

Committente

Inventiva1 S.R.L.

Via Angelo Signorelli n. 105 – 00123 Roma (RM)
P.IVA 15804621009

Progettista



Via Giorgio Baglivi, 3 - 000161 Roma - info@floreweb.com

PROGETTO AGRIVOLTAICO "ACCIARELLA"

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico
di potenza pari a 17,27 MWp integrato da un sistema di accumulo da 4,56 MW e relative
opere di connessione alla RTN

Località

REGIONE LAZIO - COMUNE DI LATINA (LT)

Titolo

RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA

| | | |
|---|--|--------------------------------|
| Data: apr-2023 | Revisione | Codice elaborato FL_ACC_R09 |
| Timbro e firma Autore G.EDLS. s.r.l. Dott. Geol. David Simoncelli Dott.ssa Ing. Marzia Quattrocchi | Timbro e firma Inventiva1 S.R.L.  INVENTIVA1 S.R.L. Via Angelo Signorelli, 105 00123 Roma (Rm) P.Iva/C.F. 15804621009 | |

Sommario

| | |
|--|-----------|
| PREMESSE | 2 |
| DESCRIZIONE SINTETICA DELL'OPERA | 3 |
| INQUADRAMENTO DELL'AREA | 5 |
| <i>INQUADRAMENTO GEORGRAFICO</i> | <i>5</i> |
| <i>LINEAMENTI GENERALI DELL'AREA</i> | <i>8</i> |
| <i>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE</i> | <i>11</i> |
| ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA | 12 |
| <i>Definizione afflussi meteorici</i> | <i>23</i> |
| <i>Scelta della durata critica dell'evento e calcolo della pioggia critica</i> | <i>30</i> |
| <i>Le perdite idrologiche</i> | <i>30</i> |
| <i>La trasformazione afflussi deflussi</i> | <i>33</i> |
| CONCLUSIONI..... | 39 |

PREMESSE

Il presente documento costituisce la Relazione di Invarianza Idraulica del progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Acciarella" della potenza di 17,27 MWp, integrato da un sistema di accumulo (B.E.S.S.) di 4,56 MW. Il progetto riguarda anche le opere di connessione alla RTN, inclusa la sottostazione utente di trasformazione MT/AT (di seguito SSE) e la linea di connessione di media tensione. La SSE è a sua volta collegata alla RTN AT Terna con cavidotto interrato su strade pubbliche. La connessione avverrà in antenna a 150 kV con la sezione 150 kV della stazione elettrica di trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV di Latina Nucleare. La potenza totale richiesta ai fini della connessione è di 17 MW in immissione.

Il soggetto proponente dell'iniziativa è la Società Inventiva1 S.R.L. avente sede legale ed operativa in Roma, Via Angelo Signorelli 105, iscritta nella Sezione Ordinaria della Camera di Commercio Industria Agricoltura ed Artigianato di Roma, C.F. e P.IVA N. 15804621009.

Nello specifico la presente relazione è volta a verificare il principio dell'invarianza idraulica a dimostrazione che la variazione di destinazione d'uso dell'area non provochi un aggravio della portata di piena o una variazione sostanziale dei tempi di corrivazione al corpo idrico che riceve i deflussi superficiali originati dalla stessa

DESCRIZIONE SINTETICA DELL'OPERA

Il progetto integra l'aspetto produttivo agricolo con la produzione energetica da fonte rinnovabile al fine di fonderli in una iniziativa unitaria ecosostenibile.

La definizione della soluzione impiantistica per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica è stata guidata dalla volontà della Società Proponente di perseguire la tutela, la salvaguardia e la valorizzazione del contesto agricolo di inserimento dell'impianto.

Nella progettazione dell'impianto è stato quindi incluso, come parte integrante e inderogabile, dell'iniziativa, la definizione di un piano di dettaglio di interventi agronomici.

Pertanto nel progetto coabitano due macro-componenti quali:

- la Componente energetica costituita dal generatore fotovoltaico (integrato con un sistema di accumulo) e dalle opere di connessione alla rete di trasmissione
- la Componente agricola con le relative attività sperimentali

La Componente energetica consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra, su strutture ad inseguimento monoassiale (trackers), in tre diversi lotti di terreno ubicati nel Comune di Latina, Località Acciarella. La Sottostazione elettrica di utenza (SSE) di elevazione della tensione da 30kV a 150kV, per l'immissione dell'energia prodotta nella rete ad Alta Tensione di Terna, sarà ubicata sempre nel Comune di Latina, Località Borgo Sabotino, in un sito posto a circa 1 km dalla Stazione Elettrica di Terna denominata Latina Nucleare.

L'impianto agro-fotovoltaico sarà composto complessivamente da n. 3 campi, per un totale di 4 sottocampi di potenza variabile, per una potenza complessiva di 17,27 MWp, collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna in media tensione. In uno dei campi è prevista anche la realizzazione di un sistema di accumulo (BESS) di potenza pari a 4,56 MW.

Presso l'impianto verranno altresì realizzate le cabine di trasformazione (Smart Transformer Station) dalle quali si dipartono le linee di collegamento di media

tensione interrate verso la cabina di smistamento e poi verso la sottostazione utente (SSE). Sarà inoltre realizzata la Control Room per la gestione e monitoraggio dell'impianto, i servizi ausiliari e di videosorveglianza.

Di seguito vengono sintetizzare le principali lavorazioni previste.

- posa in opera di 596 tracker per un totale di 30.576 pannelli
- realizzazione di cabine di trasformazione (Smart Transformer Station), cabina di smistamento e locale di servizi ausiliari
- posa in opera di container prefabbricati che costituiscono il sistema di accumulo (BESS)
- posa in opera di cavidotti di bassa e media tensione

Allo scopo di ottenere un quadro idrogeologico completo dell'area in questione sono state pertanto effettuate le seguenti attività:

- acquisizione dati e informazioni dagli elaborati progettuali
- acquisizione dati da studi già eseguiti
- acquisizione dati pluviometrici e valutazione delle portate di piena provenienti dal lotto interessato dall'intervento (nella situazione ante-operam e post-operam).

INQUADRAMENTO DELL'AREA

INQUADRAMENTO GEORGRAFICO

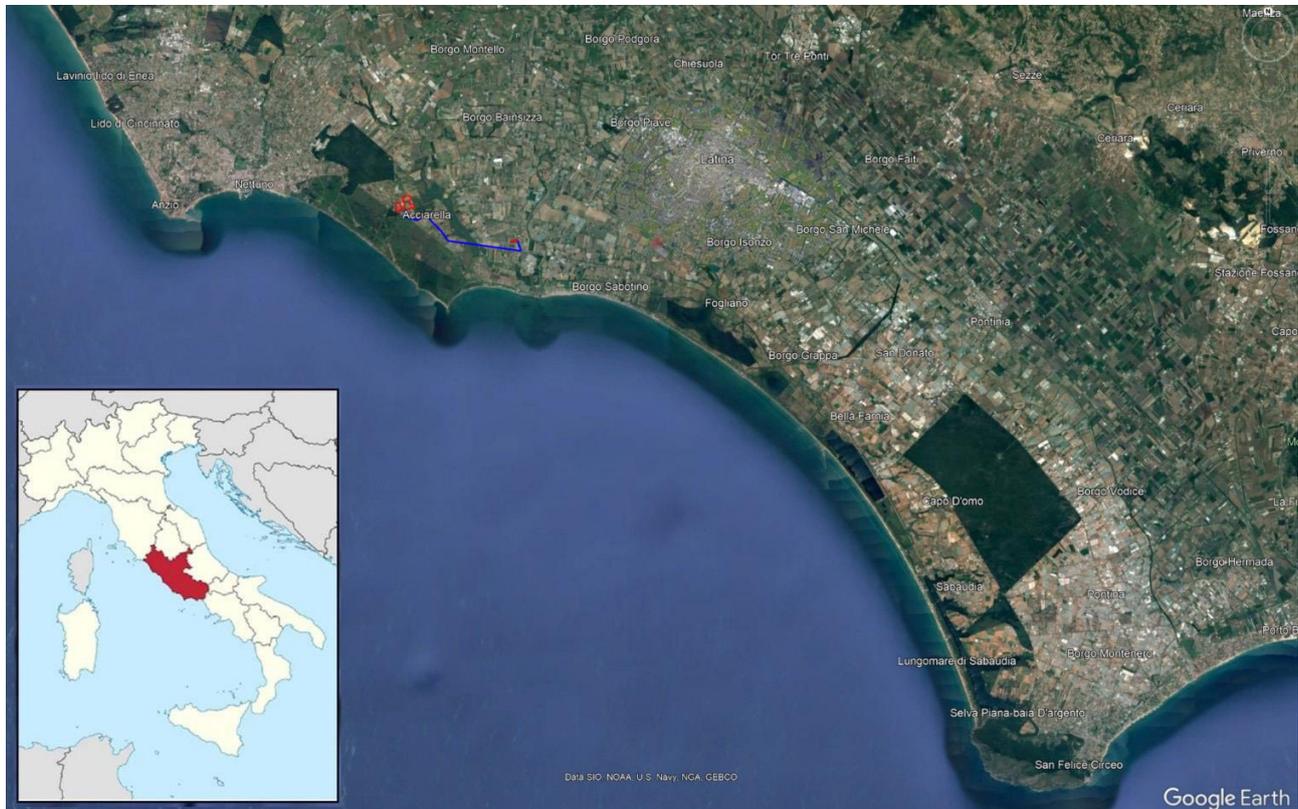


Figura – Inquadramento generale su immagine satellitare

L'impianto agrivoltaico, denominato "Acciarella", sarà realizzato nel Lazio, nel Comune di Latina (LT) a circa 12 km dal centro della città e sarà facilmente raggiungibile dalla Strada Provinciale SP039 (Lungomare Pontino – Via Acciarella). L'area di impianto, attualmente a carattere agricolo come anche le aree circostanti, sarà suddivisa in 3 campi distinti (nominati di seguito A, B, C) ed avrà un'estensione complessiva di circa 20,50 ha mentre l'area nella disponibilità del proponente è di 23,52 ha. Il campo A è a sua volta suddiviso in due sottocampi denominati A1 e A2. L'impianto sarà collegato, tramite un cavidotto interrato di media tensione, ad una sottostazione elettrica (SSE). Il presente studio riguarda i 3 lotti occupati dall'impianto agrivoltaico ed il lotto della SSE condivisa.

Per i dati catastali dei terreni interessati dal progetto si rimanda all’elaborato “Piano Particellare FL_ACC_R02”.

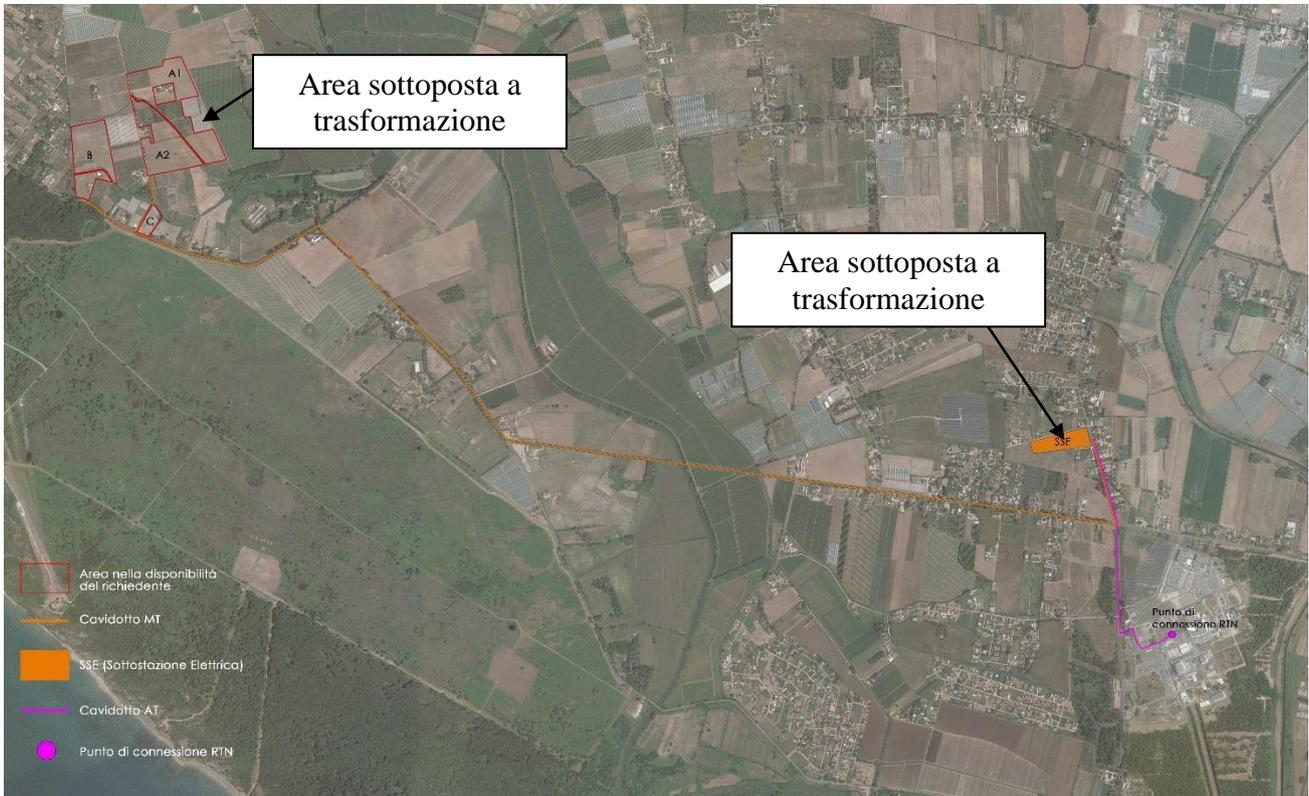
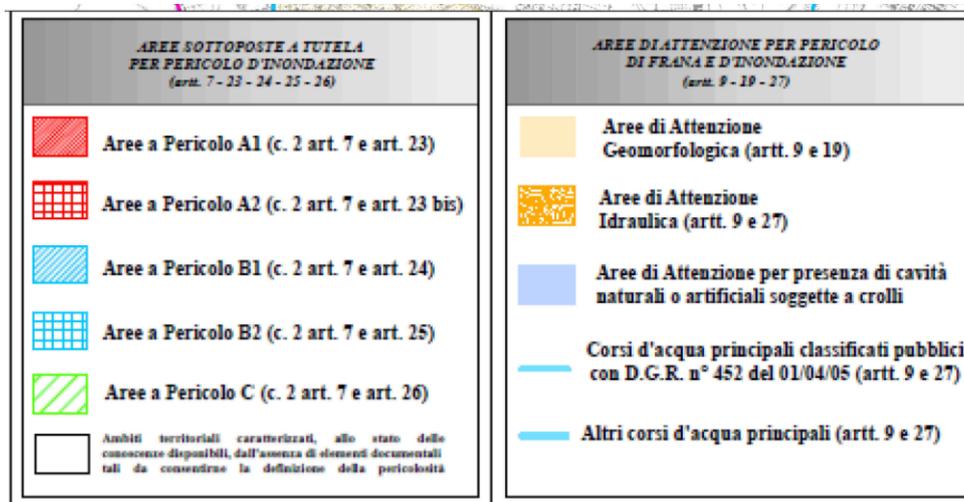
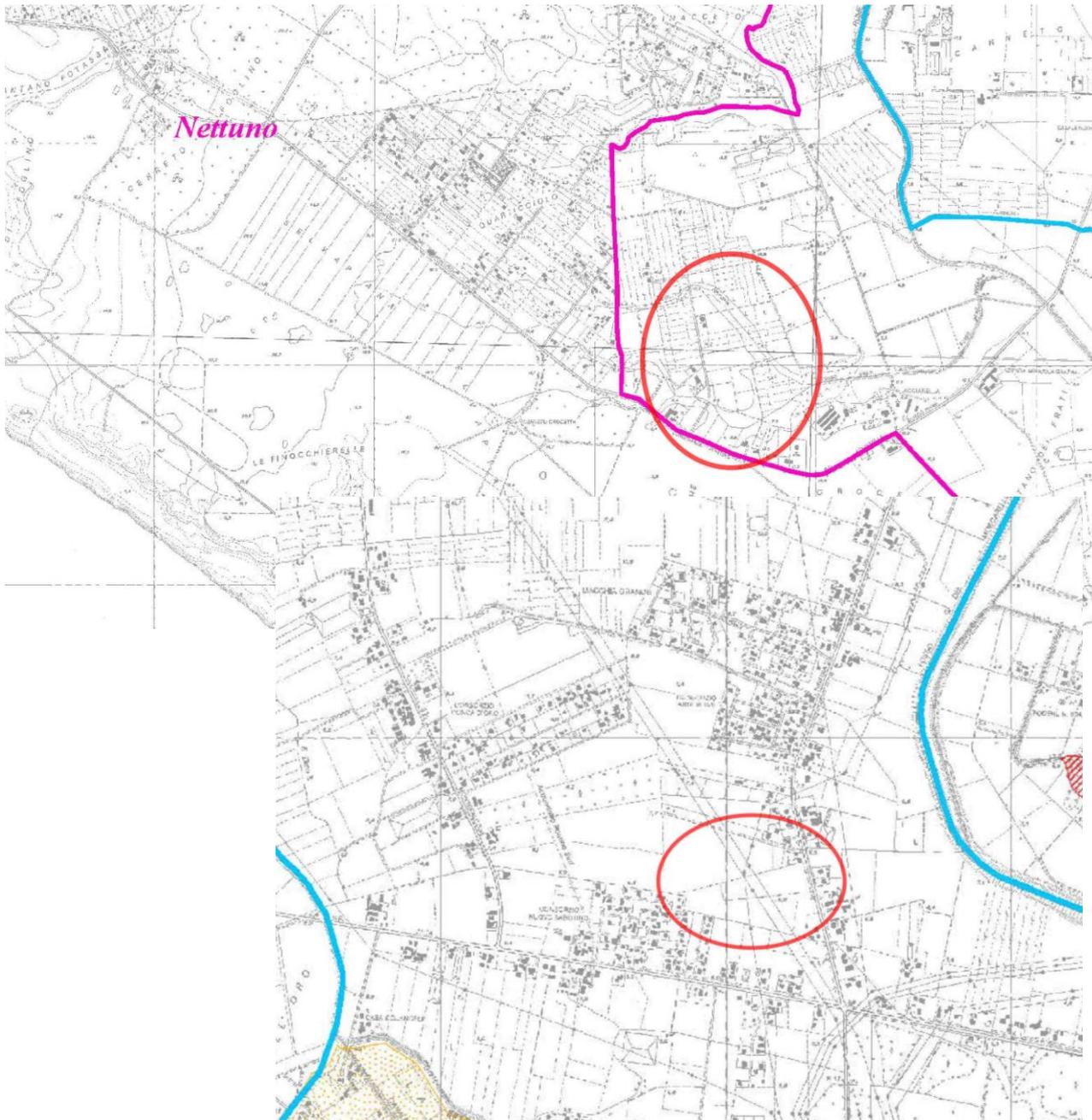


Figura – Inquadramento dell’area di progetto su immagine satellitare

L’area di interesse ricade nel territorio perimetrato dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI). Nel dettaglio ci troviamo al di fuori di qualsiasi rischio di esondazione.



LINEAMENTI GENERALI DELL'AREA

I lotti di terreno in esame sono ubicati a SW della città di Latina, e sono compresi nell'area della pianura pontina compresa tra il litorale laziale e i centri abitati di Latina e Cisterna di latina. Si fa, quindi, riferimento ad un'areale piuttosto vasto e caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante.

I siti in esame sono descritti nel F°158 – “Latina” della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000, nelle sezioni 400090 “Tre Cancelli”, 400130 “Le Grottaglie” e 400140 “Borgo Sabotino” in scala 1:10000 e nelle sezioni 400092, 400131 e 400141 in scala 1:5000 della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) edita dalla Regione Lazio.

Geologia dell'area

La Pianura Pontina sorge ai margini della dorsale Lepino-Ausona, presenta quote topografiche poco superiori al livello del mare, da qualche metro fino a 35-50 m nei pressi di Latina, occupa la fascia costiera fino al Mar Tirreno con una lunghezza di circa 50 km, una larghezza di circa 20 km e risulta allungata in direzione NW-SE. Dal punto di vista geologico nella pianura affiorano depositi plio-quadernari che, dal rilievo lepino-ausono, si estendono fino all'attuale linea di costa e vanno ad obliterare le complesse strutture che costituiscono il substrato, (ricostruite sulla base dei dati scaturiti dalle numerose perforazioni e dagli studi geofisici realizzati nel corso degli anni nell'area pontina). La successione sedimentaria si è sviluppata a partire da un ambiente deposizionale di tipo marino che è passato ad un ambiente transizionale costiero e successivamente in un sistema continentale di tipo fluvio-lacustre. Questa evoluzione si ripercuote in una grande variabilità verticale e laterale dei depositi. Si tratta prevalentemente di depositi fluvio-lacustri, eolici, piroclastici e costieri. In dettaglio tali sedimenti possono essere raggruppati in alcune grandi classi in relazione alla loro composizione e modalità di deposizione:

- terreni torbosi di origine fluvio-lacustre dell'Olocene;

- argille marine e transizionali, sabbie e ghiaie continentali e marine del Pleistocene superiore;
- depositi sabbiosi-limosi litorali e transizionali del Pleistocene medio;
- piroclastiti ed epivolcaniti riconducibili al vulcanismo albano;
- argille azzurre con intercalazioni sabbioseplio-pleistoceniche;
- depositi marini detritici del Pliocene.

I depositi fluvio-lacustri olocenici e pleistocenici, sono rappresentati da una grande varietà di terreni a differente composizione granulometrica e caratterizzati da marcate eteropie laterali: sabbie e argille, limi lagunari e lacustri, torbe e sedimenti alluvionali detritici in cui si intercalano livelli e/o orizzonti di travertini. I depositi piroclastici sono concentrati in affioramenti al margine del rilievo lepino e nelle depressioni interne, nonché riscontrati in numerosi sondaggi a differenti profondità, e sono riferibili alla intensa attività vulcanica manifestatasi nell'area albana. Fanno tuttavia eccezione alcuni affioramenti che, per le loro caratteristiche vanno ricollegati ad un vulcanismo periferico, ad attività prevalentemente esplosiva, dovuta a centri di emissione assai prossimi alle aree di affioramento (Abbadia di Valvisciolo, Acquapuzza ecc.). I depositi marini del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, argilloso-sabbiosi, affiorano con continuità lungo il settore costiero della pianura. I sedimenti marini riferibili al Pliocene mediosuperiore, individuati in sondaggi profondi (Foce Verde, Fogliano I, La Guardia, e Pontinia), sono costituiti da facies detriticoorganogene, direttamente trasgressive sul Mesozoico. L'andamento del substrato, ribassato di alcune centinaia di metri al di sotto della piana, è stato ricostruito utilizzando dati geofisici e stratigrafie di numerose perforazioni, MOUTON, 1973; DI FILIPPO & TORO, 1980; BARBIERI, 1999; CAPELLI & SALVATI, 2002; CAPELLI *et alii*, 2004). Tali ricostruzioni ipotizzano una depressione lungo l'allineamento Cisterna di Latina-S. Donato nonché una struttura a graben, a spese della dorsale carbonatica, che prosegue sotto la copertura continentale. In particolare è stato individuato, lungo l'intera Pianura Pontina, un

solco profondo apertosi tra il margine della piattaforma lepina e le strutture sepolte più occidentali. È stato ipotizzato che il solco sia stato parzialmente colmato da un *flysch* oligo-miocenico e da depositi caotici di tipo sifilide interessato in seguito da ulteriori fasi tettoniche di tipo compressivo e distensivo. Sussistono inoltre, al di sotto della piana, alcune dorsali sepolte, presumibilmente anticlinali deformate, che costituiscono trappole di circolazione termale. La presenza, poi, di numerose faglie favorisce una circolazione di acque mineralizzate ricche in gas. La parte emersa della struttura lepino-Ausona, rappresentata da calcari di piattaforma con potenze di centinaia di metri, è interessata da vistosi fenomeni carsici ed ospita una falda imponente; ai bordi della dorsale, lungo il contatto con i depositi a minor permeabilità, vi sono allineate una serie di sorgenti con portate discrete. Parte della struttura carbonatica, ribassata dalla faglia cordiera, ospita invece un acquifero imprigionato.

Nel dettaglio, l'area in esame, nonostante la sua elevata estensione areale, è caratterizzata da una discreta omogeneità litologica. I terreni presenti risultano essere ascrivibili, al di sotto di uno spessore variabile da 0.3 m a circa 1,2 m di coltre superficiale alterata, alla formazione delle dune antiche. Questa formazione è caratterizzata, nella sua porzione più superficiale, da una granulometria prevalentemente limosa e da un grado di addensamento medio-basso, mentre, con l'aumentare della profondità, si passa a materiali costituiti da sabbie da fini a grossolane-debolmente limose aventi un grado di addensamento che va dal moderato al medio-alto. Tali litotipi si presentano di colore marrone-rossastro, e sono risalenti al Pleistocene superiore (vedi carta geologica in allegato).

Le osservazioni e le indagini compiute hanno evidenziato le discrete condizioni geomorfologiche dei terreni in questione; non esistono, infatti, nell'area in oggetto, tracce di fenomeni franosi o in genere, di processi morfogenetici in atto (vedi stralcio Carta Pai in allegato). Dal punto di vista del rischio idraulico, dall'analisi dei dati e della cartografia relativa al PAI redatto dal Distretto Idrografico dell'Appennino

Centrale, emerge che l'area di studio non ricade in zone soggette a pericolosità o rischio idraulico da sovralluvionamento.

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Dal punto di vista idrogeologico l'area in esame rientra nell'Unità Idrogeologica dei Depositi Costieri terrazzati meridionali (T10) (Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio, scala 1:250.000, Capelli G. et alii, 2012). E' stata distinta in base alla prevalente natura litologica degli acquiferi in essa contenuti ed è caratterizzata da un'estensione areale regionale di 336 Km².

In particolare dalla Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, foglio II (scala 1:100.000) l'area ricade all'interno del Complesso delle sabbie dunari, dallo spessore di alcune decine di metri. Il complesso è sede di un'intensa circolazione idrica sotterranea che dà origine a falde continue ed estese, la cui potenzialità acquifera è medio-alta (stralcio nella Figura sottostante).



Stralcio Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio, Foglio II (scala 1:100.000)

In corrispondenza dei lotti A, B e C, la permeabilità è da considerarsi medio-alta per i litotipi prettamente sabbiosi e media per quelli limoso-sabbiosi più superficiali. La falda idrica può considerarsi superficiale in quanto è stata riscontrata in fase di indagine a profondità variabili da -1.5 m a -3.6 m dal p.c. ed è correlata sia al livello medio del mare che alla quota del Fosso Nocchia, il quale attraversa in larga parte i terreni in esame. In corrispondenza del lotto SSE, in termini di permeabilità, si riscontra la medesima situazione dei terreni sopraccitati, così come per la falda idrica, la quale è da considerarsi superficiale anche in quest'area, nonostante non sia stata riscontrata durante l'esecuzione delle indagini.

ANALISI IDROLOGICA-IDRAULICA

L'analisi idrologica sull'impianto in oggetto descrive l'invarianza idraulica che tale installazione comporta sul terreno sede del generatore fotovoltaico, evitando di incrementare potenziali situazioni di rischio e conservando l'equilibrio idraulico dello stato dei luoghi.

L'impermeabilizzazione causata dalle coperture degli edifici, dalle pavimentazioni stradali e dai piazzali, modifica fortemente la risposta di un bacino alle precipitazioni riducendo l'infiltrazione all'interno del suolo e rendendo il deflusso delle acque meteoriche sempre più veloce.

L'urbanizzazione e l'impermeabilizzazione determinano forti criticità ambientali e idrauliche:

- inadeguatezza della capacità di deflusso dei corsi d'acqua con conseguenti incremento del rischio d'inondazione, anche in presenza di precipitazioni di tempo di ritorno non particolarmente elevato;
- pericolosità delle canalizzazioni sia a cielo aperto sia interrate;
- pessima qualità chimico-fisica delle acque;

- pessima qualità biologica dei corpi idrici ricettori;
- depauperamento dell'ecosistema e degli habitat fluviali;
- pessima qualità idro-morfologica degli ambienti fluviali;
- perdita di funzione estetico-paesaggistica dei corpi idrici;
- perdita di funzione ricreativa dei corpi idrici.

La direttiva comunitaria, recepita dal D. L.vo e dalle Linee guida regionali "Regione Lazio - Deliberazione 24 marzo 2020, n. 117, Approvazione delle "Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali" - D.lgs 49/2010 "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni". Linee Guida Sulla Invarianza Idraulica Nelle Trasformazioni Territoriali", nell'ambito del rischio idraulico, nell'ambito del rischio idraulico, hanno proprio l'obiettivo di applicare il principio di invarianza idraulica, e cioè di verificare che le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non siano maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione. Valutare l'invarianza idraulica significa verificare che la nuova urbanizzazione non vada ad alterare le caratteristiche idrauliche dell'area, incrementando le portate di picco.

L'intervento in progetto consiste nell'installazione di un impianto fotovoltaico che causa un impatto per sottrazione di suolo che si può considerare trascurabile: in condizioni di esercizio l'area sotto i pannelli resta libera e rinaturalizzata. Ciò porta in breve al ripristino del soprassuolo originario con la conseguenza che l'intervento di progetto non si configura come un consumo di suolo ma come una parziale limitazione delle possibilità d'uso.

Al termine della vita utile dell'impianto (in genere 25-30 anni), il terreno, liberato dalle strutture impiegate, presenterà la stessa capacità produttiva/agricola che aveva prima della realizzazione dell'impianto. Questo permette quindi di verificare che le

caratteristiche di risposta del suolo ad un evento meteorico per un prefissato tempo di ritorno risultano essere inalterate dalla presenza dell'impianto, in quanto l'area sotto i pannelli risulta libera e con la stessa copertura della situazione ante-operam.

Anche la totale assenza di fondazioni e manufatti in c.a., ad eccezione delle fondazioni delle cabine e dei locali tecnici, concorrono a garantire per lo più inalterate le caratteristiche di uso del suolo, che quindi comportano una minima variazione del coefficiente di deflusso.

In più è necessario ricordare che le azioni di progetto non prevedono opere che possano alterare il regime delle acque superficiali; la tipologia di installazione scelta fa sì che non ci sia alcuna significativa modificazione dei normali percorsi di scorrimento e infiltrazione delle acque meteoriche: la morfologia del suolo e la composizione del soprassuolo vegetale non vengono alterati. Tali considerazioni permettono quindi di affermare che il posizionamento dell'impianto fotovoltaico nell'area in esame non determina un sostanziale cambiamento di uso del suolo, e quindi le capacità di infiltrazione del suolo risultano quasi inalterate, senza determinare un effettivo deficit nello smaltimento delle portate meteoriche.

Ciò nonostante, viene di seguito riportata la verifica del volume minimo di invaso in applicazione alle linee guida, avendo considerato le superfici dei locali tecnici come superfici impermeabili e trascurando la superficie occupata dai moduli, poiché il suolo non risulta realmente impermeabilizzato ma rimane terreno naturale con la stessa permeabilità di prima dell'intervento.

La misura del volume minimo d'invaso da prevedere 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:

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

nella quale:

- $w^0 = 50$ mc/ha nei territori "non impermeabilizzati in ambito urbano"
- $\phi =$ coefficiente di deflusso dopo la trasformazione

- ϕ° = coefficiente di deflusso prima della trasformazione¹
- I e P sono espressi come frazione dell'area trasformata.
- $n=0.48$ (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%, come risulta - orientativamente - da vari studi sperimentali; si veda ad es. CSDU, 1997).

Per le classi denominate come "Significativa" e "Marcata" impermeabilizzazione come di seguito definite, è ammesso l'utilizzo di un valore diverso del parametro n qualora opportunamente motivato da un'analisi idrologica specifica contestualizzata al sito oggetto di trasformazione.

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:

$$\phi^{\circ} = 0.9 \text{ Imp}^{\circ} + 0.2 \text{ Per}^{\circ}$$

$$\phi = 0.9 \text{ Imp} + 0.2 \text{ Per}$$

In cui Imp e Per sono rispettivamente le frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile e permeabile, prima della trasformazione (se connotati dall'apice^o) o dopo (se non c'è l'apice^o).

Il calcolo del volume di invaso richiede quindi la definizione delle seguenti grandezze:

- quota dell'area di progetto che viene interessata dalla trasformazione (I) - anche le aree che non vengono pavimentate con la trasformazione, ma vengono sistemate e regolarizzate, devono essere incluse a computare la quota I;

¹ Il Coefficiente di deflusso è il rapporto tra l'acqua piovana che viene rilasciata verso il corpo ricevente e l'intero volume d'acqua piovana che viene captata dalla superficie in uno specifico intervallo di tempo: il coefficiente varia da 0 (permeabile) ad 1 (impermeabile). Sono considerate impermeabili le superfici di ingombro dei locali tecnici, mentre le superfici occupate dall'impianto fotovoltaico non sono state inserite nel calcolo delle superfici impermeabilizzate poiché le strutture sono sollevate da terra ed il terreno sotto i pannelli conserva la stessa permeabilità che aveva prima dell'intervento.

- quota dell'area di progetto non interessata dalla trasformazione (P) - essa è costituita solo da quelle parti che non vengono significativamente modificate, mediante regolarizzazione del terreno o altri interventi anche non impermeabilizzanti;
- quota dell'area da ritenersi permeabile (Per) - tale grandezza viene valutata prima e dopo la trasformazione;
- quota dell'area da ritenersi impermeabile (Imp) - tale grandezza viene valutata prima e dopo la trasformazione.

Gli indici Imp ed I, Per e P sono concettualmente diversi: Imp e Per servono a valutare il coefficiente di deflusso convenzionale (che esprime la capacità del lotto di accettare le piogge prima di generare deflussi superficiali), mentre I e P rappresentano le porzioni rispettivamente urbanizzata e inalterata (agricola) del lotto oggetto di intervento.

Gli interventi di trasformazione territoriale sono così classificabili:

| Tabella I - classificazione degli interventi di trasformazione dell'uso del suolo ai fini dell'invarianza idraulica | |
|---|---|
| CLASSI DI INTERVENTO | SOGLIE DIMENSIONALI |
| 1) Trascurabile impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha (1.000 m ²) |
| 2) Modesta impermeabilizzazione potenziale | Intervento su superfici di estensione maggiore di 0,1 ha (1.000 m ²) ed inferiore ad 1 ha (10.000 m ²) |
| 3) Significativa impermeabilizzazione potenziale | - Intervento su superfici di estensione maggiore di 1 ha (10.000 m ²) ed inferiore a 10 ha (100.000 m ²); - Interventi su superfici di estensione superiore a 10 ha (100.000 m ²) con Imp^(*) < 0,3 |
| 4) Marcata impermeabilizzazione potenziale | Interventi su superfici di estensione superiore a 10 ha (100.000 m ²) con Imp^(*) > 0,3 |

(*) : frazione della superficie totale che sarà impermeabilizzata

L'area oggetto di intervento, è suddivisa in 4 lotti su ciascuno dei quali sono previsti degli interventi quali: pannelli fotovoltaici, sistemazione strade, cabine trasformazione, locali ausiliari e cabine Di smistamento.

Di seguito si riporta una tabella dove vengono riepilogate le aree totali di ogni singolo lotto, e la frazione della superficie totale che sarà impermeabilizzata:

| | area totale | area trasformata | frazione Imp | | |
|-----------|-------------|------------------|--------------|---|-----|
| lotto C | 10960 | 3085 | 0.28 | < | 0.3 |
| lotto B | 66870 | 1220 | 0.02 | < | 0.3 |
| lotto A | 175365 | 3745 | 0.02 | < | 0.3 |
| lotto SSE | 1010 | 505 | 0.50 | > | 0.3 |

Il lotto C e B avendo superficie totale con estensione compresa tra 1 ha e 10 ha, sono classificabili come intervento di significativa impermeabilizzazione; il lotto A anche se con estensione maggiore di 10 ha, avendo la frazione della superficie totale che sarà impermeabilizzata inferiore a 0.3 viene classificato sempre come intervento di significativa impermeabilizzazione; mentre il lotto SSE con superficie compresa tra 0.1 ha e 1 ha è classificabile come intervento di modesta impermeabilizzazione

Alla luce di ciò, nel caso di classe di intervento denominata “significativa impermeabilizzazione potenziale”, le luci di scarico e i tiranti idrici consentiti nell’invaso, dovranno essere tali da garantire che il valore della portata massima, defluente dall’area oggetto di trasformazione dell’uso del suolo, sia pari al valore assunto dalla stessa precedentemente all’impermeabilizzazione dell’area medesima, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni.

Nel caso specifico l’intervento ha le seguenti caratteristiche:

Lotto C

| | | | |
|---|------------------|----------------|-----------|
| Superficie totale comparto | | 10960 | mq |
| Superficie impermeabilizzata | | 3085 | mq |
| ANTE OPERAM | | | |
| sup. impermeabile esistente | | 0 | mq |
| | Imp ^o | 0 | |
| sup. permeabile esistente | | 10960 | mq |
| | Per ^o | 1 | |
| POST OPERAM | | | |
| sup. impermeabile trasformata | | 3085 | mq |
| | Imp | 0.281 | |
| sup. permeabile di progetto | | 7875 | mq |
| | Per | 0.719 | |
| | Imp+Per | 1 | |
| INDICE DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA | | | |
| sup. trasformata | | 3085 | mq |
| | I | 0.281 | |
| sup. inalterata | | 7875 | mq |
| | P | 0.719 | |
| | I+P | 1.000 | |
| CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM | | | |
| $\phi^o = 0.9 \times \text{Imp}^o + 0.2 \times \text{Per}^o$ | | 0.2 | |
| $\phi = 0.9 \times \text{Imp} + 0.2 \times \text{Per}$ | | 0.397 | |
| W^o | | 50 | mc/ha |
| ϕ / ϕ^o | | 1.99 | |
| n | | 0.48 | |
| $1 / (1 - n)$ | | 1.923 | |
| $W = W^o \times (\phi / \phi^o)^{1 / (1 - n)} - 15 \times I - W^o \times P$ | | 146.773 | mc/ha |
| Volume di invaso | | 160.863 | mc |

Lotto B

| | | | |
|---|------------------|---------------|-----------|
| Superficie totale comparto | | 66870 | mq |
| Superficie impermeabilizzata | | 1220 | mq |
| ANTE OPERAM | | | |
| sup. impermeabile esistente | | 0 | mq |
| | Imp ^o | 0 | |
| sup. permeabile esistente | | 66870 | mq |
| | Per ^o | 1 | |
| POST OPERAM | | | |
| sup. impermeabile trasformata | | 1220 | mq |
| | Imp | 0.018 | |
| sup. permeabile di progetto | | 65650 | mq |
| | Per | 0.982 | |
| | Imp+Per | 1 | |
| INDICE DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA | | | |
| sup. trasformata | | 1220 | mq |
| | I | 0.018 | |
| sup. inalterata | | 65650 | mq |
| | P | 0.982 | |
| | I+P | 1.000 | |
| CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM | | | |
| $\phi^o=0.9 \times \text{Imp}^o + 0.2 \times \text{Per}^o$ | | 0.2 | |
| $\phi=0.9 \times \text{Imp} + 0.2 \times \text{Per}$ | | 0.213 | |
| W^o | | 50 | mc/ha |
| ϕ/ϕ^o | | 1.06 | |
| n | | 0.48 | |
| $1/(1-n)$ | | 1.923 | |
| $W=W^o \times (\phi/\phi^o)^{(1/(1-n))} - 15 \times I - W^o \times P$ | | 6.959 | mc/ha |
| Volume di invaso | | 46.536 | mc |

Lotto A

| | | | |
|---|------------------|----------------|-----------|
| Superficie totale comparto | | 175365 | mq |
| Superficie impermeabilizzata | | 3745 | mq |
| ANTE OPERAM | | | |
| sup. impermeabile esistente | | 0 | mq |
| | Imp ^o | 0 | |
| sup. permeabile esistente | | 175365 | mq |
| | Per ^o | 1 | |
| POST OPERAM | | | |
| sup. impermeabile trasformata | | 3745 | mq |
| | Imp | 0.021 | |
| sup. permeabile di progetto | | 171620 | mq |
| | Per | 0.979 | |
| | Imp+Per | 1 | |
| INDICE DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA | | | |
| sup. trasformata | | 3745 | mq |
| | I | 0.021 | |
| sup. inalterata | | 171620 | mq |
| | P | 0.979 | |
| | I+P | 1.000 | |
| CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM | | | |
| $\phi^o=0.9 \times \text{Imp}^o + 0.2 \times \text{Per}^o$ | | 0.2 | |
| $\phi=0.9 \times \text{Imp} + 0.2 \times \text{Per}$ | | 0.215 | |
| W^o | | 50 | mc/ha |
| ϕ/ϕ^o | | 1.07 | |
| n | | 0.48 | |
| $1/(1-n)$ | | 1.923 | |
| $W=W^o \times (\phi/\phi^o)^{(1/(1-n))} - 15 \times I - W^o \times P$ | | 8.182 | mc/ha |
| Volume di invaso | | 143.481 | mc |

Lotto SSE

| | | | |
|---|------------------|---------------|-----------|
| Superficie totale comparto | | 1010 | mq |
| Superficie impermeabilizzata | | 505 | mq |
| ANTE OPERAM | | | |
| sup. impermeabile esistente | | 0 | mq |
| | Imp ^o | 0 | |
| sup. permeabile esistente | | 1010 | mq |
| | Per ^o | 1 | |
| POST OPERAM | | | |
| sup. impermeabile trasformata | | 505 | mq |
| | Imp | 0.500 | |
| sup. permeabile di progetto | | 505 | mq |
| | Per | 0.500 | |
| | Imp+Per | 1 | |
| INDICE DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA | | | |
| sup. trasformata | | 505 | mq |
| | I | 0.500 | |
| sup. inalterata | | 505 | mq |
| | P | 0.500 | |
| | I+P | 1.000 | |
| CALCOLO COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM | | | |
| $\phi^o=0.9 \times \text{Imp}^o + 0.2 \times \text{Per}^o$ | | 0.2 | |
| $\phi=0.9 \times \text{Imp} + 0.2 \times \text{Per}$ | | 0.550 | |
| W^o | | 50 | mc/ha |
| ϕ/ϕ^o | | 2.75 | |
| n | | 0.48 | |
| $1/(1-n)$ | | 1.923 | |
| $W=W^o \times (\phi/\phi^o)^{1/(1-n)} - 15 \times I - W^o \times P$ | | 317.317 | mc/ha |
| Volume di invaso | | 32.049 | mc |

Come riportato nella delibera regionale nel caso di classe di intervento denominata “Significativa impermeabilizzazione potenziale”, le luci di scarico e i tiranti idrici consentiti nell’invaso, dovranno essere tali da garantire che il valore della portata massima, defluente dall’area oggetto di trasformazione dell’uso del suolo, sia pari al valore assunto dalla stessa precedentemente all’impermeabilizzazione dell’area medesima, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni.

Di seguito viene riportata l’analisi idraulica eseguita per stimare la portata di invarianza e le luci di scarico dalla vasca di laminazione.

Per effettuare tale analisi è necessario eseguire uno studio idrologico volto a definire l’intensità di pioggia critica al fine di individuare la portata di invarianza defluente dall’area oggetto di trasformazione.

La stima della portata di progetto, verrà eseguita mediante una modellistica idrologica afflussi-deflussi considerando valida l’ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno sia determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento. In particolare, la trasformazione afflussi-deflussi, viene descritta da un approccio idrologico costituito da un modello di infiltrazione basato sul metodo del coefficiente di afflusso Cd , e un modello di formazione della piena basati sull’idrogramma unitario istantaneo (IUH) adimensionale e sul metodo cinematico. L’utilizzo di una modellistica afflussi-deflussi si basa sulla stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e quindi delle precipitazioni che costituiscono i dati di ingresso per il modello idrologico.

I passi per determinare la portata di piena di progetto per ogni assegnato tempo di ritorno sono:

- stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica;
- scelta della durata critica dell'evento e stima dell’intensità critica di pioggia;
- stima della pioggia effettiva;
- stima della portata di progetto.

Di seguito verranno analizzati i seguenti elementi:

- a) **Definizione degli afflussi meteorici:** determinazione della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno.
- b) **scelta della durata critica dell'evento e calcolo della pioggia critica.**
- c) **Stima delle perdite idrologiche:** determinazione della quantità di precipitazione trattenuta dal terreno (perdite), con la conseguente determinazione della pioggia effettiva (o pioggia netta) che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- d) **Trasformazione afflussi-deflussi:** schematizzazione della risposta dei singoli sottobacini alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.

Definizione afflussi meteorici

Il primo elemento fondamentale nella creazione del modello idrologico è costituito dalla stima degli afflussi. Lo studio statistico delle piogge intense in un punto della superficie terrestre si sintetizza nella formulazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica, ottenute a partire dall'elaborazione delle serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di assegnata durata, fornite da registrazioni pluviometriche.

Le LSPP descrivono le proprietà statistiche degli eventi di pioggia intensa a scala puntuale ed esprimono un legame tra altezza di pioggia-durata-frequenza. In particolare, per un prefissato tempo di ritorno, la corrispondente LSPP fornisce la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione. In via di principio è possibile ricavare le linee segnalatrici relative alla pioggia media areale. L'operazione, però, oltre ad essere onerosa richiede la presenza nell'area in esame di

un congruo numero di stazioni pluviometriche e funzionanti da un elevato numero di anni. Tale condizione non è però soddisfatta per la maggior parte del territorio italiano. Per questo motivo generalmente si procede stimando l'altezza di precipitazione puntuale che viene successivamente ragguagliata all'area attraverso un coefficiente di riduzione.

Nel caso esaminato è stato eseguito un approccio regionale utilizzando la metodologia del progetto VAPI, sviluppato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche [CNR, 1994] che ha per obiettivo la regionalizzazione delle piogge intense su tutto il territorio nazionale secondo criteri omogenei al fine di superare alcuni limiti, quali: gran parte dell'informazione pluviometrica del passato è purtroppo fornita da pluviometri ordinari; per l'accidentata morfologia del territorio italiano le caratteristiche pluviometriche sono molto variabili nello spazio; le singole serie pluviografiche hanno spesso una durata limitata e sono poco attendibili per le elaborazioni statistiche.

Per garantire l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati a livello nazionale è stato adottato il modello regionale TCEV, modificato al terzo livello attraverso l'introduzione di un modello a tre parametri per la valutazione delle piogge intense.

La distribuzione di probabilità delle massime altezze di pioggia giornaliera, h_d , è espressa nella forma:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1} e^{-\left(\frac{h_d}{\mu_{hd}}\right)^{\beta}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\left(\frac{h_d}{\Theta_* \mu_{hd}}\right)^{\beta}}$$

dove μ_{hd} indica il valore medio delle massime altezze giornaliere Λ_* e Θ_* sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione, Λ_1 è un parametro che insieme ai due precedenti determina il coefficiente di variazione, e β è una funzione dei tre precedenti parametri.

Al primo livello di regionalizzazione si è dovuta respingere l'ipotesi di un'unica regione omogenea rispetto al coefficiente d'asimmetria, che non è risultata

accettabile. Il territorio è stato quindi suddiviso in tre regioni omogenee, che si potrebbero definire:

- *zona A* (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- *zona B* (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propaggini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi nell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti Vulsini; e i monti Cimini con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- *zona C* (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

I valori regionali dei parametri Λ^* e Θ^* , sono riportati nella tabella seguente:

| regione | Λ^* | Θ^* |
|---------|-------------|------------|
| A | 0,174 | 3,490 |
| B | 0,762 | 1,241 |
| C | 0,795 | 2,402 |

Parametri primo livello di regionalizzazione Λ^* , Θ^*

Al secondo livello di regionalizzazione sono state considerate le stesse tre regioni individuate al primo livello. L'ipotesi che ciascuna fosse omogenea anche rispetto al coefficiente di variazione è risultata accettabile. I valori regionali dei parametri Λ_1 e β sono riportati nella tabella seguente.

| regione = zona | A | B | C |
|----------------|--------|--------|--------|
| Λ_1 | 29,314 | 22,017 | 27,806 |
| β | 4,480 | 4,359 | 5,301 |

Parametri secondo livello di regionalizzazione Λ_1 , θ_1

Al terzo livello di regionalizzazione sono state individuate delle zone omogenee in cui è accettabile l'ipotesi che la media del massimo annuale dell'altezza giornaliera μ_{hd} , che prende il nome di pioggia indice, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione:

$$\mu_{hd} = cz + d$$

I parametri c e d non assumono unico valore per l'intera regione esaminata: è stato invece possibile identificare delle aree pluviometriche omogenee (APO), in ognuna delle quali se ne può ottenere una stima univoca. Sono state individuate 78 APO, in cui i parametri della regressione assumono i valori indicati nella tabella che segue:

| sottozona | N | c (mm/m) | d (mm) | ρ | sottozona | N | c (mm/m) | d (mm) | ρ |
|-----------|----|----------|--------|--------|-----------|----|----------|--------|--------|
| A1 | 10 | 0,01892 | 55,64 | 0,886 | B19 | 6 | 0,01418 | 36,02 | 0,836 |
| A2 | 8 | 0,02785 | 59,22 | 0,933 | B20 | 5 | 0,01098 | 57,23 | 0,449 |
| A3 | 9 | 0,02738 | 64,43 | 0,919 | B21 | 6 | 0,15691 | 16,83 | 0,913 |
| A4 | 13 | 0,03390 | 67,67 | 0,833 | B22 | 7 | 0,01890 | 76,65 | 0,795 |
| A5 | 7 | 0,03031 | 60,09 | 0,620 | B23 | 5 | 0,04972 | 60,54 | 0,887 |
| A6 | 8 | 0,13518 | 66,15 | 0,901 | B24 | 7 | 0,07960 | 30,38 | 0,903 |
| A7 | 7 | 0,03582 | 67,72 | 0,830 | B25 | 10 | 0,02089 | 64,28 | 0,676 |
| A8 | 16 | 0,01680 | 62,79 | 0,843 | B26 | 9 | 0,13532 | -48,29 | 0,894 |
| A9 | 7 | 0,02671 | 61,61 | 0,741 | B27 | 5 | 0,05786 | 67,35 | 0,954 |
| A10 | 5 | 0,06301 | 67,83 | 0,968 | B28 | 12 | 0,03599 | 63,48 | 0,792 |
| A11 | 3 | 0,07624 | 41,70 | 0,996 | B29 | 5 | 0,03152 | 87,30 | 0,565 |
| A12 | 6 | 0,01510 | 72,77 | 0,920 | B30 | 4 | 0,05066 | 68,93 | 0,999 |
| A13 | 9 | 0,02714 | 50,42 | 0,624 | B31 | 11 | 0,00116 | 60,07 | 0,060 |
| A14 | 4 | 0,02517 | 62,33 | 0,783 | B32 | 7 | 0,04004 | 27,64 | 0,971 |
| A15 | 4 | 0,03647 | 68,78 | 0,834 | B33 | 6 | 0,01264 | 54,93 | 0,634 |
| A16 | 4 | 0,02592 | 52,00 | 0,889 | B34 | 4 | 0,25615 | -85,09 | 0,955 |
| A17 | 7 | 0,10165 | 15,14 | 0,860 | B35 | 5 | 0,07432 | 15,64 | 0,740 |
| A18 | 11 | 0,02208 | 58,80 | 0,685 | B36 | 7 | 0,05270 | 40,46 | 0,667 |
| A19 | 5 | 0,03408 | 41,11 | 0,980 | B37 | 2 | 0,03513 | 33,42 | 1,000 |
| A20 | 7 | 0,03637 | 49,62 | 0,956 | B38 | 10 | 0,01874 | 40,79 | 0,637 |
| A21 | 4 | 0,02854 | 43,38 | 0,926 | B39 | 4 | 0,04514 | 38,13 | 0,969 |
| B1 | 13 | 0,03028 | 43,52 | 0,895 | B40 | 8 | 0,04250 | 58,21 | 0,921 |
| B2 | 5 | 0,02250 | 42,59 | 0,830 | B41 | 4 | 0,08894 | 34,37 | 0,835 |
| B3 | 11 | 0,03478 | 49,18 | 0,859 | B42 | 9 | 0,02237 | 71,20 | 0,567 |
| B4 | 10 | 0,02747 | 62,61 | 0,724 | C1 | 19 | 0,00482 | 57,46 | 0,392 |
| B5 | 13 | 0,03136 | 53,96 | 0,904 | C2 | 34 | 0,02822 | 64,04 | 0,915 |
| B6 | 6 | 0,03764 | 44,54 | 0,933 | C3 | 8 | 0,05900 | 42,12 | 0,952 |
| B7 | 9 | 0,01863 | 49,36 | 0,736 | C4 | 5 | 0,06381 | 49,63 | 0,984 |
| B8 | 4 | 0,02219 | 50,91 | 0,844 | C5 | 6 | 0,01574 | 61,16 | 0,809 |
| B9 | 16 | 0,04546 | 46,32 | 0,953 | C6 | 5 | 0,01374 | 58,39 | 0,825 |
| B10 | 9 | 0,04145 | 37,12 | 0,893 | C7 | 5 | 0,00985 | 62,40 | 0,831 |
| B11 | 44 | 0,02300 | 35,60 | 0,849 | C8 | 7 | 0,07690 | 50,19 | 0,917 |
| B12 | 13 | 0,04292 | 45,49 | 0,901 | C9 | 6 | 0,02767 | 51,23 | 0,886 |
| B13 | 2 | 0,01793 | 20,47 | 1,000 | C10 | 7 | 0,11377 | 38,98 | 0,937 |
| B14 | 13 | 0,05343 | 55,04 | 0,921 | C11 | 5 | 0,02373 | 57,44 | 0,887 |
| B15 | 6 | 0,00153 | 69,69 | 0,135 | C12 | 4 | 0,02395 | 44,17 | 0,976 |
| B16 | 12 | 0,02565 | 22,88 | 0,912 | C13 | 3 | 0,04634 | -5,21 | 0,898 |
| B17 | 5 | 0,00722 | 64,41 | 0,798 | C14 | 4 | 0,03330 | 32,01 | 0,763 |
| B18 | 3 | 0,00128 | 62,43 | 0,391 | C15 | 4 | 0,00655 | 57,57 | 0,776 |

Parametri terzo livello di regionalizzazione c,d,N, ρ

Per l'elaborazione delle precipitazioni intense di breve durata si è adottata la legge IDF (intensità – durata – frequenza) a tre parametri:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b + t)^m}$$

dove:

T è il tempo di ritorno;

t è la durata della pioggia critica;

b è un parametro di deformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t, sia dal tempo di ritorno T;

m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno;

$a(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La formula a tre parametri può essere posta nella forma:

$$i_t(T) = i_0(T) \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

dove $i_0(T)$ è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T . La media di i_t risulta allora:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

dove μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea.

Sono state assunte le seguenti ipotesi:

a) l'intensità media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera

$$\mu_{i24} = \delta \cdot \mu_{id}$$

dove il coefficiente di proporzionalità, costante su tutta l'area esaminata, vale $\delta = 1,15$;

b) il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5 minuti e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, assunto pari al valore ottenuto dallo studio delle piogge intense della stazione pluviometrica di Roma (Macao):

$$r = \frac{\mu_{i5r}}{\mu_{i1}} = \left(\frac{b+1}{b+0.0833} \right)^m = 3.36$$

Ricavando b

$$b = \frac{1 - 0.0833r^{1/m}}{r^{1/m} - 1}$$

- c) l'esponente m e il parametro di trasformazione temporale b sono indipendenti dal tempo di ritorno T , in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF relative a diversi tempi di ritorno;
- d) l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota z della stazione pluviometrica secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\bar{\mu}_{hd}}$$

Riformulando si ricava che la distribuzione di probabilità dell'intensità i_t relativa alla durata t generica si può esprimere come:

$$P(i_t) = e^{-\Lambda_1 e^{-\left[\frac{i_t}{\mu_{i0}(z)}\beta\left(\frac{b+t}{b}\right)^m\right]}} - \Lambda_1 \Lambda_1^{-1/\Theta_*} e^{-\left[\frac{i_t}{\Theta_*\mu_{i0}(z)}\beta\left(\frac{b+t}{b}\right)^m\right]}$$

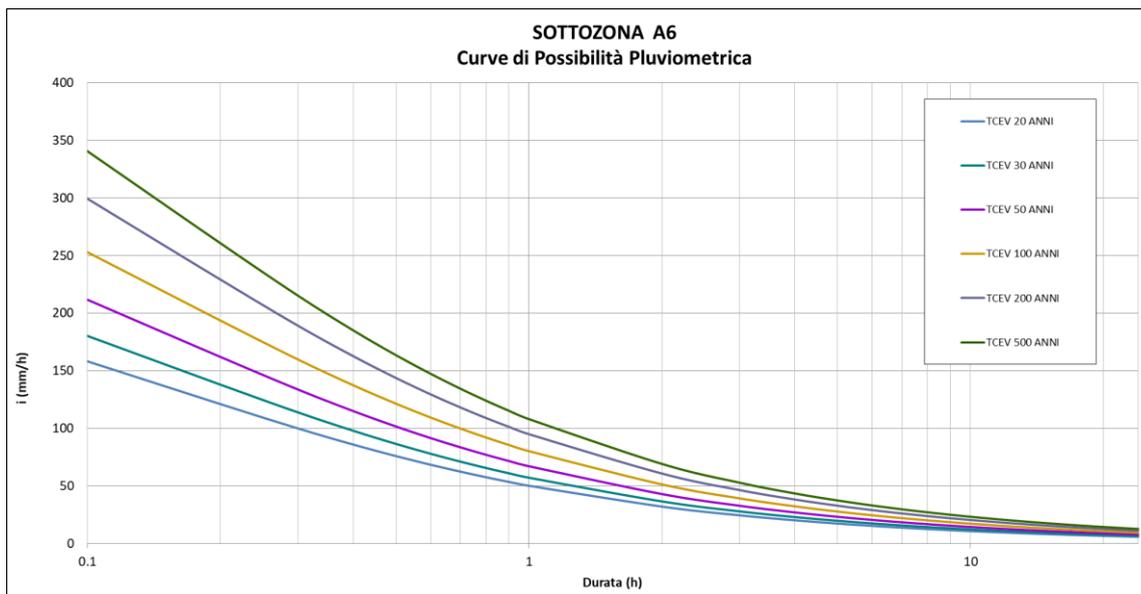
La regionalizzazione delle piogge VAPI nell'area di intervento è stata effettuata elaborando i dati forniti dalle stazioni pluviometriche situate nella sottozona omogenea A6.

I valori dei parametri sono:

| | | |
|----------------------|---------|--------------------------------------|
| Λ^* | 0,174 | primo livello A6 |
| Θ^* | 3,49 | |
| Λ_I | 29,31 | secondo livello A6 |
| B | 4,480 | |
| c | 0,13518 | parametri regressione media quota |
| d | 66,15 | |
| b | 0,1137 | parametri regionali IDF |
| m | 0,6955 | |
| μ_{i0}/μ_{i24} | 4,150 | |

Parametri di primo, secondo, terzo livello di regionalizzazione sottozona A6

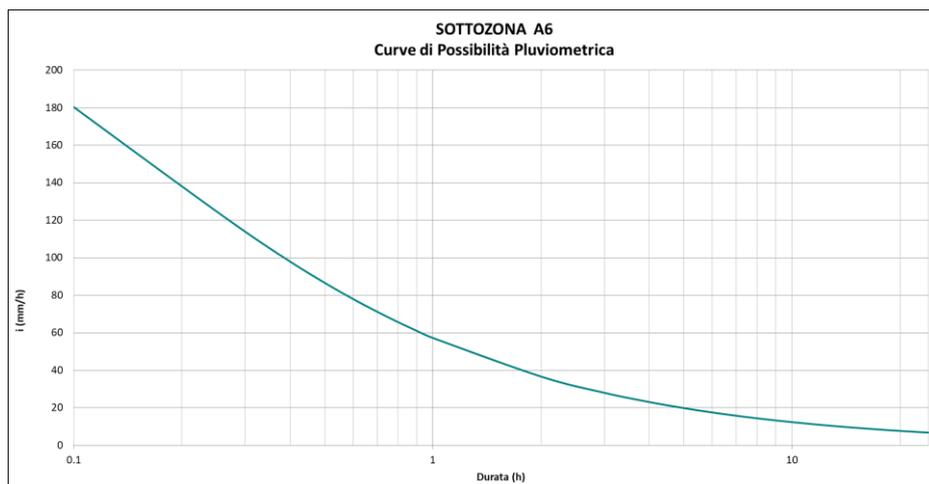
Si riportano di seguito le curve di probabilità pluviometrica ottenute per la sottozona in esame, caratteristiche per diversi tempi di ritorno.



Curve Intensità-durata-frequenza per diversi tempi di ritorno T_r per l'area oggetto di studio

Nel caso specifico si prendono i parametri associata alla sottozona di interesse per definire l'intensità di pioggia critica relativa al tempo di ritorno TR30 e durata di pioggia 2 ore

Si riporta di seguito la curva di probabilità pluviometrica ottenuta per la sottozona in esame, per Tr 30 anni.



Curve Intensità-durata-frequenza per di T_r 30 anni per l'area sottoposta a intervento

Scelta della durata critica dell'evento e calcolo della pioggia critica

Per i lotti sottoposti all'intervento, come indicato nei "Criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali" è stato utilizzato come durata critica un valore di 2 ore.

Considerando questo valore, attraverso la formulazione a tre parametri, conoscendo le curve di possibilità pluviometrica relative ai diversi tempi di ritorno, è stata individuata l'intensità di pioggia critica per Tr 30 anni

| PARAMETRI TCEV | | | | | |
|----------------|-------|--------|--------|---------|--------------|
| Tr | a (T) | b | m | t [ore] | i [mm/h] |
| 30 | 61.65 | 0.1137 | 0.6955 | 2 | 36.63 |

Le perdite idrologiche

Nota la pioggia areale, per la determinazione del deflusso diretto è necessario valutare la pioggia effettiva e, quindi, la quantità di pioggia che viene assorbita dal suolo e quella intercettata dalla vegetazione, mentre la quantità di pioggia persa per evapotraspirazione è trascurabile per eventi meteorici particolarmente intensi. Per effettuare tale stima, devono essere definiti i coefficienti di deflusso (*Cd*).

Il passaggio dalla precipitazione lorda alla precipitazione netta dipende da:

- caratteristiche del bacino: uso e tipo dei suoli, stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento;
- caratteristiche degli afflussi: altezza totale di precipitazione, dinamica temporale e distribuzione spaziale dell'evento.

Le perdite idrologiche vengono generalmente suddivise in:

- intercezione;
- evapotraspirazione;
- immagazzinamento nelle depressioni superficiali;
- infiltrazione.

Nei modelli di piena, l'infiltrazione sulle aree permeabili o semipermeabili costituisce senz'altro la componente principale. Meno significativa, ma spesso non trascurabile, è la perdita che avviene sul bacino per immagazzinamento nelle depressioni superficiali dalle quali l'acqua viene allontanata solo per evaporazione o infiltrazione. Le perdite per intercettazione e per evapotraspirazione sono invece importanti esclusivamente nell'analisi della risposta del bacino su lunghi periodi temporali.

Il coefficiente di deflusso viene definito come il “rapporto fra la portata annuale ed il volume d'acqua di precipitazione caduta nel suo bacino imbrifero” (Ciabatti, 1982). Esso varia in funzione delle caratteristiche climatiche e geomorfologiche del suolo di un bacino e, sulla base di valori orientativi disponibili in letteratura.

Gli interventi in progetto che prevedono il posizionamento dell'impianto fotovoltaico nell'area in esame non determina un effettivo cambiamento di uso del suolo; si considerano impermeabili solamente i locali tecnici quali le cabine trascurando la superficie occupata dai moduli, poiché il suolo non risulta realmente impermeabilizzato ma rimane terreno naturale con la stessa permeabilità di prima dell'intervento.

Detto ciò in base anche alla geologia affiorante e come indicato nel calcolo precedente del volume minimo di invaso il coefficiente di deflusso ante operam viene posto pari a 0.20 per tutti e 4 i lotti

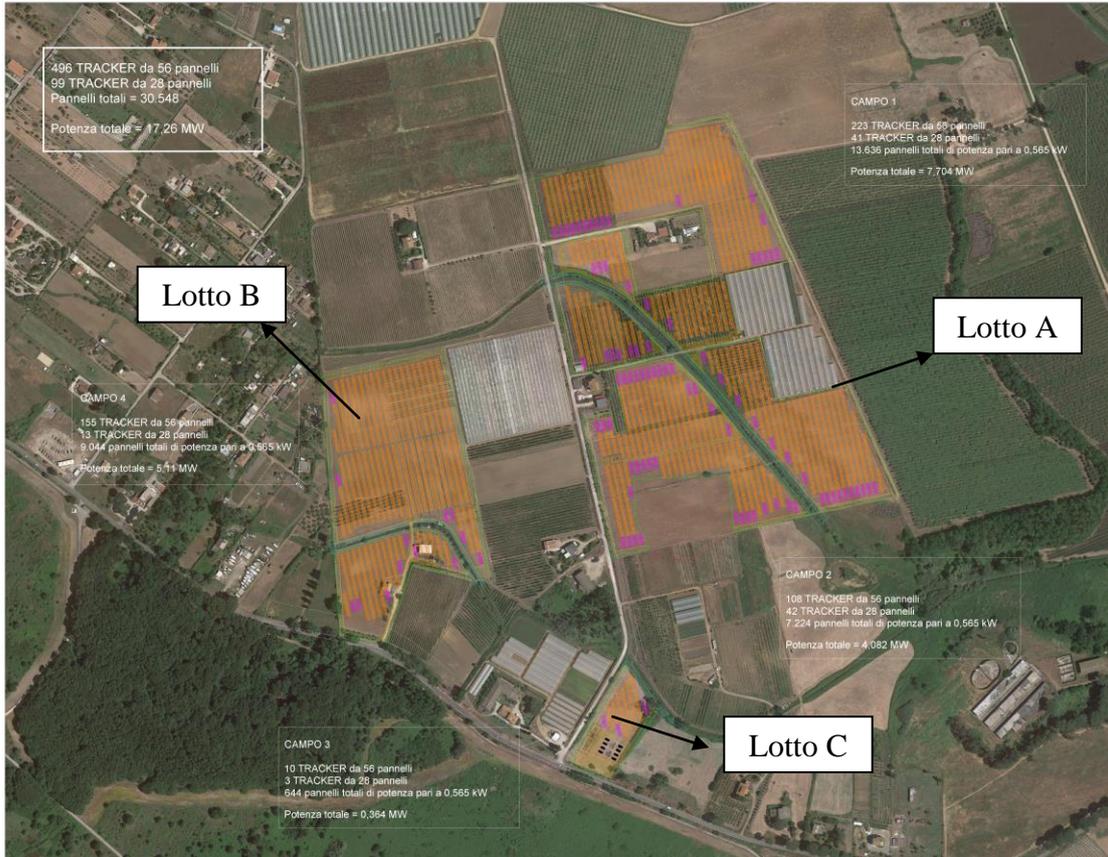


Fig. Planimetria post-operam- lotto A,B e C

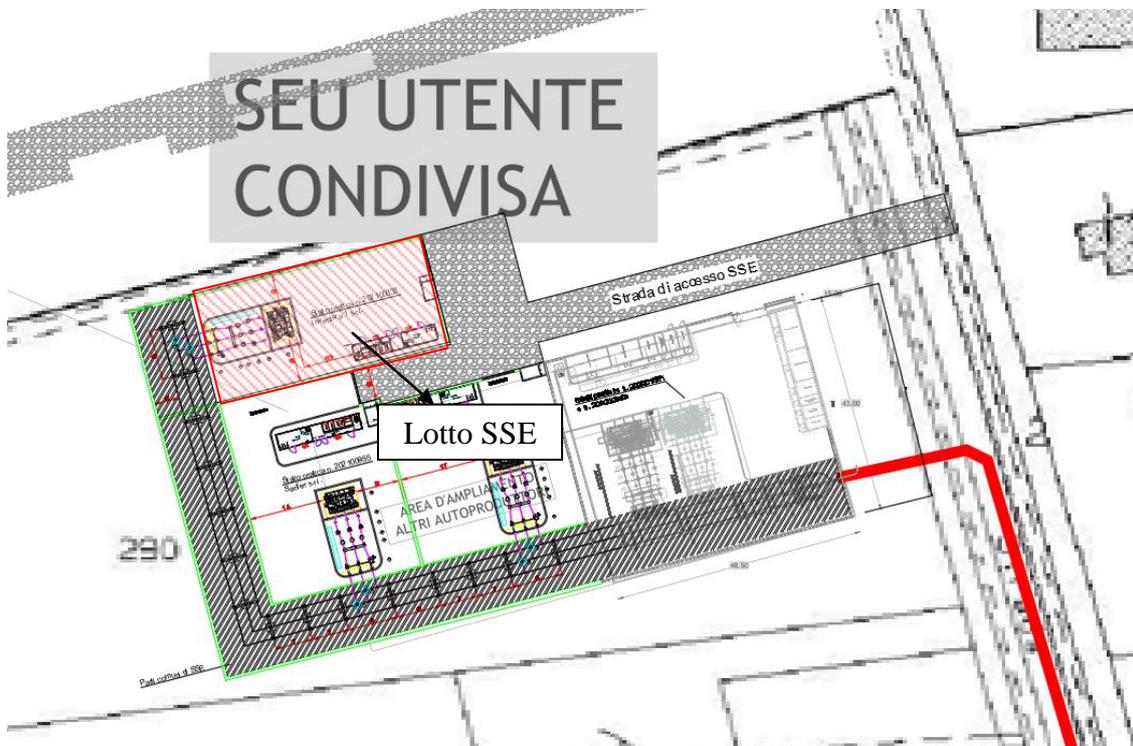


Fig. Planimetria post-operam- lottosSE

La trasformazione afflussi deflussi

I modelli di formazione dei deflussi si propongono di fornire una descrizione matematica dei processi idrologici che si svolgono nel bacino idrografico, considerandolo, in analogia alla teoria dei sistemi, come un sistema (sistema prototipo) soggetto ad un ingresso, l'intensità di pioggia, e ad un'uscita (o risposta) rappresentata dall'andamento della portata nel tempo $q(t)$ defluente attraverso la sezione di chiusura. Data la complessità dei fenomeni e delle relazioni che influenzano e descrivono il comportamento reale di un bacino, si introduce un sistema modello che ne approssima il comportamento reale attraverso alcune semplificazioni; ovvero si schematizza la risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.

Nel vasto panorama dei modelli di formazione dei deflussi, è stata scelta la metodologia basata sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH). Il metodo si basa sulle ipotesi di linearità e stazionarietà del bacino ed effettua la combinazione tra pioggia in ingresso e IUH per il calcolo della portata diretta. In altre parole, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione meteorica di intensità $p(t)$ variabile nel tempo, ma supposta costante su tutti i punti del bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

dove $p(t)=A i(t)$ è la portata di afflusso meteorico al generico tempo t e la funzione $h(t)$, che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di

tipo impulsivo). La funzione $h(t)$ può essere stimata mediante numerosi approcci, nel dettaglio si è utilizzato il metodo cinematico.

Il Metodo Cinematico

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale. Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale e canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari.

Nello specifico la trasformazione afflussi-deflussi è schematizzata con un insieme di canali lineari in parallelo fra loro. Ogni canale collega un'area infinitesima del bacino con la sezione di chiusura: trasferisce le gocce d'acqua che cadono in ciascun area infinitesima sino alla sezione terminale sempre con lo stesso ritardo (pari al tempo di corrivazione della stessa area infinitesima).

L'idrogramma $Q(t)$ si ottiene dall'integrale dei contributi di tutti i canali:

$$Q(t) = \iint_{A_b} i_{r,n}(x, y, t - t_c(x, y)) dx dy$$

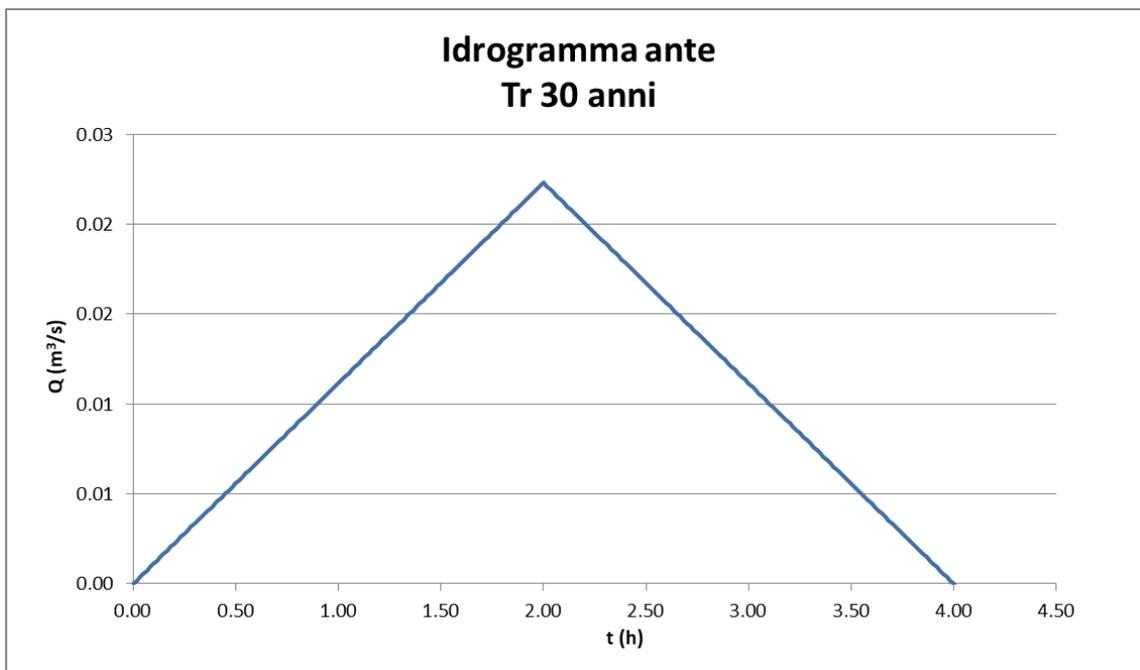
Tempo di base t_b è la durata del deflusso di pioggia (per cui $Q(t) > 0$): pari alla durata della pioggia t_p il tempo di corrivazione del bacino t_c .

L'ipotesi su cui si basa il modello sono le seguenti:

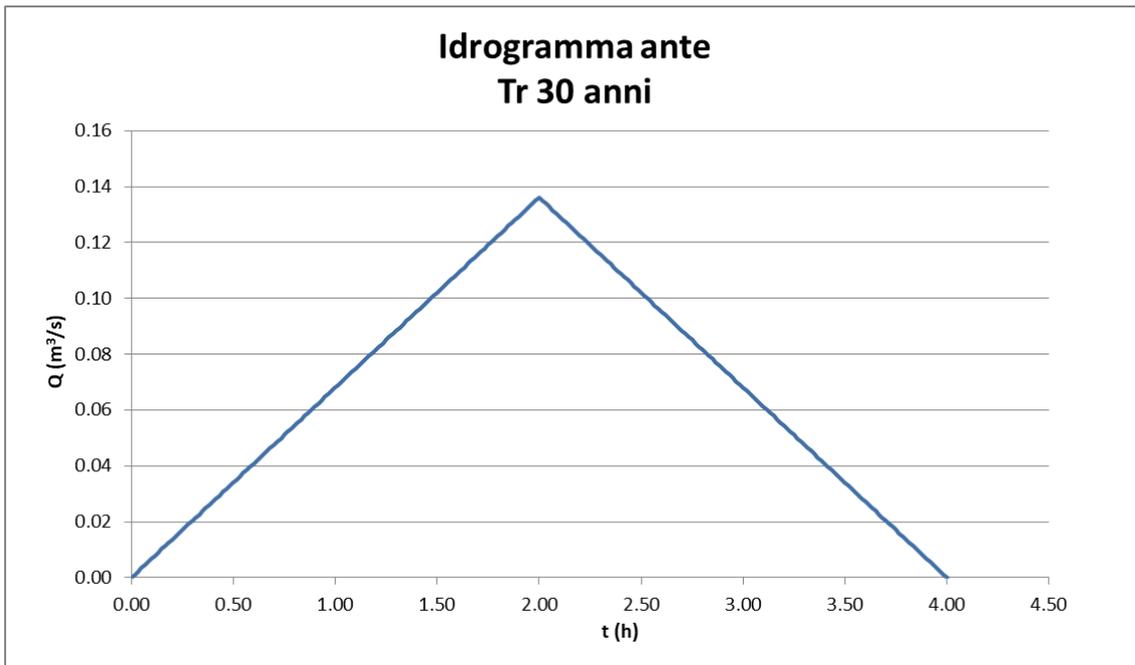
- la formazione della piena sia dovuta esclusivamente ad un fenomeno di trasferimento (senza invasi) di massa liquida;
- ogni goccia di pioggia si muova sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile, che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui essa è caduta;
- la velocità di ogni singola goccia non sia influenzata dalla presenza delle altre gocce (... ipotesi più inverosimile);

- la portata alla sezione di chiusura si ottenga sommando tra loro le portate elementari, provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura.

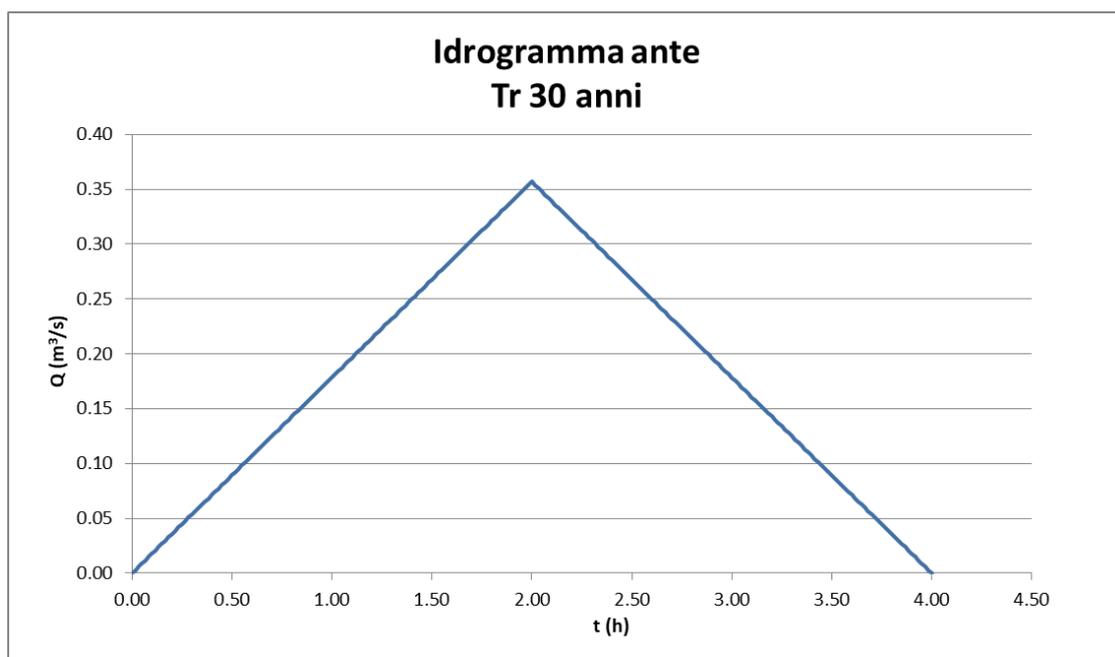
Di seguito si riportano gli idrogrammi ottenuti per ciascun lotto per la situazione ante-operam come evento pluviometrico di progetto l'evento con Tr 30 anni e durata di pioggia 2 ore.



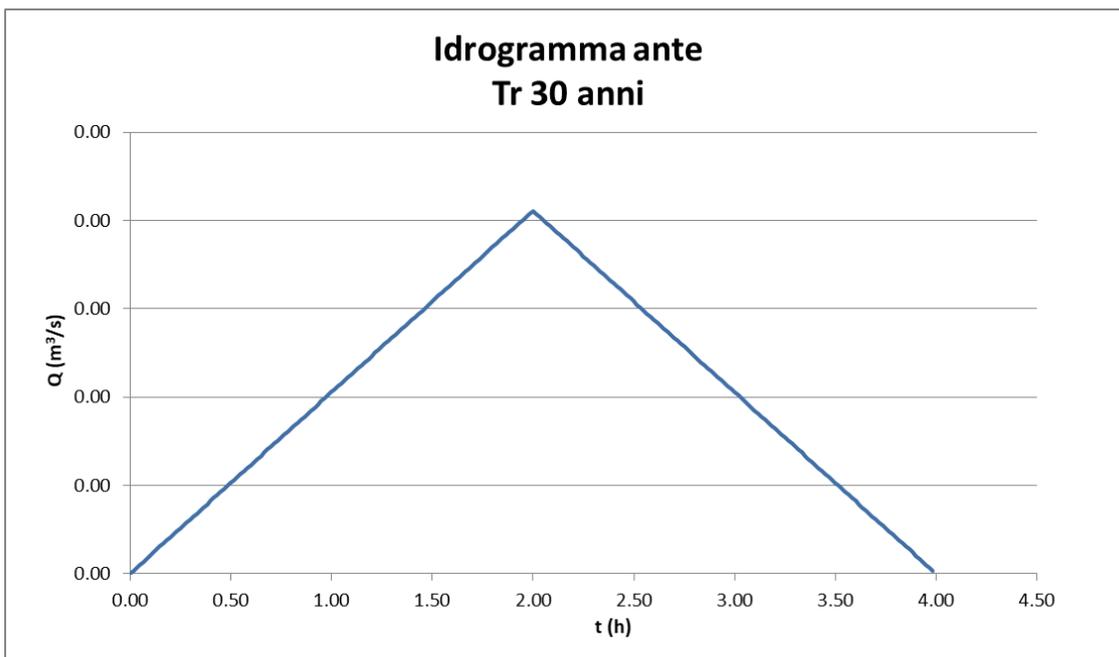
Idrogramma ante-operam relativo all'area sottoposta alla realizzazione del nuovo intervento-lottoC



Idrogramma ante-operam relativo all'area sottoposta alla realizzazione del nuovo intervento-lottoB



Idrogramma ante-operam relativo all'area sottoposta alla realizzazione del nuovo intervento-lottoA



Idrogramma ante-operam relativo all'area sottoposta alla realizzazione del nuovo intervento-lottoSSE

Nella tabella seguente vengono riportate le portate da considerare come portata di scarico massima relativa a ciascun lotto

| | area totale [mq] | Q invarianza [mc/s] |
|-----------|------------------|---------------------|
| lotto C | 10960 | 0.022 |
| lotto B | 66870 | 0.136 |
| lotto A | 175365 | 0.357 |
| lotto SSE | 1010 | 0.002 |

Dunque i quantitativi di volume, sopra calcolati e pari a:

160.86 mc → lotto C

46.54 mc → lotto B

143.48 mc → lotto A

32.05 mc → lotto SSE

verranno opportunamente raccolti all'interno di vasche con scarico sui fossi limitrofi ai lotti di interesse, e valore massimo allo scarico quello sopra definito e pari alla portata di invarianza. Nello specifico si ipotizzano delle vasche aventi le seguenti dimensioni con altezza massima del tirante inferiore a 1 mt

vasca 1 (lotto C) → BxLxH = 9x18x1 mt

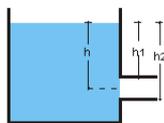
vasca 2 (lotto B) → BxLxH = 6x8x1 mt

vasca 3 (lotto A) → BxLxH = 12x12x1 mt

vasca 4 (lotto SSE) → BxLxH = 7x5x1 mt

Le acque vengo o poi smaltite all'interno del corpo idrico recettore mediante delle tubazioni in grado di drenare la portata massima di invarianza e comunque con dimensioni diametro inferiori a 200 mm.

Le dimensioni sono state determinate tramite la legge di efflusso sotto battente considerando le dimensioni delle vasche sopra riportate



$$Q = \mu S \sqrt{2gh}$$

Legenda

Q = Portata effluente dalla luce

h = distanza tra il baricentro della luce e il pelo libero

D = Diametro della condotta

Tubazione scarico vasca 1 → Dn 80 mm

Tubazione scarico vasca 2 → Dn 100 mm

Tubazione scarico vasca 3 → Dn 100 mm

Tubazione scarico vasca 4 → Dn 30 mm

CONCLUSIONI

L'intervento in progetto consiste nell'installazione di un impianto fotovoltaico che causa un impatto per sottrazione di suolo che si può considerare trascurabile: in condizioni di esercizio l'area sotto i pannelli resta libera e rinaturalizzata.

Anche la totale assenza di fondazioni e manufatti in c.a., ad eccezione delle fondazioni delle cabine e dei locali tecnici, concorrono a garantire inalterate le caratteristiche di uso del suolo, che quindi non inficiano nella variazione sostanziale del coefficiente di deflusso.

Tali considerazioni permettono quindi di affermare che il posizionamento dell'impianto fotovoltaico nelle aree in esame non determina un effettivo cambiamento di uso del suolo, e quindi le capacità di infiltrazione del suolo risultano quasi inalterate, senza determinare un effettivo deficit nello smaltimento delle portate meteoriche. Ciò nonostante, vista la delibera regionale n.117 del 2020 in cui vengono definiti "i Criteri, le modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali", essendo le aree area classificabile come intervento di modesta e significativa impermeabilizzazione potenziale: infatti l'intervento, è stato calcolato il volume minimo di laminazione.

La realizzazione dell'impianto comporta una perdita di superfici permeabile estremamente ridotta, legata sostanzialmente alla realizzazione di cabine, locali tecnici e sistemazione della viabilità interna. Nel caso specifico sono stati stimati dei volumi di laminazione per ciascun lotto con portata massima allo scarico (considerando l'area impermeabilizzata) stimata per una durata di 2 ore e tempo di ritorno 30 anni.

In tal modo il principio di invarianza idraulica, per il quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree in trasformazione nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti alla trasformazione stessa, risulta soddisfatto.