



ALTA CAPITAL 12

Alta Capital 12 S.r.l.
 Via Ettore De Sonnaz, 19
 10121 Torino (TO)
 P.Iva 12531540016
 PEC altacapital12.pec@maildoc.it

Progettista



Industrial Designers and Architects S.r.l.
 via Cadore, 45
 20038 Seregno (MB)
 p.iva 07242770969
 PEC ideaplan@pec.it mail info@ideaplan.biz



Progetto per la realizzazione dell'Impianto agrivoltaico integrato ecocompatibile "Bordonaro" da 130 MWp a Gangi 90024 (PA).

Elaborato del progetto definitivo

Relazione di invarianza idraulica

Revisione

n.	data	aggiornamenti
1		
2		
3		

nome file

documento in + altri\rolica 2\p.u.a. bordonaro\autorità bacino\rs.06.rel.0013.a.0-relazione di invarianza idraulica_rev01.docx

Elaborato

RS 06 REL

0013 A 0

	data	nome	firma
redatto	25.10.2022	Vitalizio	
verificato	27.10.2022	Falzone	
approvato	27.10.2022	Speciale	

DATA 27.10.2022

Regione SICILIA
Provincia di Palermo
Comune di Gangi

RELAZIONE INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

Committente

Nome **Alta Capital 12 srl**
Indirizzo **Via Ettore De Sonnaz n.19, 10121 Torino**

Edificio / Area

Descrizione **Impianto Agrivoltaico Integrato Ecocompatibile "Bordonaro" da realizzarsi nel comune di Gangi (PA) per una potenza fotovoltaica pari a 130 MWp**
Indirizzo **Contrada Bordonaro**

Studio tecnico

Nome **ID&A S.R.L.**
Indirizzo **VIA PALADINI 246 CALTANISSETTA - 93100 CALTANISSETTA (CL)**

Progettista Ing. Michele Speciale

Rif.: Invarianza Bordonaro - Gangi
Software di calcolo: Edilclima - EC737 - versione 2
Data di redazione del documento: 14/07/2022

INDICE

- 1. PREMESSA**
- 2. DESCRIZIONI GENERALI DELL'AREA**
- 3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE DI INVARIANZA IDRAULICA E/O IDROLOGICA**
- 4. PORTATE MASSIME SCARICABILI**
- 5. DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO**
- 6. METODOLOGIE DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ADOTTATI**
 - 6.1 Metodo delle sole piogge
 - 6.2 Metodo analitico di dettaglio
- 7. CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA SCARICATA**
- 8. TEMPO DI SVUOTAMENTO**
- 9. PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI**
- 10. MISURE COMPENSATIVE E/O DI MITIGAZIONE PROPOSTE**
- 11. CONCLUSIONI SULLO STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA**

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la verifica del rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica e idrologica relativi alla realizzazione di un impianto agrivoltaico integrato ecocompatibile denominato "Bordonaro" da realizzarsi in località Gangi (PA).

La modifica delle condizioni del suolo a seguito della progettazione, impone di dimostrare, attraverso uno studio di carattere idrologico-idraulico, il rispetto del principio dell'invarianza idraulica secondo cui la trasformazione di un'area deve avvenire senza provocare aggravio della portata di piena del corpo idrico o della rete di drenaggio ricevente i deflussi originati dall'area stessa.

Il rispetto dell'invarianza idraulica è ottenibile, oltre che tramite l'adozione di buone pratiche costruttive, anche mediante l'adozione di misure compensative quali, nel caso in questione, la realizzazione di dispositivi di compensazione (volumi d'invaso) e dispositivi idraulici.

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

Le verifiche del rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica e idrologica vengono condotte conformemente al D.D.G. n. 102 del Dipartimento Regionale dell'Urbanistica del Dipartimento Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia ed in particolare secondo le indicazioni di cui all'allegato 1 e all'allegato 2 del medesimo Decreto.

Nello specifico verranno adottati i metodi di calcolo in essa richiamati e, in mancanza di precise indicazioni, si farà riferimento a formulazioni consolidate in letteratura tecnica a seguito esplicitate.

Nel presente documento verranno descritte le soluzioni progettuali adottate, i metodi di calcolo utilizzati e verranno riportati i report dei calcoli eseguiti, con relativi grafici, e le verifiche effettuate.

2. DESCRIZIONI GENERALI DELL'AREA E DATI AMMINISTRATIVI

La presente relazione riguarda il progetto di un impianto agrivoltaico della potenza di 130 MWp, denominato "Impianto Agrivoltaico Integrato Ecocompatibile Bordonaro", il quale verrà realizzato a terra nel territorio comunale di Gangi (PA) nei terreni regolarmente censiti al catasto.

L'impianto, classificato come "Impianto non integrato", è di tipo grid-connected e la modalità di connessione è in "Trifase in ALTA TENSIONE 150 kV".

Il progetto prevede una superficie massima di circa 700.144 m², per una potenza nominale di picco complessiva del campo lato AC pari a 130 MWp, mentre la superficie catastale complessiva risulta di 2.294.746,00 m².

I moduli fotovoltaici sono wafer composti in alluminio, silicio e vetro delle dimensioni standard di circa 2,40x2,10 m. e del peso di circa 30 kg.

I singoli moduli sono poi montati su pali infissi mediante struttura orizzontale metallica (arcarecci) giuntate ogni 25 moduli in modo da costituire strutture leggere ed indipendenti ancorchè affiancate nella composizione dei singoli sottocampi e dell'intero campo fotovoltaico.

La dimensione maggiore di una singola tavola nella configurazione di inseguitore monoassiale sarà di circa 55,00x5,00m. collegata a più pilastri di sostegno del peso complessivo di circa 3 tonnellate (su un'impronta in pianta di circa 275 mq.).

A maggiore chiarezza, il moto dell'inseguitore monoassiale si svilupperà nell'arco di un'intera giornata con velocità tale da approssimarsi, istante per istante, a carico puramente statico (90° in circa 12 ore).

Le altezze al mozzo delle strutture di sostegno sono di circa 2 metri da terra e la parte più alta dei moduli da terra è di circa 3,50 metri, a fronte di una profondità di infissione massima di circa 4,00/5,00 metri, rappresentando quindi una struttura metallica leggera e tozza con una proporzione tra parte infissa e fuori terra di circa 4/1.

I terreni, sui quali sarà costruito l'impianto agrivoltaico in progetto, ricadono nel territorio comunale di Gangi (PA) e per un'esigua parte nel territorio di Enna (EN), a circa 11,7 km a Sud del centro abitato di Gangi (PA), in una zona occupata da terreni agricoli e distante sia da agglomerati residenziali sia da case sparse.

Il terreno si trova a circa 16,9 km a Sud-Est di Petralia Soprana (PA), a 7,9 km ad Est di Alimena (PA), a 4 km ad Ovest di Villadoro (EN) e a 17,5 km a Sud-Ovest di Nicosia (EN). Il sito risulta accessibile dalla viabilità locale, costituita da strade statali, provinciali, comunali e vicinali. Nello specifico l'area destinata al futuro campo agrivoltaico si trova ad Est della Strada Statale 290 ed a Nord-Ovest della Strada Provinciale 32.

Nella cartografia del Catasto Terreni, riportata in figura 1, l'area di impianto è compresa nei Fogli di Mappa Castastale nn. 73, 78, 79, 80 di Gangi (PA) e nel Foglio n. 281 di Enna (EN).

Per effettuare una localizzazione univoca dei terreni sui quali insiste il campo agrivoltaico, di seguito si riportano le cartografie riguardanti:

- sovrapposizione del campo agrivoltaico su ortofoto (figura 1);
- sovrapposizione del campo agrivoltaico su catastale (figura 2);
- sovrapposizione del campo agrivoltaico su C.T.R. (figura 3);
- layout dell'impianto agrivoltaico (figura 4).

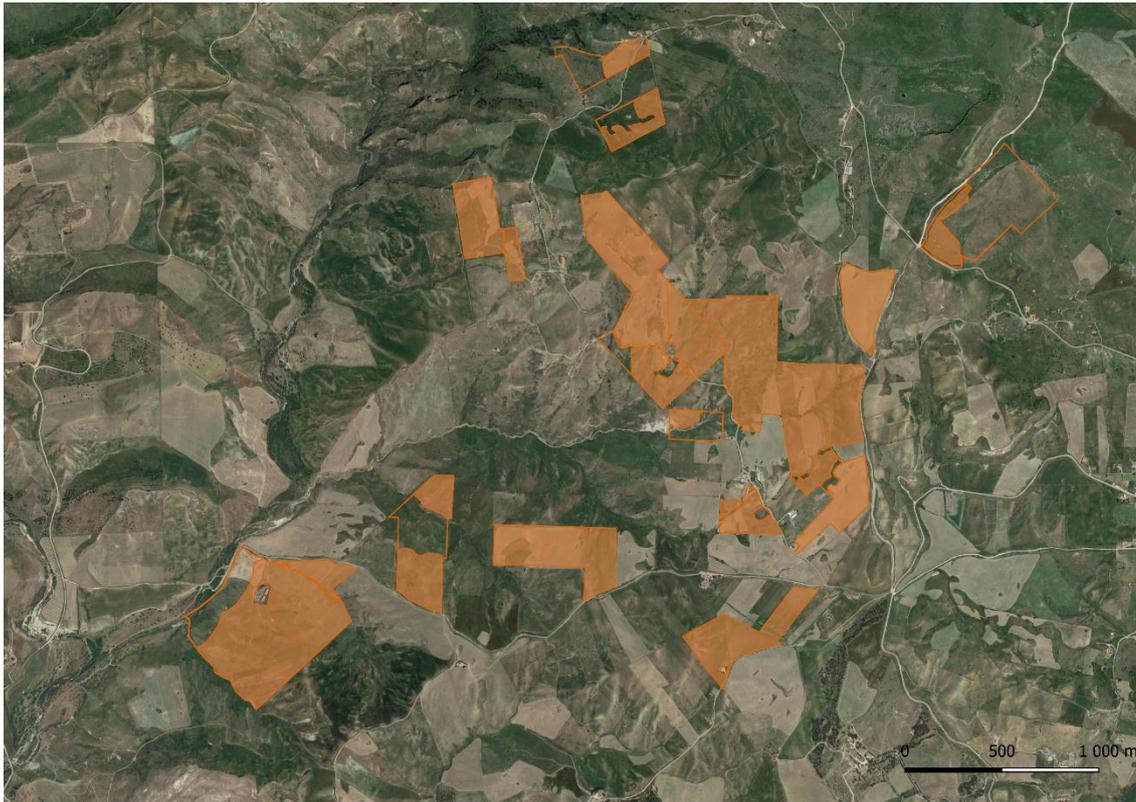


Fig.1 – Sovrapposizione del campo agrivoltaico su ortofoto



Fig.2 – Sovrapposizione del campo agrivoltaico su catastale

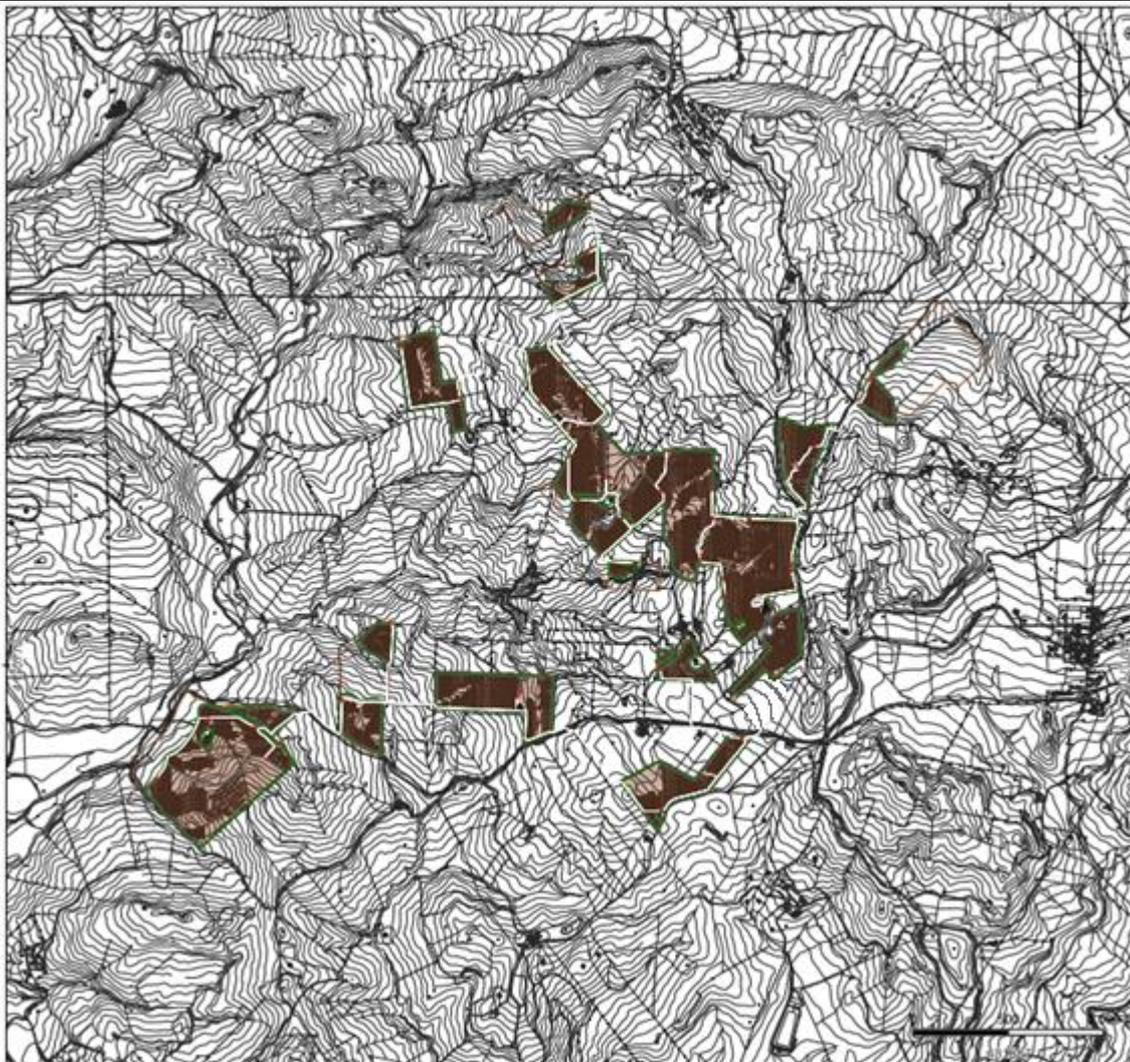


Fig.3 – Sovrapposizione del campo agrivoltaico su C.T.R.

Individuazione dell'area

Comune di

Gangi

Provincia Palermo

CARATTERISTICHE AREA			
Descrizione	Tipo area	Superficie [m²]	Coeff. Afflusso ϕ
Area agricola residuale	Area permeabile	1594602,0	0,00
Area superficie pannelli	Area impermeabile	700144,0	1,00

Superficie totale 2294746 m²

Coefficiente afflusso medio ponderale ϕ_m 0,3015

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ , secondo quanto stabilito dall'allegato 2 del citato D.D.G. n.102, al fine di prendere in considerazione l'umidità iniziale del terreno (grado di saturazione), la porosità, la pendenza, la copertura vegetale, ecc., si è utilizzato il metodo Kennesey, utilizzando i coefficienti ϕ per tipologia di suolo di seguito elencati:

- ✓ Superfici Impermeabili 1,0
- ✓ Pavimentazioni Drenanti o Semipermeabili 0,7
- ✓ Aree permeabili 0,3
- ✓ Incolto e Uso Agricolo 0,0

In particolare, visto gli elementi del progetto, si sono adottati i coefficienti di cui alla precedente tabella.

3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE DI INVARIANZA IDRAULICA E/O IDROLOGICA

La soluzione progettuale adottata per il rispetto delle prescrizioni sull'invarianza idraulica e idrologica, prevede l'utilizzo di dispositivi di compensazione costituiti da n.05 invasi artificiale di laminazione.

La progettazione definitiva di un invaso artificiale si è basata sui seguenti criteri generali:

- l'ubicazione e la planimetria dell'invaso sono state ricavate in seguito ad un'analisi progettuale che ha tenuto in considerazione sia l'aspetto tecnico che quello funzionale legato alla morfologia dei terreni e degli impluvi naturali che, in maniera sussidiaria, alla distribuzione dei volumi irrigui alle aree sottese all'invaso;
- la realizzazione dei volumi di terra risulta in parte in scavo e in parte in rilevato, al fine di impiegare parte del materiale scavato nella costruzione del rilevato arginale, cioè una briglia in terra battuta, riducendo il più possibile l'eccedenza di materiale da dover smaltire o trasportare a discarica;
- realizzazione di argini perimetrali di contenimento idrico, al fine di incrementare il volume immagazzinabile rispetto alla realizzazione di un invaso solo con scavo;
- la quota di massimo invaso è stata assunta considerando un franco di sicurezza tra il livello idrico di regolazione e la quota massima del rilevato di 1 m;
- la quota di minimo invaso è stata posta a circa 20 cm rispetto al fondo del lago per favorire la sedimentazione delle particelle di terra, evitando l'interrimento dello scarico di fondo;

Il miglioramento dell'efficienza della risorsa idrica è stato conseguito inoltre osservando i seguenti obiettivi:

1) L'ubicazione dell'invaso è stata definita in funzione della possibilità di approvvigionamento idrico, al di fuori dei prelievi in acque pubbliche, verificando la disponibilità teorica data dal bilancio idrologico del bacino impluviale in direzione dell'invaso di progetto.

2) le precipitazioni che si abbattano sul bacino di carico dell'opera permettono di invasarla completamente, ottenendo un risparmio di risorsa pari al volume dell'invaso in progetto;

3) l'impermeabilizzazione della superficie interna dell'invaso consente di stoccare tutta la risorsa senza perdite per infiltrazione nel terreno.

La realizzazione di un invaso di laminazione per il controllo dei tempi di corrivazione verso valle e il mantenimento del coefficiente udometrico costante nei valori ante e post operam, deve prevedere un sistematico svuotamento dello stesso per il mantenimento della capacità di invasatura delle acque meteoriche residue di ruscellamento superficiale, ottenuto come residuo del bilancio idrologico annuo medio per le aree di progetto, caratterizzate da differenti composizioni del substrato, secondo la relazione:

$$R = P - ET - I$$

dove:

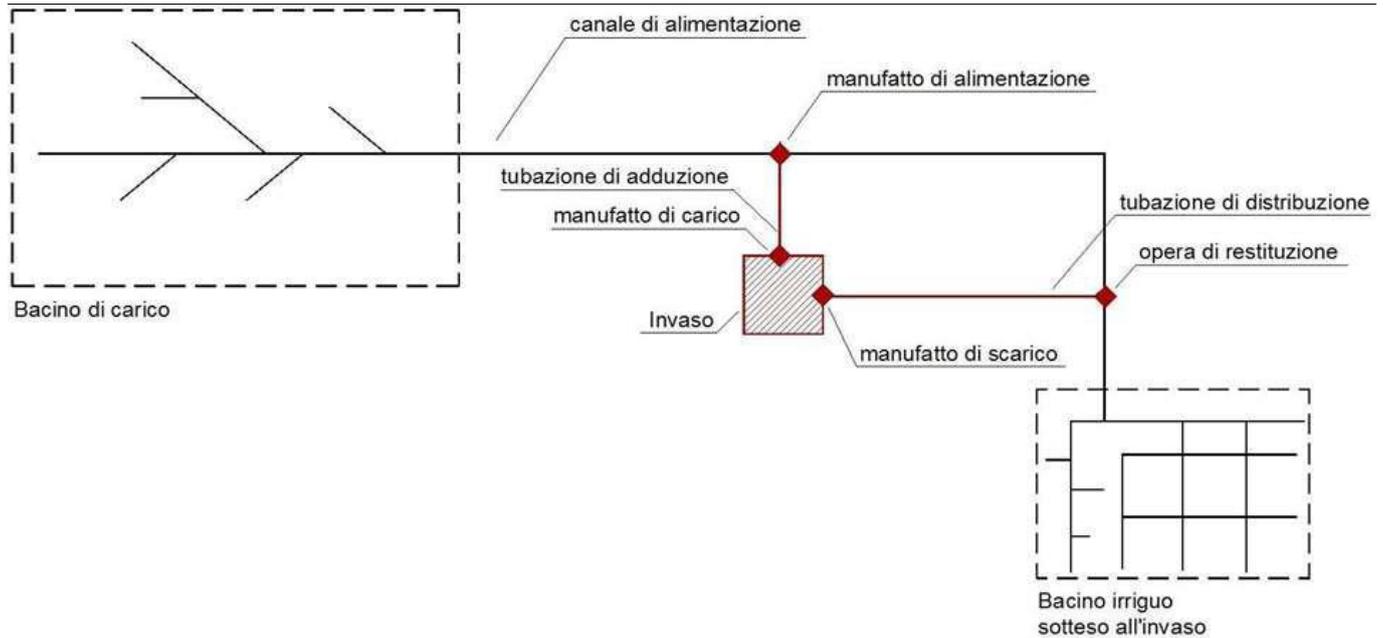
R = ruscellamento residuo;

P = Quantitativi d'acqua di precipitazione;

ET = quantitativi d'acqua di evapotraspirazione;

I = quantitativi d'acqua di infiltrazione efficace.

Il valore di R determinerà la quantificazione annua della risorsa idrica immagazzinabile nell'invaso di laminazione e rappresenterà la risorsa utilizzabile per scopi irrigui, con ciò mantenendo l'invaso di compensazione delle portate a capacità di raccolta di sicurezza (vedi i calcoli della relazione geologica e idrogeologica cui si rimanda per la verifica dell'Invarianza Idraulica).Al contempo, il progetto di realizzazione risorsa idrica per poterla utilizzare schematizzato come segue:



Gli elementi progettuali di un invaso possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- opere generali;
- invaso;
- rete di distribuzione.

Le opere generali comprendono tutte le attività di preparazione propedeutiche allo svolgimento dei lavori di realizzazione delle opere in progetto, e consisteranno in:

- sterro del cotico superficiale del terreno per il livellamento della superficie.

Il terreno rimosso avente caratteristiche pedologiche più scadenti sarà temporaneamente accantonato per essere successivamente riutilizzato per le coperture finali delle pendici dell'opera di ritenuta (briglia in terra battuta) e per i livellamenti di raccordo caratteristiche pedologiche sarà separato e riutilizzato per i lavori preparatori del piano di impianto nell'area di compensazione vegetazionale con termine.

- riprofilatura delle parti terminali

Sarà eseguito con escavatore cingolato di dimensioni più ridotte e dotato di benna trapezoidale per lo scavo di fossi.

Completati i lavori preparatori si procederà allo scavo del bacino del predisposizione della fondazione per l'opera di ritenuta, secondo le seguenti operazioni:

- a) Scavo con escavatore meccanico della vasca. Il piano del fondo invaso dovrà possedere una pendenza (misurata da monte verso valle) adeguata per consentire lo svuotamento rapido in caso di necessità;
- b) Deposito del materiale in zona limitrofa all'area di intervento; il materiale argilloso sarà riutilizzato per i livellamenti e i raccordi morfologici;
- c) Scavo con escavatore meccanico dell'alloggiamento delle opere di sbarramento;
- d) Deposito del materiale in zona limitrofa all'area di intervento; il materiale scavato sarà riutilizzato in sito per livellamenti del terreno;
- e) Realizzazione di idonea rete di drenaggio delle acque meteoriche di tipo provvisoria esternamente al coronamento dello scavo, allo scopo di limitare il ruscellamento superficiale e gli eccessivi accumuli di acqua piovana.

L'opera di sbarramento posta a valle dell'invaso è costituita da una briglia in terra battuta opportunamente dimensionata al contenimento della capacità massima dell'invaso e immersa nel substrato argilloso.

Predisposto il piano di posa (radice) della briglia, si procederà al riporto di argilla in strati di spessore massimo 50 cm opportunamente stesi e compattati con rullo compressore vibrante a zampa di montone (rullo bugnato);
la bugnatura del rullo permetterà di rendere più stabile il corpo della briglia e maggiore il rapporto di compressione dei materiali argillosi utilizzati.

I materiali utilizzati per la realizzazione della briglia saranno lavorati solo se in caratteristiche fisico-meccaniche e tipologiche necessari all'ottenimento delle migliori condizioni statiche.

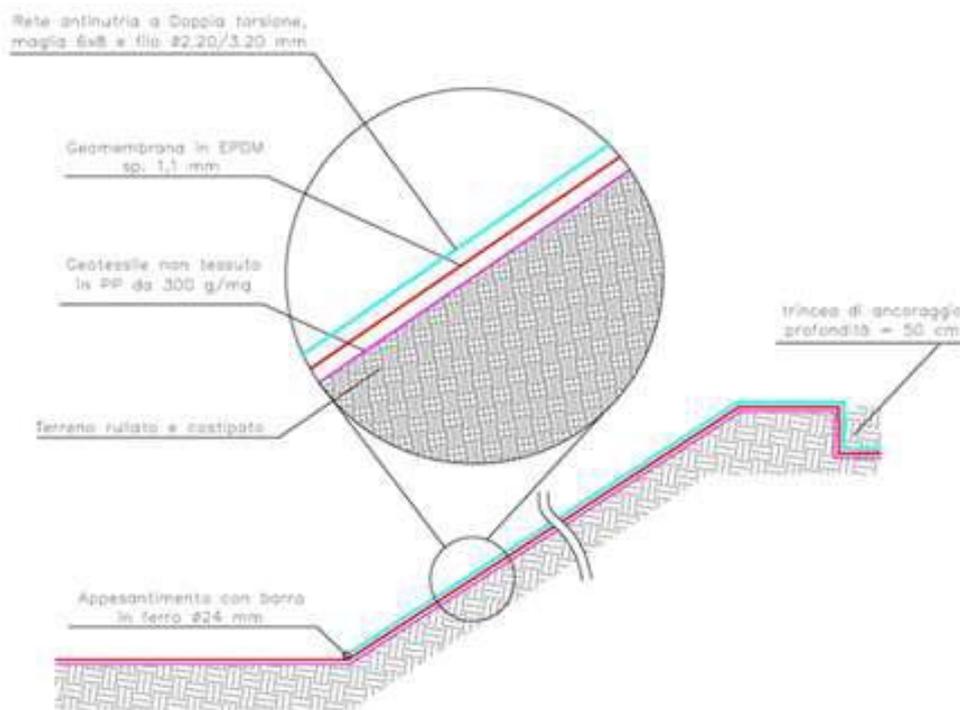
Ultimati i lavori di realizzazione del corpo della briglia in terra battuta, si procederà al riporto di materiale argilloso per la costituzione della vasca di accumulo idrico, procedendo in base alle sezioni di progetto, con rinfranco delle fiancate e del fondo con ulteriori 50 cm di argille opportunamente compattate.

Per evitare fenomeni di filtrazione è stata prevista inoltre la posa di una geomembrana impermeabile in EPDM.

Nel dettaglio il rivestimento del fondo e della sponda lato bacino di accumulo che è così composto:

- regolarizzazione del fondo scavo;
 - impermeabilizzazione mediante posa di geomembrana in EPDM dello spessore di 1,10 mm su uno strato di tessuto non tessuto di massa aerica apri a 300 grammi/mq;
 - rete maglia 6 x 8 e filo Φ 2,20/3,20 mm;
- tale rete rimarrà tesa mediante l'utilizzo di una barra in ferro Φ 24 mm posizionata orizzontalmente nella parte inferiore della rete.

Di seguito è riportato un estratto del pacchetto di impermeabilizzazione da realizzare sul fondo del lago e sulle sponde lato bacino.



Le verifiche periodiche e le manutenzioni dell'invaso dovranno accertare l'integrità dell'impermeabilizzazione del fondo e dei fianchi e provvedere al rinfranco dello strato di argilla compattata ove necessario.

Si procederà quindi alla realizzazione dei fossi perimetrali all'invaso.

I fossi saranno impermeabilizzati al fondo con argilla compattata allo scopo di evitare perdite, erosione delle sponde e sifonamenti delle opere di contenimento.

Le tubazioni di distribuzione che a questo punto verranno posate saranno tutte in PVC o PEAD.

Ultimati i riporti e la posa dei manufatti si procederà alla regolarizzazione delle superfici esterne alla vasca di accumulo con riporto di circa 30 cm di suolo riutilizzando il terreno precedentemente accantonato nella fase preparatoria iniziale.

Successivamente le pendici esterne della briglia in terra battuta e delle zone esterne all' invaso saranno rinverdite con semina a spaglio di essenza erbacee autoctone opportunamente selezionate allo scopo di produrre una corretta integrazione paesaggistica delle opere con il contesto territoriale circostante.

In ultimo si eseguirà un opportuno livellamento ed una ulteriore rullatura del fondo per la realizzazione della pista di servizio che contorna il perimetro dell' invaso e che permetterà l' accesso per gli interventi di manutenzione ordinaria e se del caso straordinaria.

4. PORTATE MASSIME SCARICABILI

Per quanto attiene alle portate massime scaricabili, Q_{umax} , si adotta il seguente valore: **4644,00 l/s**.

Tale portata è desunta facendo riferimento all'allegato 2 del D.D.G. n. 102 del Dipartimento Regionale dell' Urbanistica del Dipartimento Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia, il quale prevede una portata ammissibile allo scarico nel ricettore non superiore a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabile dell' intervento.

Nel caso specifico si ha:

$$Q_{umax} = 232,20 \text{ Ha} \times 20 \text{ l/s} = \mathbf{4644,00 \text{ l/s}}$$

5. DEFINIZIONE DELLE PIOGGE DI PROGETTO

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

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

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

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

h [mm]: altezza di pioggia

D [ore]: durata di pioggia

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

a [mm/ora ^{n}]: parametro della linea segnalatrice di pioggia

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

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

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

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

Nel caso in esame, che ricade all'interno del Bacino Idrografico del fiume Imera Meridionale, si è fatto riferimento ai dati di *a* e di *n* delle curve di possibilità pluviometrica della stazione pluviometrica di Villadoro, estrapolando i dati riportati nella tabella seguente:

STAZIONE PLUVIOMETRICA VILLADORO							
<i>Tr 40</i>		<i>Tr 50</i>		<i>Tr 100</i>		<i>Tr 200</i>	
<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
52,6	0,35	54,6	0,35	60,8	0,35	66,9	0,35

Tabella 1 - Parametri *a* ed *n* per diversi tempi di ritorno

6. METODOLOGIE DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ADOTTATI

Al fine di ottemperare alle verifiche di invarianza idraulica e/o idrologica vengono adottati i seguenti metodi di calcolo:

- metodo delle sole piogge
- metodo analitico di dettaglio

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

Tra tutti questi metodi adottati si assumerà quale valore del volume minimo di progetto il maggiore tra tutti i valori calcolati.

6.1 Metodo delle sole piogge

Il metodo delle sole piogge si basa sul confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti, ipotizzando che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi, considerando costante la portata uscente ed andando a massimizzare il volume accumulato.

Nello specifico la portata media entrante viene calcolata come segue:

$$Q_e = 2,78 \cdot a \cdot \varphi_m \cdot D^{n-1} \cdot A$$

Q_e [l/s]: portata media entrante

φ_m [-]: coefficiente d'afflusso medio ponderale

A [ha]: area totale interessata dall'intervento

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

D [ore]: durata della precipitazione

Conseguentemente il volume entrate W_e [m³] è pari a:

$$W_e = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D^n \cdot A$$

Il volume uscente W_u [m³], essendo ipotizzata costante la portata uscente pari alla massima $Q_{u\max}$ [l/s], ha la seguente formulazione:

$$W_u = 3,6 \cdot Q_{umax} \cdot D$$

Pertanto, il volume invasato ad ogni durata D [ore] è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D^n \cdot A - 3,6 \cdot Q_{umax} \cdot D$$

Attraverso semplici passaggi matematici, derivando l'equazione sopra, si ottiene il valore della durata critica della precipitazione (D_w) ed il conseguente volume critico dell'invaso (W_0):

$$D_w = \left(\frac{Q_{umax}}{2,78 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot n \cdot A} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D_w^n \cdot A - 3,6 \cdot Q_{umax} \cdot D_w$$

D_w [ore]: durata critica d'invaso

Q_{umax} [l/s]: portata uscente massima

W_0 [m³]: volume di laminazione

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

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

A [ha]: area totale interessata dall'intervento

φ_m [-]: coefficiente d'afflusso medio ponderale

Si osservi che il parametro n (esponente della curva di possibilità pluviometrica) da utilizzare nelle equazioni precedenti dovrà essere congruente con la durata D_w , tenendo conto che il valore di n è generalmente diverso per le durate inferiori all'ora, per le durate tra 1 e 24 ore e per le durate maggiori di 24 ore.

Adottando valori di n valevoli per durate superiori ad un'ora si deve ottenere un valore di durata D_w superiore all'ora. Se così non fosse, si deve adottare un valore di n , valevole per durate inferiori ad un'ora e calcolare la conseguente durata.

Qualora il risultato ottenuto in questa seconda ipotesi, fosse superiore ad un'ora significa che ci si trova nel punto in cui cambiano i valori di n , ovvero un'ora, e si adotta tale valore.

6.2 Metodo analitico di dettaglio

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

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

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

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

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

- calcolo ietogramma di pioggia di progetto lorda mediante lo ietogramma Chicago;

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

Ietogramma di pioggia di progetto

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

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

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

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

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

h [mm]: altezza di precipitazione

a [mm/ora ^{n}]: parametro della linea segnalatrice di pioggia

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

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

t [ore]: generico istante di calcolo

t_p [ore]: durata della precipitazione

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

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

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

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

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

i [mm/ora]: intensità di precipitazione

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

Ietogramma di pioggia netto

Lo ietogramma di pioggia netto viene calcolato mediante il metodo percentuale, esso risulta essere, pertanto, dato dalla seguente formula:

$$i_n(t) = \varphi \cdot i(t)$$

i_n [mm/ora]: intensità di pioggia netta

i [mm/ora]: intensità di pioggia lorda

φ [-]: coefficiente di afflusso

Idrogramma in ingresso all'invaso

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A [ha]: area totale dell'intervento

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

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

t_c [ore]: tempo di corrivazione

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

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

t_e [ore]: tempo di entrata in rete

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

1,5: coefficiente di taratura

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

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

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

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

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

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

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

$$V_r = k_s \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

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

$D [m]$: diametro interno della condotta

$i [-]$: pendenza della condotta

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

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

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

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

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

Portata in uscita dall'invaso

Trattandosi di un sistema di scarico con luce a battente circolare tarata, per portare scaricate inferiori al valore di taratura $Q_{max,tar}$, si adotta la seguente legge di efflusso:

$$Q_u(H) = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

Per portate superiori si adotta la seguente:

$$Q_u = Q_{max,tar}$$

$Q_u [m^3/s]$: portata in uscita dall'invaso

$H [m]$: battente idrico

$D [m]$: diametro interno del foro

$A [m^2]$: area della bocca d'uscita = $\pi \cdot D^2/4$

$\mu [-]$: coefficiente di efflusso ($\mu = 0,6$)

$g [m/s^2]$: accelerazione di gravità

Calcolo del volume invasato con il metodo di dettaglio

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

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

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

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

W [m^3]: volume invasato

t [s]: tempo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_0 = \max_i(W_i)$$

7. CALCOLO DELLA PORTATA MASSIMA SCARICATA

La portata massima scaricata viene calcolata in base alle formule precedenti avendo assunto il battente idrico pari al suo massimo valore all'interno dell'invaso.

Nel caso si adottino più metodi di calcolo contemporaneamente si adotterà il valore maggiore di questi.

Per i metodi semplificati il battente idrico massimo H si calcola con la seguente relazione:

$$H = \frac{W}{A_{inv}}$$

$W [m^3]$: volume invasato

$A_{inv} [m^2]$: area in pianta dell'invaso

Per il metodo analitico il battente idrico viene calcolato come il massimo di tutti i tiranti idrici all'interno dell'invaso durante l'evento di piena.

8. TEMPO DI SVUOTAMENTO

Il tempo di svuotamento T_{sv} viene calcolato mediante la simulazione dinamica dell'invaso, come tempo intercorrente tra il termine dell'evento meteorico ed il tempo di completo svuotamento dell'invaso.

9. PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI

Si riportano di seguito i risultati del calcolo.

CARATTERISTICHE GENERALI

Comune di Gangi Provincia Palermo

Metodi di calcolo adottati
Metodo delle sole piogge Metodo analitico di dettaglio

Portata massima scaricabile
Portata massima scaricabile <u>4644,00</u> l/s

Definizione aree			
Descrizione	Tipo area	Superficie [m ²]	Coeff. Afflusso ϕ
Area agricola residuale	Area permeabile	1594602,0	0,00
Area superficie pannelli	Area impermeabile	700144,0	1,00

Sup. totale intervento 2294746,0 m² Coeff. afflusso medio ponderale ϕ_m 0,3015

Per quanto concerne la determinazione della portata in ingresso, nel caso di studio, si è fatto riferimento ad una sollecitazione meteorica con tempo di ritorno **T di 50 anni**.

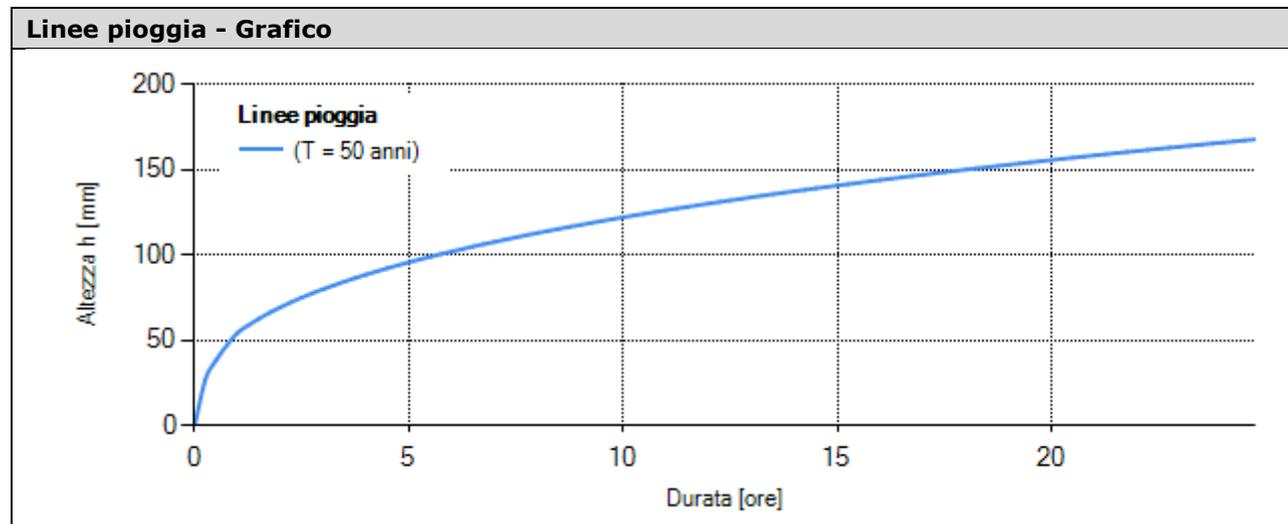
Un ulteriore parametro da fissare è la durata dell'evento di pioggia, che assume notevole importanza in tutti quei casi in cui entra in gioco la capacità d'invaso del sistema di infiltrazione.

In linea del tutto generale, vanno scelte brevi durate (da 10 minuti ad un'ora), e quindi elevate intensità di pioggia, nel caso di suoli molto permeabili e di piccole aree drenate; al contrario, lunghe durate (da qualche ora ad un giorno), e quindi basse intensità di pioggia, nel caso di suoli con permeabilità modesta.

Nel caso in esame, la durata critica della pioggia **tp, è stata scelta pari a 3 ore** in funzione dell'estensione delle aree in esame e delle caratteristiche di permeabilità del sottosuolo.

LINEE SEGNALETRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica			
Tempo di ritorno	TR	50	anni
Coefficiente pluviometrico orario	a	54,60	mm/h ⁿ
Coefficiente di scala	n	0,3500	-
Coefficiente di scala (durata < 1 ora)	n ₁	0,5000	-



Linee pioggia - Risultati tabellari

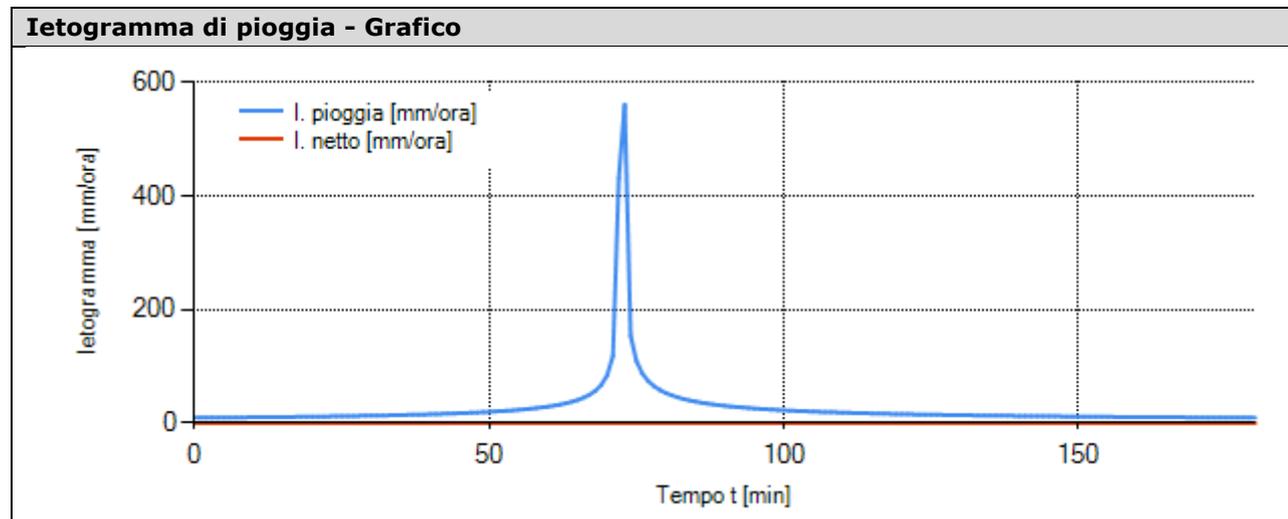
Durata [ore]	(T= 50 anni) h [mm]
0	0,00
1	54,60
2	69,59
3	80,20
4	88,70
5	95,90
6	102,22
7	107,89
8	113,05
9	117,81
10	122,23
11	126,38
12	130,29
13	133,99
14	137,51
15	140,87
16	144,09
17	147,18
18	150,15
19	153,02
20	155,79
21	158,48
22	161,08
23	163,61
24	166,06

CARATTERISTICHE IDROLOGICHE AREE

Caratteristiche idrologiche				
Descrizione	Tipo area	Superficie A [m ²]	Coeff. Afflusso ϕ	T. corriv. t_c [min]
Area agricola residuale	Area permeabile	1594602,0	0,00	15
Area superficie pannelli	Area impermeabile	700144,0	1,00	30
Superficie totale intervento: 2294746,0 m ²		Valori medi	0,3015	

IETOGRAMMA DI PIOGGIA

Definizione ietogramma di pioggia - Area agricola residuale		
Durata pioggia di progetto (θ)	3,00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo percentuale	

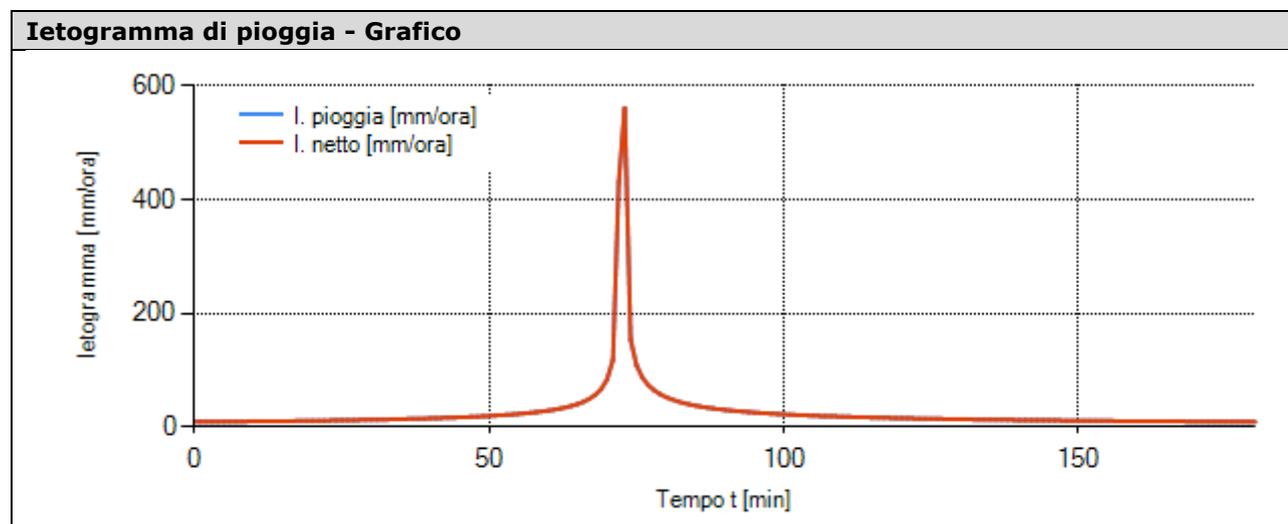


Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari		
Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	9,31	0,00
5	9,76	0,00
10	10,26	0,00
15	10,83	0,00
20	11,49	0,00
25	12,26	0,00
30	13,18	0,00
35	14,30	0,00
40	15,69	0,00
43	16,71	0,00
44	17,09	0,00
45	17,49	0,00
46	17,92	0,00
47	18,37	0,00
48	18,86	0,00
49	19,37	0,00
50	19,93	0,00
51	20,53	0,00
52	21,17	0,00
53	21,87	0,00
54	22,64	0,00
55	23,47	0,00
56	24,38	0,00
57	25,40	0,00
58	26,52	0,00
59	27,78	0,00
60	29,21	0,00
61	30,84	0,00
62	32,72	0,00
63	34,92	0,00
64	37,54	0,00
65	40,73	0,00

66	44,72	0,00
67	49,87	0,00
68	56,86	0,00
69	67,04	0,00
70	83,73	0,00
71	118,30	0,00
72	430,85	0,00
73	560,78	0,00
74	153,97	0,00
75	108,98	0,00
76	87,26	0,00
77	74,00	0,00
78	64,90	0,00
79	58,20	0,00
80	53,02	0,00
81	48,87	0,00
82	45,45	0,00
83	42,59	0,00
84	40,14	0,00
85	38,02	0,00
86	36,16	0,00
87	34,52	0,00
88	33,05	0,00
89	31,74	0,00
90	30,55	0,00
91	29,46	0,00
92	28,47	0,00
93	27,56	0,00
94	26,72	0,00
95	25,94	0,00
96	25,22	0,00
97	24,54	0,00
98	23,91	0,00
99	23,32	0,00
100	22,77	0,00
101	22,24	0,00
102	21,75	0,00
103	21,29	0,00
104	20,84	0,00
105	20,42	0,00
106	20,03	0,00
107	19,65	0,00
108	19,29	0,00
109	18,94	0,00
110	18,61	0,00
111	18,29	0,00
112	17,99	0,00
113	17,70	0,00
114	17,42	0,00
115	17,16	0,00
116	16,90	0,00
117	16,65	0,00
118	16,41	0,00
119	16,18	0,00
120	15,96	0,00
121	15,74	0,00
122	15,54	0,00
123	15,34	0,00
124	15,14	0,00
125	14,95	0,00
126	14,77	0,00
127	14,60	0,00
128	14,42	0,00
129	14,26	0,00

130	14,10	0,00
131	13,94	0,00
132	13,79	0,00
135	13,35	0,00
140	12,70	0,00
145	12,12	0,00
150	11,61	0,00
155	11,15	0,00
160	10,73	0,00
165	10,35	0,00
170	10,00	0,00
175	9,68	0,00
180	9,39	0,00

Definizione ietogramma di pioggia - Area superficie pannelli		
Durata pioggia di progetto (θ)	3,00	ore
Coefficiente di posizione (r)	0,40	-
Metodo di depurazione delle piogge	Metodo percentuale	



Ietogramma di pioggia - Risultati tabellari

Tempo [min]	Intensità di pioggia [mm/h]	Int. di pioggia netta [mm/h]
0	9,31	9,31
5	9,76	9,76
10	10,26	10,26
13	10,59	10,59
14	10,71	10,71
15	10,83	10,83
16	10,95	10,95
17	11,08	11,08
18	11,21	11,21
19	11,35	11,35
20	11,49	11,49
21	11,63	11,63
22	11,78	11,78
23	11,94	11,94
24	12,10	12,10
25	12,26	12,26
26	12,43	12,43
27	12,61	12,61
28	12,79	12,79
29	12,98	12,98
30	13,18	13,18
31	13,39	13,39
32	13,60	13,60
33	13,82	13,82
34	14,06	14,06
35	14,30	14,30
36	14,55	14,55
37	14,82	14,82
38	15,09	15,09
39	15,39	15,39
40	15,69	15,69
41	16,01	16,01
42	16,35	16,35
43	16,71	16,71
44	17,09	17,09

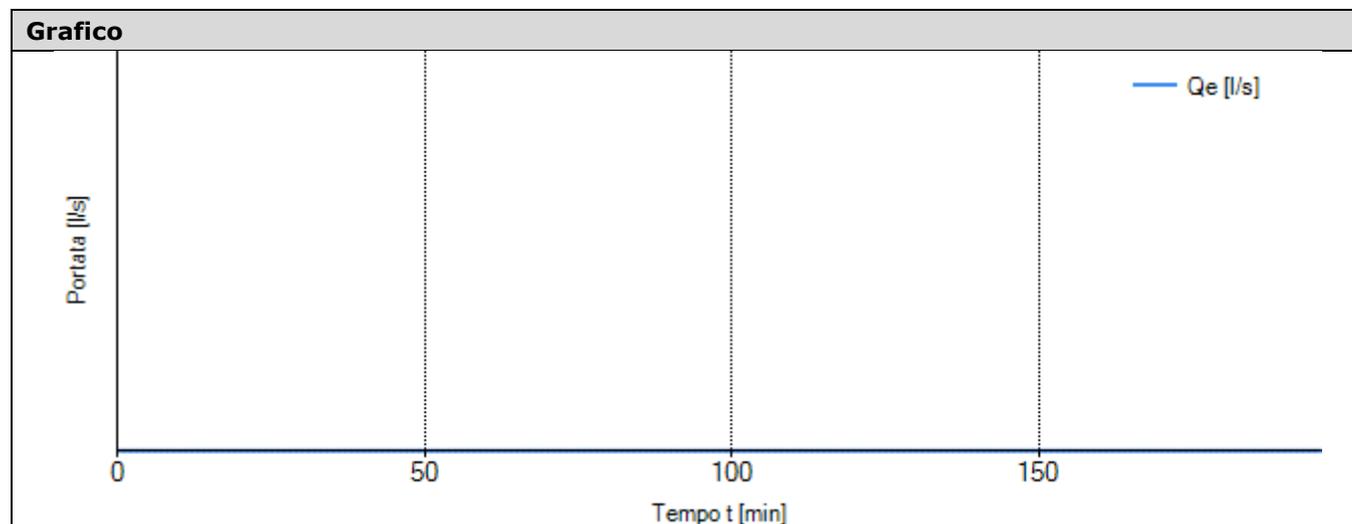
45	17,49	17,49
46	17,92	17,92
47	18,37	18,37
48	18,86	18,86
49	19,37	19,37
50	19,93	19,93
51	20,53	20,53
52	21,17	21,17
53	21,87	21,87
54	22,64	22,64
55	23,47	23,47
56	24,38	24,38
57	25,40	25,40
58	26,52	26,52
59	27,78	27,78
60	29,21	29,21
61	30,84	30,84
62	32,72	32,72
63	34,92	34,92
64	37,54	37,54
65	40,73	40,73
66	44,72	44,72
67	49,87	49,87
68	56,86	56,86
69	67,04	67,04
70	83,73	83,73
71	118,30	118,30
72	430,85	430,85
73	560,78	560,78
74	153,97	153,97
75	108,98	108,98
76	87,26	87,26
77	74,00	74,00
78	64,90	64,90
79	58,20	58,20
80	53,02	53,02
81	48,87	48,87
82	45,45	45,45
83	42,59	42,59
84	40,14	40,14
85	38,02	38,02
86	36,16	36,16
87	34,52	34,52
88	33,05	33,05
89	31,74	31,74
90	30,55	30,55
91	29,46	29,46
92	28,47	28,47
93	27,56	27,56
94	26,72	26,72
95	25,94	25,94
96	25,22	25,22
97	24,54	24,54
98	23,91	23,91
99	23,32	23,32
100	22,77	22,77
101	22,24	22,24
102	21,75	21,75
103	21,29	21,29
104	20,84	20,84
105	20,42	20,42
106	20,03	20,03
107	19,65	19,65
108	19,29	19,29

109	18,94	18,94
110	18,61	18,61
111	18,29	18,29
112	17,99	17,99
113	17,70	17,70
114	17,42	17,42
115	17,16	17,16
116	16,90	16,90
117	16,65	16,65
118	16,41	16,41
119	16,18	16,18
120	15,96	15,96
121	15,74	15,74
122	15,54	15,54
123	15,34	15,34
124	15,14	15,14
125	14,95	14,95
126	14,77	14,77
127	14,60	14,60
128	14,42	14,42
129	14,26	14,26
130	14,10	14,10
131	13,94	13,94
132	13,79	13,79
133	13,64	13,64
134	13,49	13,49
135	13,35	13,35
136	13,21	13,21
137	13,08	13,08
138	12,95	12,95
139	12,82	12,82
140	12,70	12,70
141	12,58	12,58
142	12,46	12,46
143	12,35	12,35
144	12,23	12,23
145	12,12	12,12
146	12,02	12,02
147	11,91	11,91
148	11,81	11,81
149	11,71	11,71
150	11,61	11,61
151	11,51	11,51
152	11,42	11,42
153	11,33	11,33
154	11,24	11,24
155	11,15	11,15
156	11,06	11,06
157	10,97	10,97
158	10,89	10,89
159	10,81	10,81
160	10,73	10,73
161	10,65	10,65
162	10,57	10,57
163	10,50	10,50
164	10,42	10,42
165	10,35	10,35
166	10,28	10,28
167	10,21	10,21
168	10,14	10,14
169	10,07	10,07
170	10,00	10,00
171	9,93	9,93
172	9,87	9,87

173	9,81	9,81
174	9,74	9,74
175	9,68	9,68
176	9,62	9,62
177	9,56	9,56
178	9,50	9,50
179	9,44	9,44
180	9,39	9,39

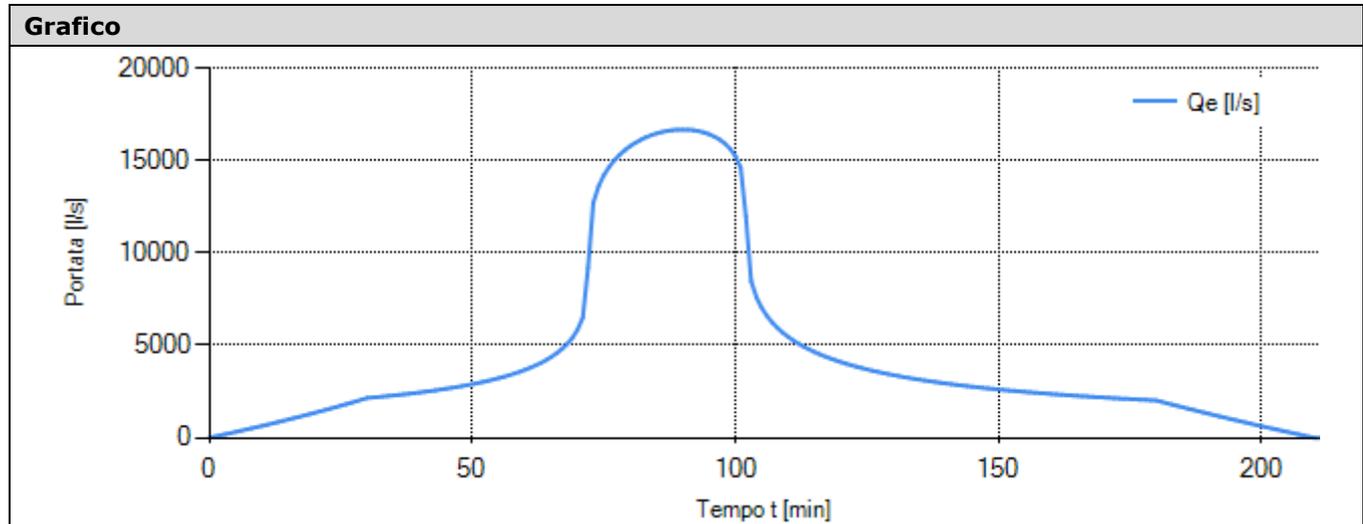
IDROGRAMMA DI PIENA

Area Area agricola residuale			
Tipo area		Area permeabile	
Superficie		1621942,0	m ²
Coefficiente di afflusso		ϕ 0,00	-
Tempo corrivazione		t_c 15	min



Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	43
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	124	125	126	127	128	129	130	131	132	135
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tempo [min]	190	195								
Portata Q_e [l/s]	0,00	0,00								

Area Area superficie pannelli			
Tipo area		Area impermeabile	
Superficie		700144,0	m ²
Coefficiente di afflusso		ϕ 1,00	-
Tempo corrivazione		t_c 30	min



Risultati tabellari										
Tempo [min]	0	5	10	13	14	15	16	17	18	19
Portata Q_e [l/s]	0,00	310,71	636,80	840,78	910,27	980,53	1051,58	1123,46	1196,19	1269,83
Tempo [min]	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Portata Q_e [l/s]	1344,38	1419,83	1496,26	1573,73	1652,23	1731,78	1812,42	1894,24	1977,22	2061,43
Tempo [min]	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Portata Q_e [l/s]	2146,94	2172,83	2199,50	2227,07	2255,55	2285,01	2315,50	2347,10	2379,80	2413,80
Tempo [min]	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Portata Q_e [l/s]	2449,03	2485,62	2523,70	2563,41	2604,80	2648,01	2693,23	2740,53	2790,16	2842,20
Tempo [min]	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Portata Q_e [l/s]	2896,96	2954,70	3015,62	3080,05	3148,43	3221,16	3298,69	3381,68	3470,76	3566,78
Tempo [min]	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Portata Q_e [l/s]	3670,78	3784,00	3908,05	4044,94	4197,28	4368,76	4564,50	4791,91	5062,91	5398,02
Tempo [min]	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Portata Q_e [l/s]	5839,46	6503,12	9192,39	12722,3 2	13610,4 0	14203,9 9	14653,8 6	15014,7 9	15313,5 0	15565,4 3
Tempo [min]	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Portata Q_e [l/s]	15780,1 2	15963,9 9	16121,5 1	16255,9 5	16369,4 9	16463,8 9	16540,3 2	16599,4 9	16641,8 5	16667,5 4
Tempo [min]	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Portata Q_e [l/s]	16676,2 4	16667,2 9	16639,7 1	16591,9 6	16521,7 6	16425,8 0	16299,2 9	16134,9 4	15921,1 7	15637,5 1
Tempo [min]	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Portata Q_e [l/s]	15242,0 0	14618,7 6	11964,5 2	8464,31	7600,56	7025,99	6589,80	6237,17	5941,26	5686,54
Tempo [min]	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Portata Q_e [l/s]	5463,29	5264,88	5086,72	4925,24	4777,83	4642,49	4517,53	4401,59	4293,63	4192,68
Tempo [min]	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Portata Q_e [l/s]	4098,02	4009,00	3925,11	3845,83	3770,70	3699,39	3631,59	3567,10	3505,53	3446,75

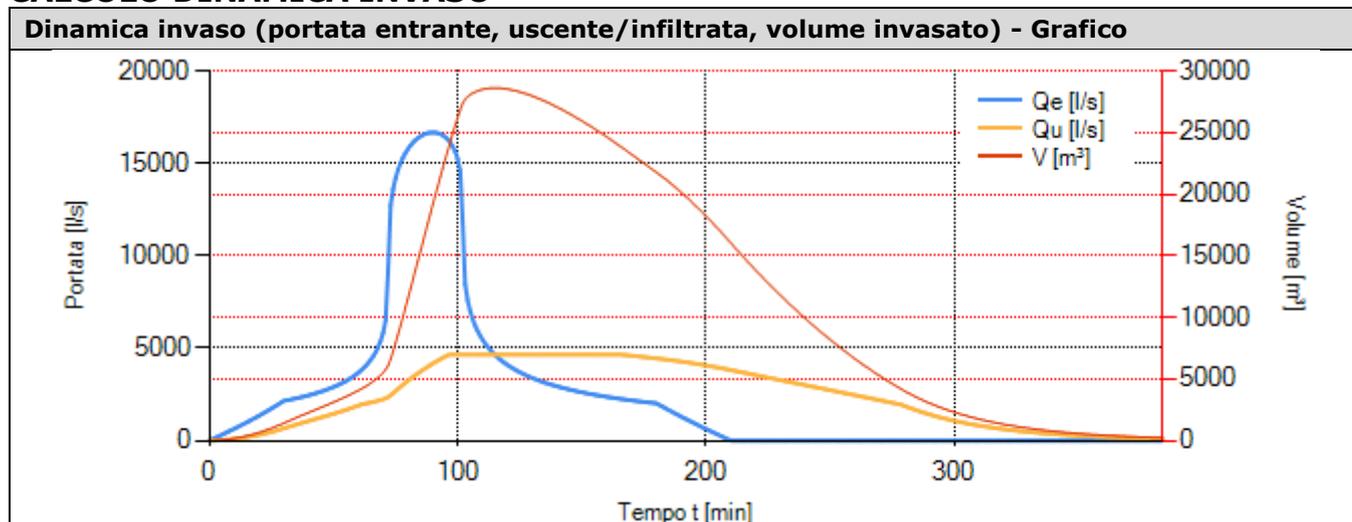
Tempo [min]	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
Portata Q _e [l/s]	3390,50	3336,65	3285,00	3235,37	3187,68	3141,81	3097,57	3054,94	3013,81	2974,10
Tempo [min]	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149
Portata Q _e [l/s]	2935,76	2898,71	2862,83	2828,12	2794,45	2761,75	2730,09	2699,33	2669,49	2640,49
Tempo [min]	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
Portata Q _e [l/s]	2612,26	2584,82	2558,09	2532,07	2506,77	2482,11	2458,04	2434,49	2411,59	2389,21
Tempo [min]	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
Portata Q _e [l/s]	2367,34	2346,00	2325,10	2304,73	2284,81	2265,35	2246,34	2227,72	2209,49	2191,65
Tempo [min]	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179
Portata Q _e [l/s]	2174,13	2156,94	2140,13	2123,65	2107,50	2091,67	2076,10	2060,85	2045,86	2031,13
Tempo [min]	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
Portata Q _e [l/s]	2016,73	1942,05	1867,96	1794,45	1721,53	1649,18	1577,43	1506,25	1435,60	1365,46
Tempo [min]	190	191	192	195	200	205	210			
Portata Q _e [l/s]	1295,85	1226,75	1158,17	955,29	626,35	308,24	0,00			

DIMENSIONAMENTO SISTEMA D'INVARIANZA

Metodo delle sole piogge			
Durata critica	D_w	1,00	ore
Volume invaso minimo	W_0	21509,46	m^3
$D_w = \left(\frac{1000 \cdot Q_{umax}}{2,78 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot n \cdot A} \right)^{\frac{1}{n-1}}$ $W_0 = 10 \cdot \varphi_m \cdot a \cdot D_w^n \cdot A - 3,6 \cdot Q_{umax} \cdot D_w$			

Metodo analitico di dettaglio			
Durata critica	D_w	3,00	ore
Battente idrico massimo	H_{max}	3,82	m
Volume invaso minimo	W	28617,29	m^3
Metodologia: Modello cinematico, mediante integrale di convoluzione, con curva area tempi lineare e ietogramma tipo Chicago.			

CALCOLO DINAMICA INVASO



Risultati tabellari				
Tempo [min]	Portata entrante Q_e [l/s]	Portata scaricata/infiltrata Q_u [l/s]	Vol. utile invasato W [m^3]	Battente idrico H [m]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	310,71	20,54	44,15	0,01
10	636,80	79,89	171,70	0,02
15	980,53	175,15	376,43	0,05
20	1344,38	304,08	653,55	0,09
25	1731,78	465,15	999,73	0,13
30	2146,94	657,51	1413,16	0,19
33	2227,07	780,39	1677,26	0,22
34	2255,55	820,61	1763,71	0,24
35	2285,01	860,52	1849,49	0,25
36	2315,50	900,16	1934,68	0,26
37	2347,10	939,57	2019,37	0,27
38	2379,80	978,77	2103,63	0,28
39	2413,80	1017,81	2187,54	0,29
40	2449,03	1056,73	2271,19	0,30
41	2485,62	1095,57	2354,66	0,31
42	2523,70	1134,36	2438,04	0,33

43	2563,41	1173,16	2521,43	0,34
44	2604,80	1212,01	2604,92	0,35
45	2648,01	1250,95	2688,61	0,36
46	2693,23	1290,04	2772,62	0,37
47	2740,53	1329,32	2857,05	0,38
48	2790,16	1368,86	2942,03	0,39
49	2842,20	1408,70	3027,67	0,40
50	2896,96	1448,93	3114,12	0,42
51	2954,70	1489,59	3201,51	0,43
52	3015,62	1530,77	3290,01	0,44
53	3080,05	1572,53	3379,78	0,45
54	3148,43	1614,98	3471,01	0,46
55	3221,16	1658,20	3563,90	0,48
56	3298,69	1702,30	3658,69	0,49
57	3381,68	1747,39	3755,61	0,50
58	3470,76	1793,62	3854,95	0,51
59	3566,78	1841,11	3957,03	0,53
60	3670,78	1890,06	4062,22	0,54
61	3784,00	1940,64	4170,95	0,56
62	3908,05	1971,92	4284,33	0,57
63	4044,94	1999,23	4403,79	0,59
64	4197,28	2027,73	4530,24	0,60
65	4368,76	2057,59	4664,67	0,62
66	4564,50	2089,02	4808,26	0,64
67	4791,91	2122,29	4962,62	0,66
68	5062,91	2157,75	5129,86	0,68
69	5398,02	2195,95	5313,08	0,71
70	5839,46	2237,73	5517,19	0,74
71	6503,12	2284,81	5751,79	0,77
72	9192,39	2349,79	6083,62	0,81
73	12722,32	2446,96	6597,16	0,88
74	13610,40	2562,85	7236,85	0,96
75	14203,99	2680,07	7913,99	1,06
76	14653,86	2796,32	8615,43	1,15
77	15014,79	2910,65	9334,28	1,24
78	15313,50	3022,60	10066,14	1,34
79	15565,43	3131,98	10807,87	1,44
80	15780,12	3238,72	11557,11	1,54
81	15963,99	3342,82	12311,99	1,64
82	16121,51	3444,31	13070,94	1,74
83	16255,95	3543,25	13832,64	1,84
84	16369,49	3639,69	14595,91	1,95
85	16463,89	3733,71	15359,71	2,05
86	16540,32	3825,36	16123,06	2,15
87	16599,49	3914,72	16885,06	2,25
88	16641,85	4001,82	17644,80	2,35
89	16667,54	4086,72	18401,43	2,45
90	16676,24	4169,45	19154,05	2,55
91	16667,29	4250,06	19901,77	2,65
92	16639,71	4328,54	20643,63	2,75
93	16591,96	4404,92	21378,57	2,85
94	16521,76	4479,18	22105,46	2,95
95	16425,80	4551,30	22822,97	3,04
96	16299,29	4621,21	23529,55	3,14
97	16134,94	4644,00	24224,62	3,23
98	15921,17	4644,00	24907,67	3,32
99	15637,51	4644,00	25575,79	3,41
100	15242,00	4644,00	26223,53	3,50
101	14618,76	4644,00	26840,71	3,58
102	11964,52	4644,00	27359,57	3,65
103	8464,31	4644,00	27693,80	3,69
104	7600,56	4644,00	27897,10	3,72
105	7025,99	4644,00	28057,26	3,74
106	6589,80	4644,00	28187,09	3,76

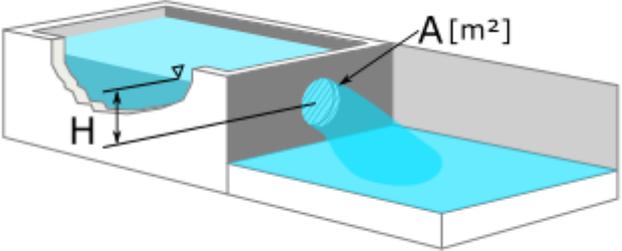
107	6237,17	4644,00	28293,26	3,77
108	5941,26	4644,00	28379,98	3,78
109	5686,54	4644,00	28450,17	3,79
110	5463,29	4644,00	28506,02	3,80
111	5264,88	4644,00	28549,23	3,81
112	5086,72	4644,00	28581,14	3,81
113	4925,24	4644,00	28602,86	3,81
114	4777,83	4644,00	28615,31	3,82
115	4642,49	4644,00	28617,29	3,82
116	4517,53	4644,00	28615,44	3,82
117	4401,59	4644,00	28604,37	3,81
118	4293,63	4644,00	28586,59	3,81
119	4192,68	4644,00	28562,54	3,81
120	4098,02	4644,00	28532,62	3,80
121	4009,00	4644,00	28497,19	3,80
122	3925,11	4644,00	28456,57	3,79
123	3845,83	4644,00	28411,06	3,79
124	3770,70	4644,00	28360,91	3,78
125	3699,39	4644,00	28306,38	3,77
126	3631,59	4644,00	28247,67	3,77
127	3567,10	4644,00	28184,99	3,76
128	3505,53	4644,00	28118,53	3,75
129	3446,75	4644,00	28048,45	3,74
130	3390,50	4644,00	27974,93	3,73
131	3336,65	4644,00	27898,11	3,72
132	3285,00	4644,00	27818,12	3,71
133	3235,37	4644,00	27735,09	3,70
134	3187,68	4644,00	27649,14	3,69
135	3141,81	4644,00	27560,38	3,67
136	3097,57	4644,00	27468,93	3,66
137	3054,94	4644,00	27374,86	3,65
138	3013,81	4644,00	27278,28	3,64
139	2974,10	4644,00	27179,28	3,62
140	2935,76	4644,00	27077,94	3,61
141	2898,71	4644,00	26974,33	3,60
142	2862,83	4644,00	26868,54	3,58
143	2828,12	4644,00	26760,62	3,57
144	2794,45	4644,00	26650,66	3,55
145	2761,75	4644,00	26538,71	3,54
146	2730,09	4644,00	26424,82	3,52
147	2699,33	4644,00	26309,07	3,51
148	2669,49	4644,00	26191,49	3,49
149	2640,49	4644,00	26072,15	3,48
150	2612,26	4644,00	25951,09	3,46
155	2482,11	4644,00	25321,63	3,38
160	2367,34	4644,00	24655,51	3,29
165	2265,35	4644,00	23956,93	3,19
170	2174,13	4592,21	23235,17	3,10
175	2091,67	4519,78	22508,00	3,00
180	2016,73	4446,00	21779,19	2,90
185	1649,18	4366,43	21006,62	2,80
190	1295,85	4276,62	20151,35	2,69
195	955,29	4176,68	19220,49	2,56
200	626,35	4066,60	18220,73	2,43
205	308,24	3946,29	17158,49	2,29
210	0,00	3815,49	16039,98	2,14
215	0,00	3679,35	14915,75	1,99
220	0,00	3543,21	13832,37	1,84
225	0,00	3407,07	12789,82	1,71
230	0,00	3270,93	11788,12	1,57
235	0,00	3134,79	10827,27	1,44
240	0,00	2998,65	9907,25	1,32
245	0,00	2862,51	9028,08	1,20
250	0,00	2726,37	8189,75	1,09

255	0,00	2590,23	7392,26	0,99
260	0,00	2454,08	6635,61	0,88
265	0,00	2317,94	5919,81	0,79
270	0,00	2181,80	5244,85	0,70
275	0,00	2045,66	4610,73	0,61
280	0,00	1870,16	4019,45	0,54
285	0,00	1626,50	3495,77	0,47
290	0,00	1414,59	3040,31	0,41
295	0,00	1230,28	2644,20	0,35
300	0,00	1069,99	2299,70	0,31
305	0,00	930,59	2000,08	0,27
310	0,00	809,34	1739,49	0,23
315	0,00	703,90	1512,86	0,20
320	0,00	612,19	1315,75	0,18
325	0,00	532,43	1144,33	0,15
330	0,00	463,06	995,24	0,13
335	0,00	402,73	865,57	0,12
340	0,00	350,26	752,80	0,10
345	0,00	304,62	654,72	0,09
350	0,00	264,94	569,42	0,08
355	0,00	230,42	495,23	0,07
360	0,00	200,40	430,71	0,06
384	0,00	102,54	220,39	0,03

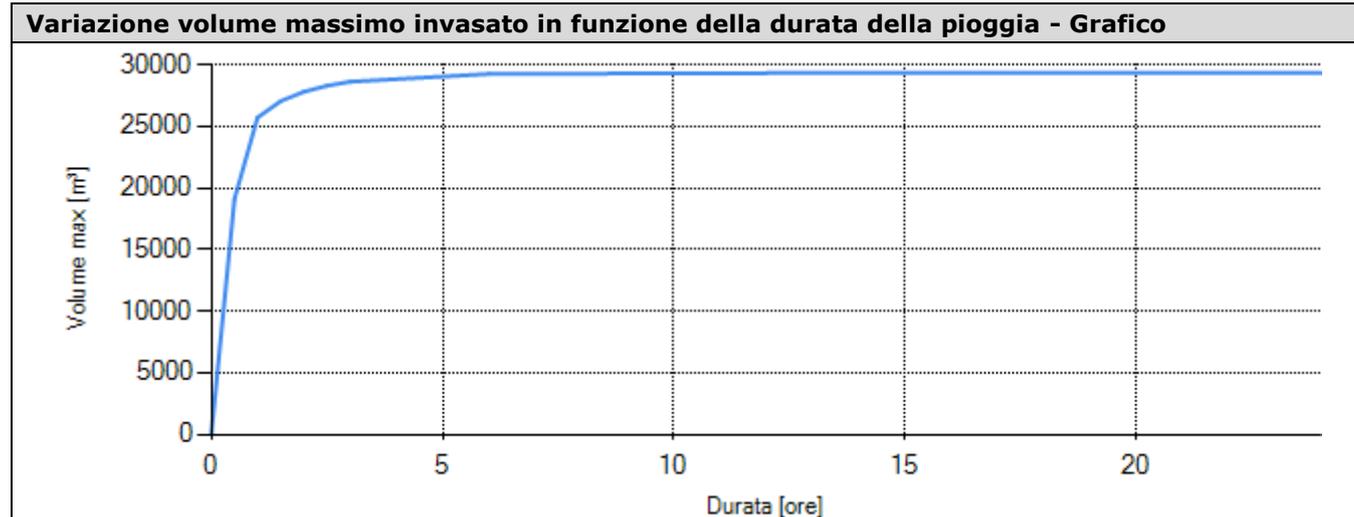
VERIFICA SISTEMA D'INVARIANZA

Dimensioni invaso			
Superficie pianta invaso	A_{inv}	7500,00	m ²

Verifiche invaso						
		Valore Progetto		Valore Ammissibile		VERIFICA
Altezza utile invaso	H	4,00	≥	3,82	m	Positiva
Volume utile invaso	W	30000,00	≥	28617,29	m ³	Positiva
Tempo di svuotamento	T_{sv}	1,7	≤	2,0	ore	Positiva
Portata massima scaricata	Q	4644,00	≤	4644,00	l/s	Positiva

Sistema di scarico			
Tipologia di svuotamento	Luce a battente circolare tarata		
			
Battente idrico utile massimo	H	4,00	m
Portata massima scaricabile	$Q_{u,max}$	4644,00	l/s
Area della bocca d'uscita	A	0,9817	m ² (Diametro nominale Tubi DN=500)

VARIAZIONE VOLUME MASSIMO INVASATO



Risultati tabellari	
Durata pioggia [ore]	Volume [m³]
0,0	0,00
0,5	19102,03
1,0	25712,63
1,5	27048,36
2,0	27801,72
2,5	28290,29
3,0	28617,29
6,0	29248,01
12,0	29320,88
24,0	29321,78

10. MISURE COMPENSATIVE E/O DI MITIGAZIONE PROPOSTE

DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE PREVISTA

La soluzione progettuale di previsione prevede la realizzazione di n.04 vasche di laminazione con fondo permeabile e sponde in terra, opportunamente sagomata.

Le acque meteoriche saranno raccolte, in una rete interna la quale le scaricherà nelle vasche di laminazione.

Il dimensionamento della rete interna sarà eseguito nella eventuale fase esecutiva.

Gli invasi complessivamente dovranno avere capacità minima di **28617,29** m³.

Considerando la conformazione plani-altimetrica dell'area, si ritiene che l'altezza utile di ciascuna vasca non possa essere superiore a 4,00 m, per tener conto delle quota di sbocco, nella vasca, della rete di raccolta interna e della quota di uscita della tubazione di scarico.

Il manufatto di scarico di ciascuna vasca di laminazione sarà costituito da un pozzetto prefabbricato in cui è alloggiato il dispositivo di regolazione dello scarico costituito da uno stramazzo dotato sul fondo da una bocca di taratura opportunamente dimensionata per permettere la portata prevista nei calcoli idraulici.

Lo scarico avverrà, tramite un collettore e l'opera di scarico dovrà prevedere la realizzazione di dispositivi di protezione per evitare l'erosione spondale.

L'organo di controllo del flusso sarà costituito da una tubazione avente diametro così determinato:

$$A = Q_{i \max} / (\mu \sqrt{2gh}) \text{dove:}$$

A = area sezione tubo [m²]

$$Q_{i \max} = Q_{u, \max} / 5 = 4644 \text{ l/s} / 5 = 928,80 \text{ l/s} = 0,9288 \text{ m}^3/\text{s}$$

$\mu = 0,60$ coefficiente sperimentale di efflusso

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ accelerazione di gravità

$h = 4,00 \text{ m}$ tirante utile

Si ricava:

$$A = 0,9288 / (0,60(\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,00})) = 0,2184 \text{ m}^2$$

A tale vale dell'area corrisponde un diametro pari a: $\phi = \sqrt{(4A/\pi)} = \sqrt{(4 \cdot 0,2184 / 3,14)} \times 100 = 50 \text{ cm}$

Si prevede quindi per ogni invaso la posa di un tubo DN500.

Ciò determinerà un tempo di svuotamento di ciascun invaso, come da tabella, pari a circa 1,7 ore \leq 2 ore.

Al fine di mantenere nel tempo l'efficacia del sistema sarà necessario svolgere le seguenti operazioni di manutenzione:

- controllo del funzionamento del sistema di scarico nei corpi recettori almeno 2 volte l'anno;
- verifica periodica, almeno 2 volte l'anno e comunque dopo eventi che hanno provocato l'invaso dei sistemi di raccolta, del funzionamento dei sistemi prima dello scarico nei corpi recettori;
- pulizia semestrale dei canali di scolo e dell'eventuale canaletta di scolo sul fondo della vasca;
- controllo, dopo ogni evento, dello stato del pozzetto in cui è posizionato il manufatto regolatore di scarico e rimozione, quando necessario, del materiale depositato in esso (pulizia della griglia, del fondo pozzetto e della bocca di taratura).

11. CONCLUSIONI DELLO STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA

In riferimento al progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico integrato ecocompatibile denominato "Bordonaro" da realizzarsi in località Gangi (PA), dallo studio effettuato sull'invarianza idraulica ed idrologica, si può affermare che l'adozione del dimensionamento proposto dei cinque volumi d'invaso in bacino di detenzione e organo di regolazione della portata in uscita, consente di non sovraccaricare il sistema di recapito esistente e modificare l'attuale assetto idraulico in condizioni di deflusso di piena.

Caltanissetta, 27/10/2022

Il Progettista
Ing. Michele Speciale

