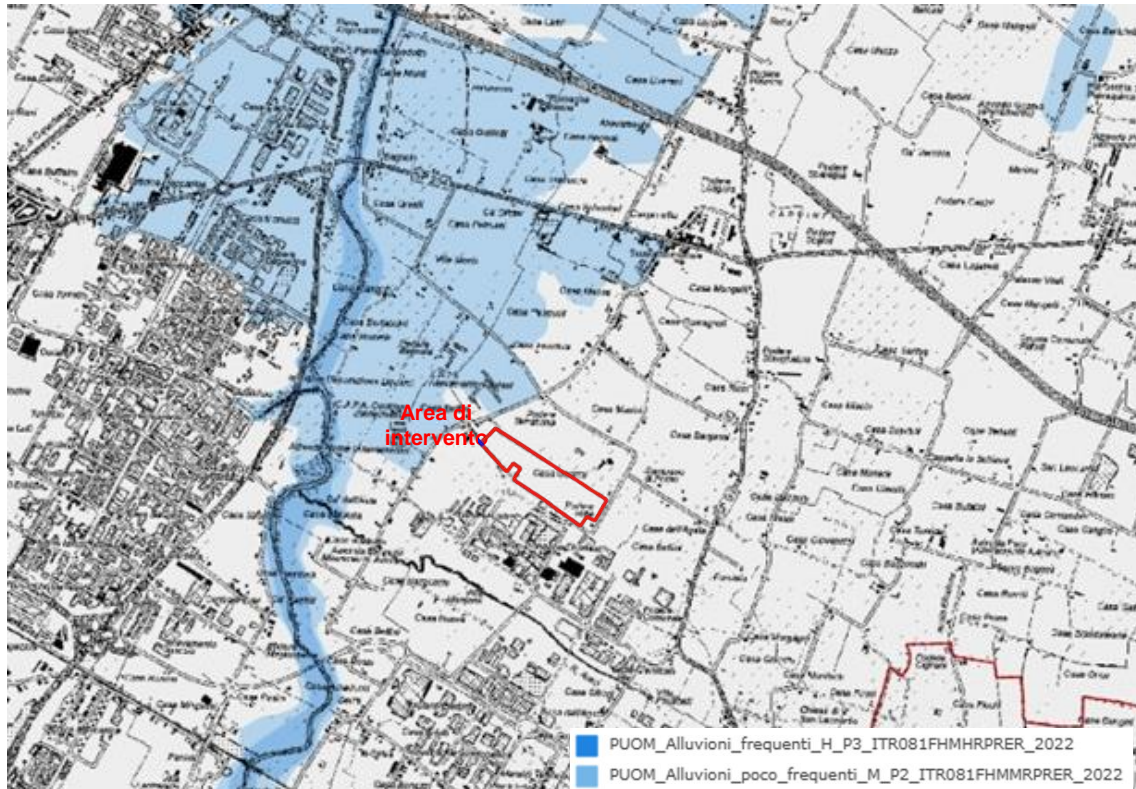


Figura 3.8 - Alluvioni reticolo principale - Stralcio della Mappa di pericolosità (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>))

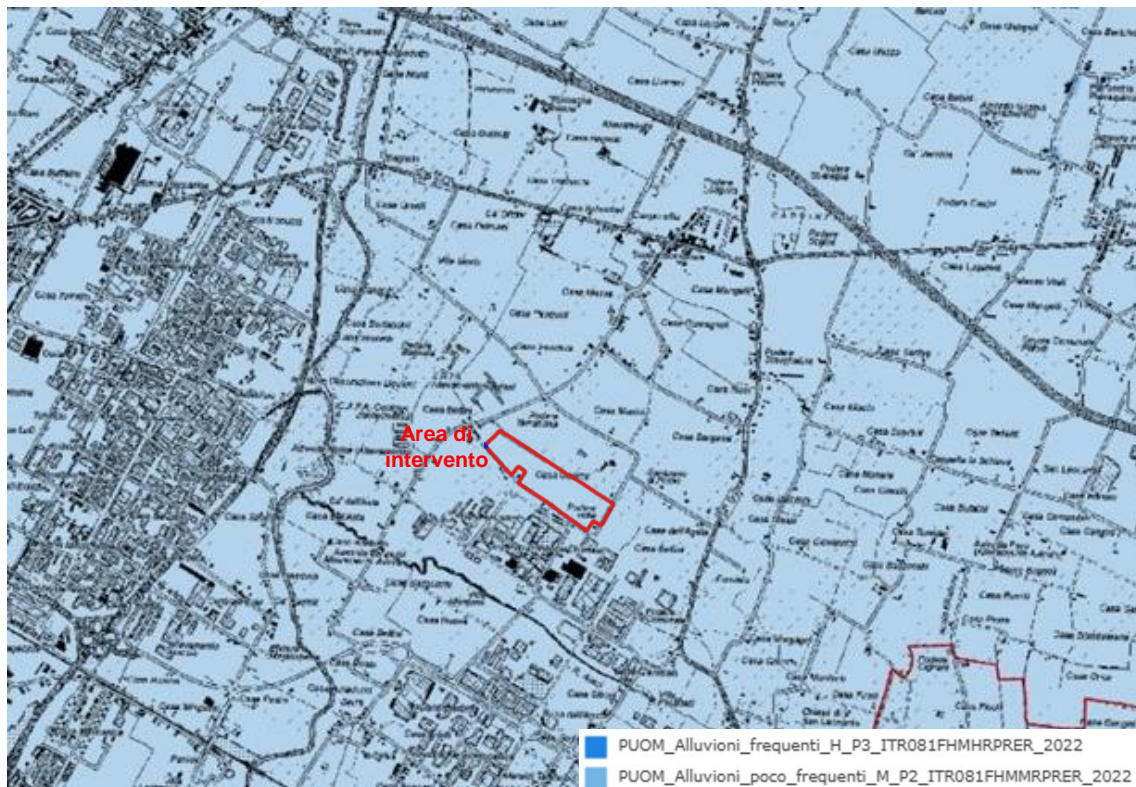


Figura 3.9 - Alluvioni reticolo secondario - Stralcio della Mappa di pericolosità (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>))

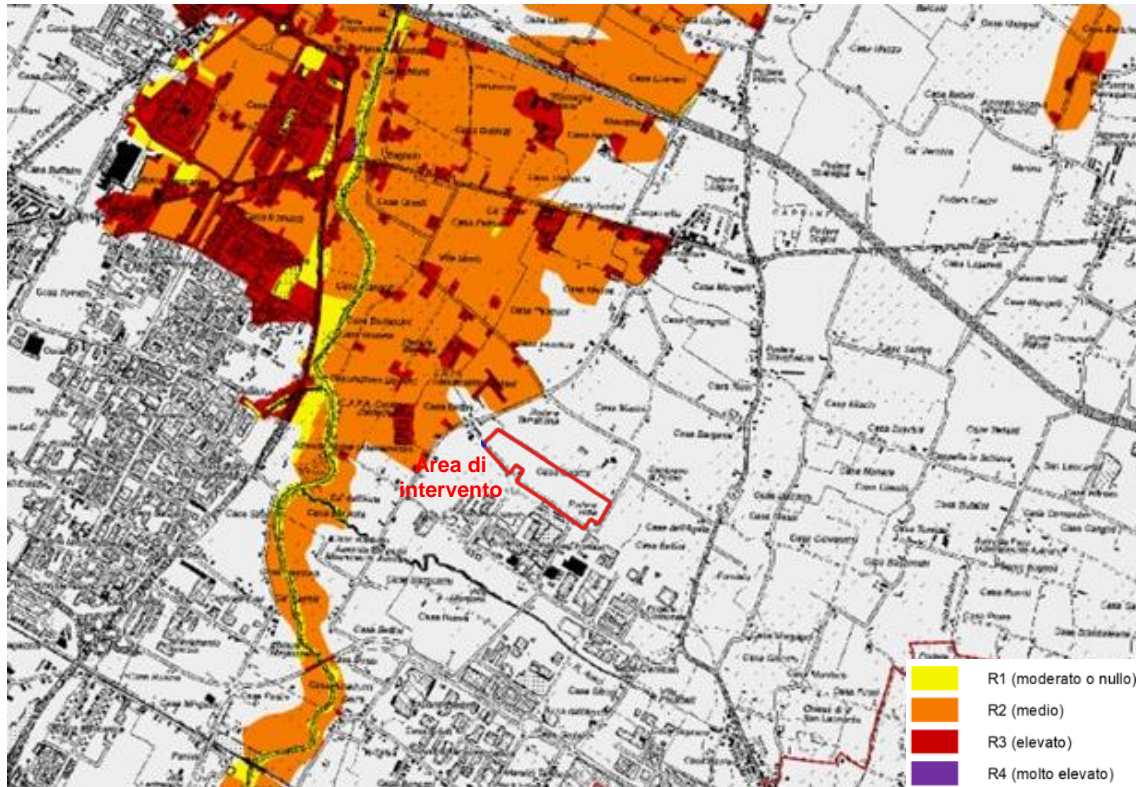


Figura 3.10 - Alluvioni reticolo principale - Stralcio della Mappa del rischio (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>))

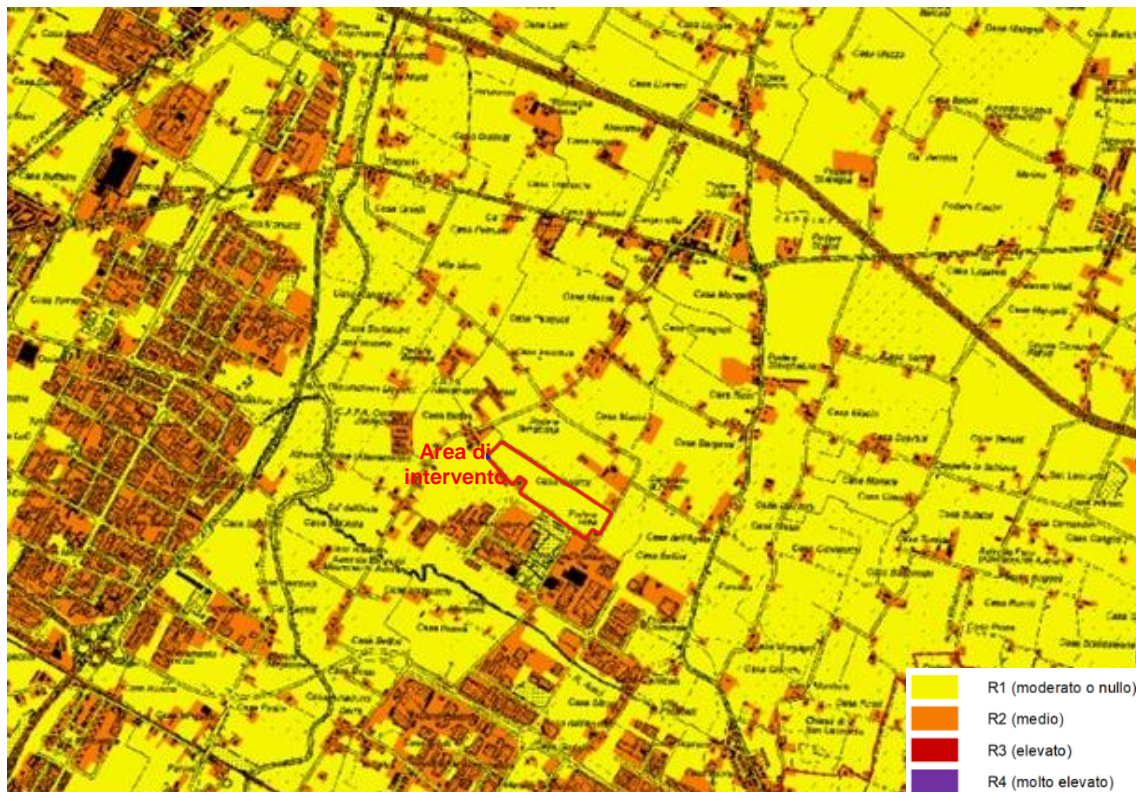


Figura 3.11 - Alluvioni reticolo secondario - Stralcio della Mappa del rischio (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>))

3.4 Acque sotterranee

L'edificio sedimentario alluvionale ospita un sistema acquifero sotterraneo, le cui caratteristiche idrogeologiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei depositi: ai depositi argilloso-limosi può essere attribuita una permeabilità bassa ($k = 10^{-6} \div 10^{-8}$ cm/s), mentre i depositi ghiaiosi presentano una permeabilità elevata ($k = 10^{-1} \div 10^{-3}$ cm/s), localmente ridotta dalla presenza di significative percentuali di matrice fine. Ogni unità è separata da quelle adiacenti attraverso livelli scarsamente permeabili o impermeabili arealmente continui, che ne determinano l'isolamento idraulico. Ne consegue che i flussi idrici si propagano principalmente con componente parallela alle superfici di strato e solo secondariamente con componente ortogonale e di conseguenza i flussi possono essere considerati necessariamente confinati all'interno della medesima unità. Il limite della circolazione idrica sotterranea è costituito dall'Acquitrando Basale, rappresentato dalla formazione impermeabile plio-pleistocenica delle Argille Azzurre affiorante nella fascia di margine appenninico.

Le alluvioni della pianura costituiscono formazioni con importanti livelli permeabili; esse sono delimitate a monte dalle formazioni collinari decisamente impermeabili o semipermeabili ad eccezione delle zone in corrispondenza degli alvei fluviali dove le alluvioni permeabili si addentrano, restringendosi progressivamente verso monte, nelle formazioni impermeabili, costituendo con le acque fluviali e di subalveo le zone più importanti per l'alimentazione dei conoidi sotterranei. La sede dell'acquifero è costituita da un insieme di strati ghiaiosi molto dispersi, verso la pianura, entro una naturale massa di sedimenti argillosi e limosi la cui alimentazione, come già detto, è legata prevalentemente ai subalvei dei fiumi ed alla permeabilità delle zone pedecollinari. I contenitori principali delle acque dolci, attualmente sfruttate per gli usi idropotabili, sono pertanto costituiti dai conoidi dei corsi d'acqua che interessano il territorio comunale, i quali, di conseguenza, risultano zone altamente vulnerabili all'inquinamento.

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche per la definizione dei terreni il livello della falda è risultato compreso tra 1,0 e 1,3 m da p.c.

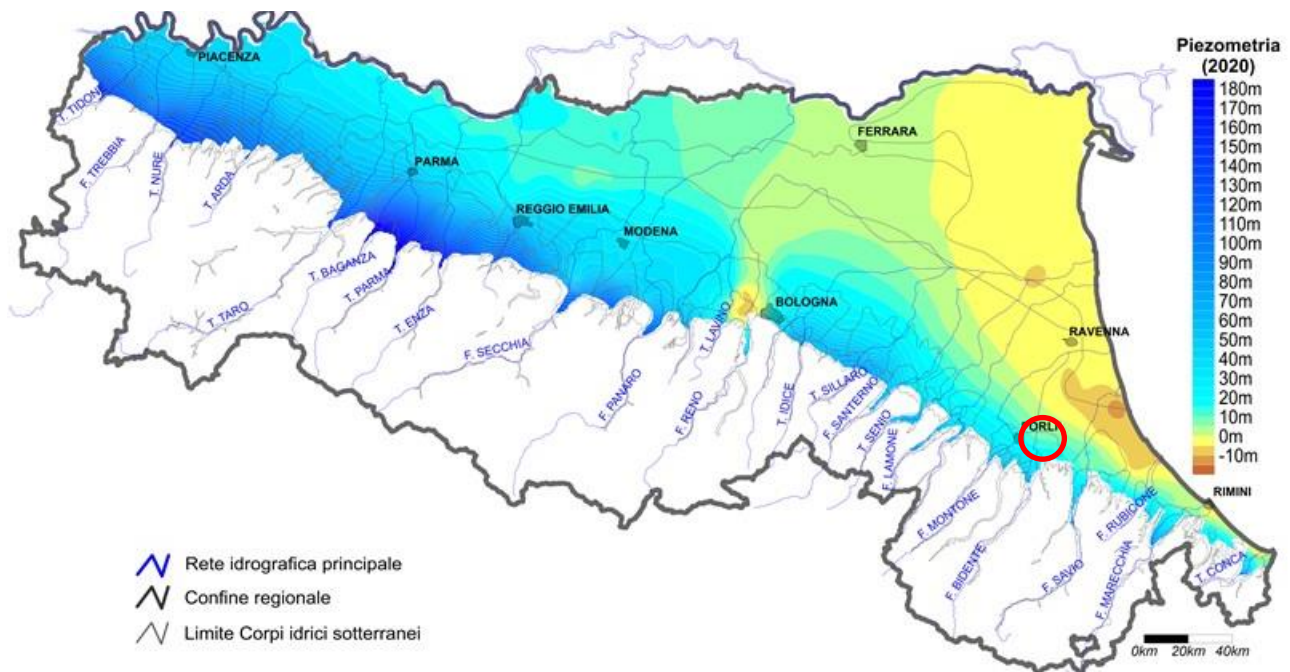


Figura 3.12 – Piezometria media annua nei corpi idrici liberi e confinati superiori (2020). (Fonte: ARPAE)

Per acquisire indicazioni riguardanti la vulnerabilità degli acquiferi presenti si può prendere in esame la *Carta regionale della Vulnerabilità*, elaborata dalla Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e Servizio di Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua (2002), riportata in Figura 3-13, ove si evidenzia che l'intervento risulta esterno alle aree vulnerabili.

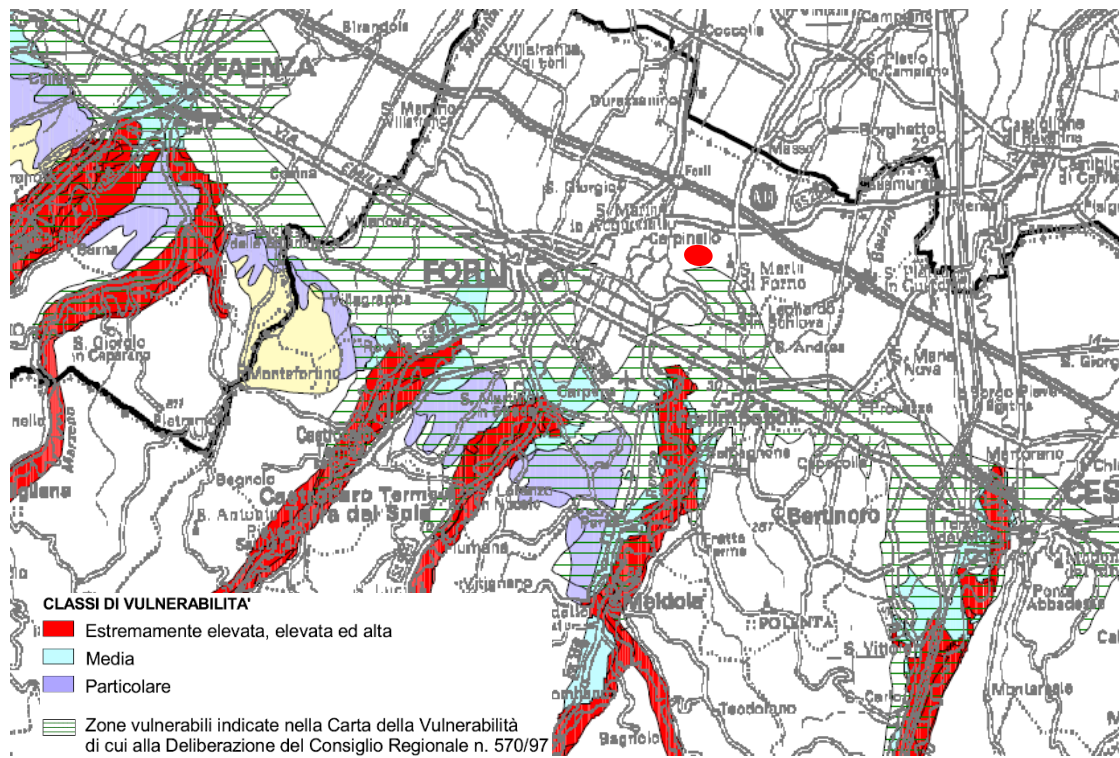


Figura 3-13 – Vulnerabilità degli acquiferi (Fonte: Carta della vulnerabilità degli acquiferi, Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e Servizio di Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua, 2002)

4 INVARIANZA IDRAULICA

L'invarianza idraulica prevede di dimensionare le opere idrauliche sulla base dei parametri idrologici dell'area oggetto di intervento, in modo che per ogni durata della precipitazione a prefissato tempo di ritorno, la curva di piena generata dal bacino, dopo le modifiche all'uso del suolo, sviluppi una portata massima dello stesso ordine di grandezza di quella ante modifica dello stesso uso del suolo.

4.1 DETERMINAZIONE DEL VOLUME DI INVASO

Il calcolo è stato effettuato utilizzando il metodo indicato dalla *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.*

La metodologia prevede che la misura del volume minimo d'invaso w da prescrivere in aree sottoposte a una quota di trasformazione I (% dell'area che viene trasformata) e in cui viene lasciata inalterata una quota P (tale che $I+P=100\%$) è data dal valore convenzionale:

$$w = w^{\circ} (\varphi / \varphi^{\circ})^{1/(1-n)} - 15 I - w^{\circ} P \quad (1)$$

essendo:

$w^{\circ} = 50$ mc/ha,

φ = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione,

φ° = coefficiente di deflusso prima della trasformazione,

$n = 0.48$ (esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%,

I e P espressi come frazione dell'area trasformata.

Il volume così ricavato è espresso in mc/ha e deve essere moltiplicato per l'area totale dell'intervento (superficie territoriale, St), a prescindere dalla quota P che viene lasciata inalterata.

Per la stima dei coefficienti di deflusso φ e φ° si fa riferimento alla relazione convenzionale:

$$\varphi^{\circ} = 0.9 I m p^{\circ} + 0.2 P e r^{\circ} \quad (2-a)$$

$$\varphi = 0.9 I m p + 0.2 P e r \quad (2-b)$$

Sul lotto di intervento sono state distinte due aree separate Di seguito sono riportate le superfici interessate dall'intervento.

Area Ovest	Superfici (m ²)
Superficie di intervento	93.708
Superficie recintata	93.251
Superficie proiettata a terra pannelli fotovoltaici	36.986
Superficie cabine	177
Superficie piazzali e viabilità interna	3.501
Superficie piazzali e viabilità esterna	457

Area Est	Superfici (m ²)
Superficie di intervento	20.571
Superficie recintata	20.429
Superficie proiettata a terra pannelli fotovoltaici	7.506
Superficie cabine	24
Superficie piazzali e viabilità interna	901
Superficie piazzali e viabilità esterna	142

Tabella 4-1 – Superfici interessate dall'intervento



Figura 4-1 – Suddivisione dell'area di intervento

Di seguito è riportato il foglio di calcolo utilizzato dal quale si ottiene un invaso minimo di progetto corrispondente a:

- per l'area OVEST è necessario un volume di invaso minimo di 2.513 m³;
- per l'area EST è necessario un volume di invaso minimo di 510 m³;

CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA - AREA OVEST

Requisiti richiesti per ogni classe sulla base del volume minimo di laminazione determinato:

$$w = w^0 \left(\frac{\phi}{\phi^0} \right)^{1/(1-n)} - 15 I - w^0 P$$

$$\phi^0 = 0.9 Imp^0 + 0.2 Per^0 \quad \phi = 0.9 Imp + 0.2 Per$$

$w^0 = 50$ mc/ha volume "convenzionale" d'invaso prima della trasformazione

ϕ = coefficiente di deflusso post trasformazione ϕ^0 = coefficiente di deflusso ante trasformazione

$n = 0.48$ I e P espressi come frazione dell'area trasformata

Imp e Per espressi come frazione totale dell'area impermeabile e permeabile prima della trasformazione (se connotati dall'apice) o dopo (se non c'è l'apice)

VOLUME RICAIVATO dalla formula va moltiplicato per la Superficie territoriale dell'intervento

Oggetto:

(INSERIRE I DATI ESCLUSIVAMENTE NEI CAMPI CONTORNATI)

ANTE OPERAM	Superficie fondiaria-lotto (mq) =	93708,00	mq	Inserire la superficie totale dell'intervento
	Superficie impermeabile esistente =	0,00	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Imp ⁰ =	0,00		
	Superficie permeabile esistente (mq) =	93708,00	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Per ⁰ =	1,00		
	Imp ⁰ + Per ⁰ =	1,00		

POST OPERAM	Superficie impermeabile trasformata o di progetto =	39142,00	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie trasformata con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Imp =	0,42		
	Superficie permeabile di progetto =	54516,00	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Per =	0,58		
	Imp + Per =	1,00		

INDICI DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA	Superficie trasformata/livellata =	93708,00	mq	superficie impermeabile più superficie permeabile trasformata rispetto all'agricola
	I =	1,00		
	Superficie agricola inalterata =	0,00	mq	superficie inalterata
	P =	0,00		
	I + P =	1,00		

CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM

ϕ^0	$0,9 \times Imp^0 + 0,2 \times Per^0 =$	0,9 x	0,00 +	0,2 x	1,00 =	0,20
ϕ	$0,9 \times Imp + 0,2 \times Per =$	0,9 x	0,42 +	0,2 x	0,58 =	0,49
W	$w = w^0 \left(\frac{\phi}{\phi^0} \right)^{1/(1-n)} - 15 I - w^0 P =$	50 x	5,66 -	15 x	1,00 -	50 x 0,00 = 268,18 mc/ha
W^0	50 mc/ha					
$\left(\frac{\phi}{\phi^0} \right)^{1/(1-n)}$	2,46					
	1,92					

VOLUME MINIMO DI INVASO	268,18 : 10.000,00 x 93.708,00 =	2.513,08	mc
--------------------------------	----------------------------------	----------	----

CALCOLO INVARIANZA IDRAULICA - AREA EST

Requisiti richiesti per ogni classe sulla base del volume minimo di laminazione determinato:

$$W = W^* \left(\frac{\phi}{\phi^*} \right)^{1/(1-n)} - 15 I - W^* P$$

$$\phi^* = 0.9 Imp^* + 0.2 Per^* \quad \phi = 0.9 Imp + 0.2 Per$$

$W^* = 50$ mc/ha volume "convenzionale" d'invaso prima della trasformazione
 ϕ = coefficiente di deflusso post trasformazione ϕ^* = coefficiente di deflusso ante trasformazione
 $n = 0.48$ I e P espressi come frazione dell'area trasformata
 Imp e Per espressi come frazione totale dell'area impermeabile e permeabile prima della trasformazione (se connotati dall'apice*)
 o dopo (se non c'è l'apice*)
 VOLUME RICAIVATO dalla formula va moltiplicato per la Superficie territoriale dell'intervento

Oggetto:

(INSERIRE I DATI ESCLUSIVAMENTE NEI CAMPI CONTORNATI)

ANTE OPERAM	Superficie fondiaria-lotto (mq) =	20571,00	mq	Inserire la superficie totale dell'intervento
	Superficie impermeabile esistente =	0,00	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Imp* =	0,00		
	Superficie permeabile esistente (mq) =	20571,00	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Per* =	1,00		
	Imp* + Per* =	1,00		

POST OPERAM	Superficie impermeabile trasformata o di progetto =	8051,50	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie trasformata con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Imp =	0,39		
	Superficie permeabile di progetto =	12519,50	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)
	Per =	0,61		
	Imp + Per =	1,00		

INDICI DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA	Superficie trasformata/livellata =	20571,00	mq	superficie impermeabile più superficie permeabile trasformata rispetto all'agricola
	I =	1,00		
	Superficie agricola inalterata =	0,00	mq	superficie inalterata
	P =	0,00		
	I + P =	1,00		

CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM

ϕ^*	$0,9 \times Imp^* + 0,2 \times Per^*$	=	0,9	x	0,00	+	0,2	x	1,00	=	0,20				
ϕ	$0,9 \times Imp + 0,2 \times Per$	=	0,9	x	0,39	+	0,2	x	0,61	=	0,47				
W	$W = W^* \left(\frac{\phi}{\phi^*} \right)^{1/(1-n)} - 15 I - W^* P$	=	50	x	5,26	-	15	x	1,00	-	50	x	0,00	=	247,79 mc/ha
W^*	50 mc/ha														
$\left(\frac{\phi}{\phi^*} \right)^{1/(1-n)}$	2,37														
	1,92														

VOLUME MINIMO DI INVASO	247,79	:	10.000,00	x	20.571,00	=	509,72	mc
--------------------------------	--------	---	-----------	---	-----------	---	--------	----

5 OPERE DI PROGETTO AI FINI DELL'INVARIANZA IDRAULICA

All'interno dell'area occupata dall'impianto, sono state individuate n.2 zone per la realizzazione di n.2 bacini di laminazione in grado di accumulare un volume di 2.538 m³ per l'area Ovest e di 588 m³ per l'area Est, che garantiscono l'invarianza idraulica di progetto.

CALCOLO VOLUMI INVARIANZA IDRAULICA					
	Volume richiesto per l'invarianza [m ³]	Superficie captante [m ²]	Superficie del Bacino [m ²]	Altezza acqua contenuta [m]	Volume acqua contenuta [m ³]
Bacino 1-OVEST	2.513	93.251	8.460	0,3	2.538
Bacino 2-EST	510	20.429	1.961	0,3	588

Tabella 5.1 – Calcolo volumi invarianza idraulica

Il bacino "1 –Ovest" sarà realizzato livellando il terreno ad una quota non inferiore a 19,85 m in corrispondenza delle sponde ed effettuando la rimozione di terreno fino a raggiungere la quota di fondo del bacino a 19,45 m. Il bacino "2 –Est" sarà realizzato livellando il terreno ad una quota non inferiore a 21,80 m in corrispondenza delle sponde ed effettuando la rimozione di terreno fino a raggiungere la quota di fondo del bacino a 21,40 m.

Lo scarico della vasca di laminazione Ovest avverrà nel fosso consortile a Nord-Ovest dell'impianto, mentre lo scarico della vasca di laminazione Est avverrà nel fosso a Nord Est dell'impianto.

Il corretto deflusso delle acque dai volumi di invaso sarà garantito mediante apposito manufatto di regolazione dotato di setto sfiorante e di luce di scarico dimensionata per limitare la portata al valore massimo consentito. Il dimensionamento della luce di scarico è stato effettuato utilizzando la seguente relazione:

$$Q = C_q \cdot \Omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

in cui:

Q è la portata massima [m³/s];

C_q è il coefficiente di portata pari a 0,6 (valido per luce circolare a spigolo vivo);

Ω è l'area del foro [m²];

g è l'accelerazione di gravità pari a 9,81 m/s²;

h è il tirante idrico massimo nell'invaso misurato dal baricentro del foro di uscita pari a 0,55 m per il bacino Ovest e di 0,5 m per il bacino Est.

Scarico bacino "1- Ovest"

La portata Q è stata determinata assumendo un coefficiente udometrico "u" pari a 10 lt/(s·ha), considerando inoltre la superficie dell'area di raccolta pari a 9,37 ha si ottiene:

$$Q = S \cdot u = 9,32 \cdot 10 = 93,2 \text{ l/s} = 0,932 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$$

Sostituendo nella relazione precedente si ottiene che l'area massima del foro è 0,047 m² corrispondente ad un diametro massimo di 0,245 m; pertanto, dovrà essere adottata una tubazione con un diametro standardizzato immediatamente inferiore DN250 (Dint = 220,4 mm).

Scarico bacino "2- Est"

La portata Q è stata determinata assumendo un coefficiente udometrico "u" pari a 10 lt/(s·ha), considerando inoltre la superficie dell'area di raccolta pari a 2,05 ha si ottiene:

$$Q = S \cdot u = 2,04 \cdot 10 = 20,4 \text{ l/s} = 0,204 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$$

Sostituendo nella relazione precedente si ottiene che l'area massima del foro è 0,011 m² corrispondente ad un diametro massimo di 0,118 m; pertanto, dovrà essere adottata una tubazione con un diametro standardizzato immediatamente inferiore DN125 (Dint = 110,2 mm).

6 ASPETTI CONCLUSIVI

Lo studio ha riguardato la valutazione di compatibilità idraulica relativa al progetto per la realizzazione di un nuovo parco fotovoltaico a terra nel territorio comunale di Forlì (FC) che occuperà una superficie di circa 11,3 ha, con l'installazione di 18.174 moduli di pannelli fotovoltaici.

Ai fini del calcolo dell'invarianza idraulica sul lotto di intervento sono state distinte due aree: l'Area OVEST di circa 93.708 m² di intervento e l'Area EST di 20.571 m².

L'invarianza idraulica prevede di dimensionare le opere idrauliche sulla base dei parametri idrologici dell'area oggetto di intervento, in modo che per ogni durata della precipitazione a prefissato tempo di ritorno, la curva di piena generata dal bacino, dopo le modifiche all'uso del suolo, sviluppi una portata massima dello stesso ordine di grandezza di quella ante modifica dello stesso uso del suolo.

È stato determinato il volume minimo d'invaso per l'area in oggetto e per adempiere alle indicazioni della Direttiva Regionale 2017 in termini di Invarianza Idraulica.

Il valore ottenuto corrisponde a 2.513 m³ per l'Area OVEST e 510 m³ per l'Area EST, in relazione al coefficiente di deflusso pari a 1 per l'impronta a terra dei pannelli fotovoltaici che è fortemente cautelativo.

Il progetto prevede la realizzazione di due bacini di laminazione: il Bacino 1-OVEST in grado di accumulare un volume di 2.538 m³, e il Bacino 2-EST in grado di accumulare un volume di 588 m³, volumi quindi superiori al volume di invaso minimo considerato.

Per gli scarichi in uscita dalle vasche di laminazione è stata adottata una portata pari a 10 l/s per ettaro.

Gli interventi necessari all'adempimento del mantenimento dell'invarianza idraulica sono descritti nella relazione tecnica generale dell'intervento (doc. *RT01 – Relazione tecnica generale*) e riportati graficamente nella *TAV.A07 – Opere di invarianza idraulica*.