



Regione Sicilia
Libero consorzio comunale di Trapani
Comune di Erice

**Impianto agrivoltaico
"ERICE"**
**di potenza installata pari a 940 kWp da
realizzarsi nel
Comune di Erice**

PROGETTO DEFINITIVO

00	23/06/2026	Prima Stesura	Dott. Geol. G. Abbate	Dott. G. Filiberto	
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

PROGETTISTA:

GREEN FUTURE Srl

Sede Legale: Via U. Maddalena, 92

Sede operativa: Corso Calatafimi, 421

90100 - Palermo, Italia

info@greenfuture.it



Green Future s.r.l. Unipersonale
L'Amministratore
Giuseppe Filiberto

CONSULENZA SPECIALISTICA:

GEOLOGO INCARICATO

Dott. Abbate Giuseppe

Via Bivona, 2 - Blufi (PA)



CLIENTE:

ERICE S.R.L.

Sede legale Milano (MI) Largo Card. I.

Schuster, 1 - CAP 20122

P.IVA 14408150960

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE CONCLUSIVA SULLE VERIFICHE

CODICE ELABORATO:

ERICE_EL54_REV00

SCALA:

DATA:

Giugno 2026

TIPOLOGIA/ANNO

AGV 26

COD. PROGETTO

ERICE

N.º ELABORATO

EL54

REVISIONE

00

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

RELAZIONE CONCLUSIVA

La presente relazione espone i risultati delle verifiche eseguite con varie metodologie:

Per la valutazione del coefficiente di deflusso (Cdf): la metodologia usata è quella basata sul metodo Kennessey, utilizzando i parametri ricavati da una nuova metodologia (G. Maniàci 2018) già pubblicata nel sito dell'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia e pubblicata nella rivista dell'Ordine nazionale G&A. Con la metodologia Maniàci 2018 i coefficienti fisiografici di Kennessey vengono adattati all'ambiente siciliano partendo dall'indice di aridità locale relativo alle stazioni di influenza del sito di progetto.

Per la valutazione dell'onda di massima piena: la metodologia S.I.I. e quella del Gumbel, in cui si utilizzano le precipitazioni massime con $T = 30$ anni e le formule del Giandotti e Viparelli. In ogni caso, essendo tutti metodi sperimentali volta per volta adattati a vari bacini, abbiamo voluto verificare gli ordini di grandezza dell'onda di massima piena e, in favore della sicurezza, utilizzare i valori più sfavorevoli.

Nei paragrafi seguenti esporremo i vari passaggi che ci hanno permesso di arrivare alle verifiche finali tentando, in favore della sicurezza, una unificazione delle varie metodologie usate.

I risultati dell'insieme dell'analisi geomorfica sono evidenziati negli allegati 2 e 3.

3. VALUTAZIONE DEL (Cdf) – METODO KENNESSEY ADATTATO ALLA SICILIA DAL Dr. G. MANIÀCI (2018)

Questo metodo consente di calcolare il coefficiente di deflusso medio annuo (Cdf) di un bacino o porzioni di esso partendo dalle tre grandezze fisiografiche essenziali di un bacino (permeabilità, acclività e copertura vegetale) relazionate con un quarto parametro (indice di aridità) che esprime le condizioni climatiche del bacino.

Per stabilire quali stazioni metereologiche influenzano il bacino in studio sono stati costruiti i topoi termometri e pluviometrici. I due sottobacini ricadono nell'area di influenza delle stazioni termometriche Trapani-Erice e della stazione pluviometrica Specchia C.C. Sono state costruite le carte tematiche della permeabilità, dell'acclività e della copertura vegetale dalle quali abbiamo ricavato le superfici relative alle varie classi di appartenenza.

Per ogni componente fisiografica vengono indicate quattro classi e, per ciascuna, i coefficienti legati al valore dell'indice di aridità (v. All. 3)

L'indice di aridità (I_a) calcolato con la formula di De Martonne ha dato:

$$I_a = \left\{ \left[\frac{P}{(T + 10)} \right] + 12 \frac{p}{t} \right\} / 29,40 \text{ (per il trentennio 1985-2014)}$$

Visto che l'indice di aridità è $I_a < 25$ sono stati scelti i relativi coefficienti delle componenti fisiografiche i cui valori (C_a , C_p , C_v) si ottengono come medie ponderate dei coefficienti scelti rispetto all'area occupata dalle classi a cui si riferiscono.

Il coefficiente di deflusso (C_{df}) si ricava dalla sommatoria delle tre componenti [acclività (C_a), permeabilità (C_p) e vegetazione (C_v)], si è ottenuto:

per il trentennio 1985-2014 ante operam

$$C_{df} = C_a + C_p + C_v = 0,1385$$

per il trentennio 1985-2014 post operam

$$C_{df} = C_a + C_p + C_v = 0,2237.$$

4. VALUTAZIONE DELL'ONDA DI MASSIMA PIENA

Conosciute le superfici relative alle varie componenti fisiografiche e le classi relative alle varie tipologie si è valutato il fattore geologico sugli elementi reali del bacino che importante ai fini del calcolo del tempo di corrivazione con l'impiego della formula del GIANDOTTI applicabile ai piccoli bacini del tipo di quello oggetto della presente:

$$T_c = \left[\left(4 \cdot \left(\frac{RADQ}{S} \right) + 1,5 \cdot L \right) / 0,7 \cdot \left(\frac{RADQ}{h} \right) \right] / 1000$$

in cui (S) è la superficie del bacino, (L) la lunghezza dell'asta principale e (h) l'altezza media. Il tempo di corrivazione è risultato

$$T_c = 2,10 \text{ di ora (Gumbel-Giandotti),}$$

$T_c = 1,25$ di ora (Gumbel-Viparelli)

Si è pertanto pervenuti al calcolo della precipitazione massima con varie formule: (Gumbel, Giandotti, Viparelli, Frevert, Fornari e Bell), adattate volta per volta all'ambiente siciliano in base alle condizioni climatiche ma, in particolare, in base al valore dell'indice di aridità locale (Maniaci 1918).

CONCLUSIONI

Le verifiche eseguite alla sezione di chiusura del bacino hanno evidenziato un'altezza idrica, della corrente di piena con $T = 200$ anni, di 1,30 m e un franco disponibile di 1,70 m al colmo delle sponde per un range di portate 17,5 - 20,5 mc/sec e una superficie alla sezione di chiusura di 3,30 m² mentre in realtà la superficie è di m² 10. Alla sezione del naturale dell'alveo, quindi, possono comodamente passare i volumi idrici risultanti dal calcolo.

Con una altezza idrica di circa 1,30 m prevista dal calcolo, bisogna tenerne conto nella progettazione della posizione dei pannelli e dei sistemi di trasporto dell'energia prodotta, (cfr. Allegato: Massima piena e verifiche)

INVARIANZA IDRAULICA

1.0. INTRODUZIONE E RIFERIMENTI NORMATIVI

Per il progetto - Impianto agrivoltaico “ERICE” di potenza installata pari a 940 kWp da realizzarsi nel Comune di Erice (TP) -, la Green Future s.r.l. Unipersonale ha incaricato il sottoscritto di redigere la presente al fine di definirne la compatibilità idraulica del sito d'impianto.

Per conservare l'equilibrio e l'assetto naturale del sistema idraulico e idrogeologico del contesto di riferimento e di impatto dell'intervento, si sono condotte le opportune verifiche e si sono prospettate azioni e interventi compatibili e sostenibili, improntate al principio dell'invarianza idraulica e idrogeologica dell'area dei siti.

L'approccio alla gestione dei deflussi meteorici sta incontrando una rapida evoluzione, con l'emanazione di Direttive e Norme che impongono una maggiore attenzione per la difesa del suolo.

Infatti, per frenare questa tendenza, il legislatore ha emanato una serie di norme i cui obiettivi sottesi sono:

- smaltire le acque delle zone edificate in modo più prossimo possibile allo stato naturale;
- limitare l'impermeabilizzazione del suolo;
- non canalizzare acque non inquinate;
- attuare la ritenzione per limitare le punte di deflusso.

Il contenuto del presente studio riguarda la progettazione degli impianti di infiltrazione e ritenzione per lo smaltimento delle acque meteoriche dei fondi, e si basa sui riferimenti normativi vigenti tra i quali, in particolare, il D.D.G. n. 102/2021 DRU/AdB Sicilia “*PRINCIPIO DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA*” emanato dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente della Regione Siciliana.

Tenendo presente che le nuove destinazioni e le trasformazioni di uso del suolo, non devono provocare incrementi del grado di riempimento dei sistemi di drenaggio naturale e/o artificiale di valle.

Il dimensionamento dei sistemi di laminazione atti a contenere l'entità delle acque meteoriche scaricate nei corpi idrici superficiali deve essere effettuato con riferimento ad eventi meteorici aventi tempo di ritorno non inferiore a 30 anni.

Al fine di garantire la ricarica della falda, le acque meteoriche provenienti dalle coperture di interventi antropici, dovranno preferibilmente essere smaltite negli strati superficiali del suolo. Le stesse acque o parte di esse potranno essere destinate al riuso.

Acque meteoriche (piovane):

Sono le acque di scarico provenienti dalle superfici impermeabilizzate (tetti, strade, impianti tecnologici, ecc.) a seguito delle precipitazioni atmosferiche. Il grado d'insudiciamento delle acque meteoriche dipende essenzialmente dal tipo e dall'ubicazione della superficie da smaltire: le acque meteoriche provenienti dai tetti o da vie di comunicazione poco trafficate sono di regola considerate non inquinate;

Acque di infiltrazione:

L'infiltrazione è il fenomeno fisico per il quale l'acqua presente sulla superficie del terreno penetra al suo interno. Questo movimento avviene sotto l'impulso sia della forza gravitazionale che per capillarità. Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque, l'infiltrazione consiste nel lasciar defluire acque di scarico attraverso il suolo (infiltrazione superficiale o dispersione) o nella loro immissione direttamente nel sottosuolo (infiltrazione profonda).

Acque di ritenzione:

La ritenzione consiste nel creare un volume di accumulo per le acque di scarico meteoriche, con lo scopo di regolarizzare i quantitativi smaltiti, riducendo i picchi di deflusso. La ritenzione non influisce sulle modalità di smaltimento delle acque (infiltrazione, scarico in ricettore o in canalizzazione), ma permette un'evacuazione controllata delle acque contribuendo così a evitare di sovraccaricare gli impianti di infiltrazione, i collettori o i ricettori.

2.0. IL CONCETTO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Un bacino naturale presenta la caratteristica di lasciare infiltrare una certa quantità d'acqua durante gli eventi di piena e di restituire i volumi che non si infiltrano in modo graduale. L'acqua ristagna nelle depressioni superficiali, segue percorsi articolati, si spande in aree normalmente non interessate dal deflusso ed in questo modo le piene hanno un colmo di portata relativamente modesto ed una durata delle portate più lunga. Quando un bacino subisce un intervento antropico (artificializzazione) i deflussi vengono canalizzati e le superfici regolarizzate. Si ha quindi una accelerazione del deflusso stesso con conseguente aumento dei picchi di piena e delle condizioni di rischio idraulico. L'impermeabilizzazione dei suoli determina un aumento dei volumi che scorrono in superficie, aggravando ulteriormente le possibili criticità.

Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento della velocità di corrivazione deve essere associato ad azioni correttive volte a mitigarne gli effetti; tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione; se quest'ultima è attuata in modo da mantenere inalterati i colmi di piena prima e dopo la trasformazione, si parla di invarianza idraulica delle trasformazioni di uso del suolo (*Pistocchi, 2001*).

La Legge nel 2001 ha introdotto il principio di invarianza idraulica delle trasformazioni del territorio:

“Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa”.

È importante sottolineare che la predisposizione dei volumi di invaso di laminazione, raccolta a compensazione delle impermeabilizzazioni, non è finalizzata a trattenere le acque di piena nel lotto, ma a mantenere inalterate le prestazioni complessive del bacino.

Il concetto di invarianza idraulica in definitiva presuppone la realizzazione, nelle aree che subiranno una perdita di permeabilità in seguito a trasformazioni d'uso del suolo, di interventi il cui scopo è quello di mantenere invariata la portata superficiale defluente verso l'esterno.

Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi idrici in eccesso rispetto alle condizioni ante-trasformazione, oppure laminando le portate.

In quest'ultimo caso si opera praticamente realizzando vasche di accumulo temporaneo, la cui funzione è quella di trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici per rilasciarla quindi gradualmente con una portata prestabilita, non superiore a quella caratteristica dell'area ante-trasformazione.

Le tipologie di intervento per ottenere l'invarianza idraulica sono principalmente sei:

- vasche di laminazione permeabili;
- vasche di laminazione impermeabili con scarico tarato;
- aree verdi ribassate;
- trincee di infiltrazione;
- pozzi disperdenti;
- inerbimento dell'area d'impianto, con piante e erbe a forte capacità traspirativa, e irrigazione dello stesso con le acque invasate nei periodi di secca.

Per tale motivo le strutture impermeabili di accumulo non sono considerate dispositivi atti a garantire l'invarianza idraulica, a meno che le stesse non siano dotate di un dispositivo per limitare la portata di scarico al valore ex-ante.

In sintesi obiettivo dell'invarianza idraulica è richiedere, a chi propone una trasformazione di uso del suolo, di accollarsi, attraverso opportune azioni compensative nei limiti di incertezza del modello adottato per i calcoli dei volumi, gli oneri del consumo della risorsa territoriale costituita dalla capacità di un bacino di regolare le piene e quindi di mantenere le condizioni di sicurezza territoriale nel tempo.

3.0. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA ATTO A GARANTIRE L'INVARIANZA IDRAULICA

Al fine di facilitare l'attuazione degli interventi compensativi atti a garantire l'invarianza idraulica, è stata formulata una procedura di calcolo per il corretto dimensionamento sulla base del modello idrologico che prevede l'uso del metodo delle sole piogge per la determinazione del volume critico di invaso.

La procedura sviluppata passo passo è così suddivisa.

3.1. Determinazione della Curva di Possibilità Pluviometrica

Considerata la modesta estensione dei bacini, si è preferito fare riferimento, per la determinazione delle portate influenti, agli scrosci ovvero alle piogge di durata inferiore all'ora.

La relazione che lega h con t è rappresentata in generale con un'espressione del tipo: $h = a \times t^n$ la quale costituisce la curva di possibilità pluviometrica per un determinato tempo di ritorno T ed i cui parametri $a > 0$ e $0 < n < 1$ dipendono dal tempo di ritorno T . Le curve di possibilità pluviometrica vengono ricavate elaborando con metodi statistici le serie storiche delle altezze di pioggia massime annuali per varie durate.

Dapprima si elaborano statisticamente i valori delle precipitazioni giornaliere ricavando, per il periodo di osservazione, i valori medi, minimi e massimi giornalieri, mensili e annuali nelle stazioni della rete. Successivamente si elaborano probabilisticamente i valori delle precipitazioni di notevole intensità ottenendo le relazioni che permettono di formulare previsioni sui valori particolarmente intensi, in funzione della durata dell'evento e per un prefissato tempo di ritorno. Diventa così possibile determinare il legame che intercorre tra l'altezza della precipitazione verificatasi in una data stazione pluviometrica, la sua durata e la frequenza probabile con cui tale altezza può verificarsi, ovvero la funzione che è chiamata curva di **possibilità pluviometrica**.

È stata effettuata una computazione in funzione della variabile regolarizzata di Gumbel per periodi di ritorno di $T = 30$ anni.

Note le serie storiche di pioggia si ricavano i parametri a ed n con il metodo dei minimi quadrati come dettagliatamente mostrato, (vedi allegati in calce).

La necessità di ricavare le **Curve di Possibilità Pluviometrica** è dettata anche dal fatto che, una volta calcolato il valore medio su base annuale della massima altezza di pioggia, la stima della valutazione dell'intensità di precipitazione deve essere considerata semplicemente un valore medio e caratteristico del sito, non adatto a descrivere e/o a prevedere eventi eccezionali per i quali invece è necessario l'individuazione della **C.P.P.**, con la scelta della pioggia di progetto ed andando a stabilire la durata della pioggia ed il tempo di ritorno, passando attraverso metodi statistici che assicurano l'utilizzo di un dato rappresentativo e significativo per il tempo di ritorno considerato.

La stessa funzione probabilistica serve anche per la valutazione del volume di invaso necessario per garantire l'invarianza idraulica unitamente alle caratteristiche di permeabilità della superficie drenante ed alla eventuale portata massima, supposta costante, imposta in uscita dal sistema, sulla base di quello che in letteratura è conosciuto con il nome di *"Metodo delle sole piogge"*.

3.2. Metodo delle sole piogge

Questo metodo, che generalmente fornisce una valutazione per eccesso, e quindi cautelativa, del volume di invaso, consiste nel confrontare le curve cumulate delle portate entranti ed uscenti dall'invaso ipotizzando che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante (effettivamente è quello che avviene nel caso di piccole superfici impermeabili, dove pioggia lorda e pioggia netta coincidono).

Si parte dal presupposto che contemporaneamente all'inizio dell'evento meteorico si abbia la massima portata di deflusso. Tale ipotesi semplicistica implica che le portate in ingresso al sistema di invaso siano sovrastimate, e di conseguenza, qualora si riesca a garantire la costanza della portata massima allo scarico, anche i volumi di laminazione risulteranno cautelativi.

Per la stima di questi ultimi, si effettua un confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti ipotizzando che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante.

Occorre pertanto valutare la pioggia di progetto, intendendo con ciò l'evento di pioggia massimo che il sistema deve sopportare, in corrispondenza del più gravoso eccesso d'acqua che il sistema stesso deve tenere sotto controllo (da qui il nome di Metodo Piogge).

In termini sintetici:

Valutazione invaso = funzione (curva di possibilità pluviometrica, coefficiente di deflusso, scarico imposto all'uscita)

A tale scopo è fondamentale la determinazione della precipitazione efficace ottenuta con il metodo del coefficiente di deflusso.

Posta quindi in uscita una portata costante Q_{out} identificata con la portata di infiltrazione nel suolo oppure con lo scarico udometrico in un recettore oppure con la risultante di entrambi data dalle seguenti formule:

$$Q_{infiltrazione} = K \times j \times S_{infiltrazione};$$

$$Q_{udometrico} = coeff_{udometrico} \times S;$$

per effetto di una pioggia di durata t si può scrivere:

$$V_{in} = S \times \varphi \times a \times t^n$$

$$V_{out} = Q_{out} \times t$$

in cui

φ = coefficiente di deflusso, pari a $\varphi = 0,15$ per i terreni agricoli, $\varphi = 0,6$ per le superfici semipermeabili e $\varphi = 1$ per le aree impermeabilizzate

S = area del bacino in m^2

$h(t)$ = altezza di pioggia, funzione della durata secondo le leggi di possibilità pluviometriche di parametri a ed n ; Q_{out} = portata in uscita supposta costante.

All'istante t , il volume accumulato, dato dalla differenza fra il volume idrico entrante e quello uscente, viene descritto dalla seguente relazione:

$$\Delta V = V_{in} - V_{out} = S \times \varphi \times a \times t^n - Q_{out} \times t$$

la quale deriva dall'equazione di continuità idraulica:

$$\Delta V(t) / \Delta t = P(t) - Q(t)$$

ove

- $P(t)$ = pioggia netta all'istante t
- $Q(t)$ = portata uscente, dipendente dal volume invasato $V(t)$

Per ogni durata di pioggia è possibile determinare per differenza fra le due funzioni quale sia il volume di esubero rispetto alla quantità scaricabile.

La differenza ΔV rappresenta il volume cercato per modulare gli effetti di una precipitazione di durata $t_{critico}$, ovvero il massimo volume di invaso per una certa durata. In genere il coefficiente di deflusso calcolato con il metodo del bilancio idrogeologico (Maniaci 2018), sopra riportato è prossimo o identico ai valori sopra mostrati.

4.0. TEMPO DI CORRIVAZIONE E TEMPO DI RITARDO

Per la definizione del coefficiente udometrico di un terreno agricolo in situazioni ante-operam e post-operam con assegnato tempo di ritorno, i testi classici di idrologia fanno riferimento, tra l'altro, al *“tempo di corrivazione”*, inteso come il tempo che impiega una goccia d'acqua a raggiungere la sezione di chiusura del bacino dal punto idraulicamente più lontano dello stesso, ed al *“coefficiente di deflusso”*, dato dal rapporto tra il volume (che coincide con la pioggia efficace) defluito dal bacino in un dato intervallo di tempo ed il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale (si veda paragrafo seguente).

Il tempo di corrivazione è però una grandezza caratterizzata da una significativa incertezza nella sua determinazione; infatti le molteplici procedure di stima e definizioni presenti in letteratura mostrano una eccessiva variabilità che ne può pregiudicare un adeguato utilizzo, fornendo *“valori che si differenziano anche del 600% a seconda della formula empirica utilizzata”*, tant'è che è consigliabile calcolarne la stima ricorrendo prevalentemente a formule adatte alle caratteristiche del territorio e mediando poi i risultati ottenuti, in modo da rendere minimi gli scarti tra i risultati delle diverse formule empiriche *“onde poter attenuare la variabilità della stima utilizzando le metodologie più comuni presenti in letteratura per l'elevata incertezza nella stima di tale parametro”*. Come esposto nel capitolo dell'Analisi Geomorfica tale parametro è stato calcolato con la formula del Giandotti:

$$T_c = ((4 * RDQ(S) + 1,5 * L) / 0,7 R_dq(h)) / 1000$$

in cui:

S = superficie del bacino in m^2 ;

L = lunghezza dell'asta espressa in m;

$0,7$ = *fattore geologico*, grandezza adimensionale, calcolato in base alle caratteristiche morfologiche del bacino e dalle caratteristiche tessiturali e di permeabilità dei litotipi presenti e all'uso del suolo.

Per tale motivo, come da indicazioni sulla base del Rapporto sviluppato nell'ambito della metodologia Va.Pi. Campania, viene utilizzato il tempo di ritardo, definito come l'intervallo temporale che separa il baricentro della distribuzione della pioggia di progetto dal baricentro dell'idrogramma del deflusso superficiale. In diverse applicazioni ingegneristiche, e in vari modelli di trasformazione afflussi – deflussi, si ritiene che esso sia un valore caratteristico del bacino che non dipende dal particolare evento, ragion per cui ben si presta ad essere associato a bacini di limitata estensione quali sono quelli di cui trattasi.

Dal momento che le condizioni di deflusso più critiche si verificano per piogge di durata pari al tempo di ritardo, per il calcolo di quest'ultima grandezza si è tenuto conto del valore di celerità dell'onda cinematica nel reticolo scolante di 0,23 m/s per il terreno permeabile e di 1,87 m/s per le aree impermeabilizzate.

È stato, quindi, calcolato il valore della portata uscente dal fondo in condizione ante-operam e post-operam, con il coefficiente di deflusso posto pari a 0,06 per il terreno permeabile in assenza di interventi antropici e pari ad 1 per le aree impermeabilizzate, come da letteratura consolidata.

Infatti, nel caso di bacini non antropizzati, solo una parte della precipitazione si trasforma in deflusso superficiale e finisce nella rete di drenaggio: questa parte viene chiamata precipitazione netta e lo ietogramma corrispondente ietogramma netto. La parte restante non produce deflusso a causa delle perdite idrologiche dovuti a fenomeni quali l'evaporazione, l'intercettazione vegetale, ma soprattutto per la formazione sulla superficie del bacino di un velo idrico e l'immagazzinamento in avvallamenti superficiali isolati che non producono deflusso successivamente. Ovviamente per superfici impermeabilizzate di minima estensione, come già ribadito, tali fenomeni risultano trascurabili, per cui si ritiene che tutta la pioggia influente si trasforma in deflusso ($\varphi = 1$).

5.0. COEFFICIENTE UDOMETRICO

Diventa così possibile calcolare il coefficiente udometrico, inteso come la portata massima che defluisce dall'unità di superficie di un comprensorio generalmente espressa in

$$\text{Litri} / (\text{secondo} * \text{ettaro})$$

Tale grandezza derivata è funzione del coefficiente di deflusso dell'area colante, per cui è possibile distinguere un coefficiente udometrico ante e post trasformazione d'uso del suolo.

In caso di variazione della destinazione d'uso del suolo, il concetto dell'invarianza idraulica prevede proprio il mantenimento del valore del coefficiente udometrico dell'area post operam allo stesso valore ex ante, ovvero in termini equivalenti l'invarianza della portata defluente ante trasformazione.

6.0. PROGRAMMA DI CALCOLO

Al fine di agevolare la procedura di calcolo per la richiesta di concessione di scarico in corpo idrico superficiale e/o di Autorizzazione Idraulica, con il quale è possibile dimensionare i dispositivi atti a garantire il mantenimento dell'invarianza idraulica (vasca di laminazione, trincea disperdente, pozzo perdente etc.), è stato utilizzato il software della Programgeo predisposto dal Dott. Di Bernardo Aldo ovvero, Invarianza idraulica.

Attraverso lo sviluppo del software sopra detto si eseguono:

- calcolo media dei massimi annuali dell'altezza di pioggia
- calcolo tempo di ritardo dell'area colante
- calcolo media del massimo annuale dell'intensità di pioggia areale di durata pari al tempo di ritardo
- determinazione massima portata scaricata dal fondo ante trasformazione con periodo di ritorno $T = 30$ anni
- calcolo massima portata scaricabile dal fondo in condizioni post operam (formula razionale) con periodo di ritorno $T = 30$ anni

- Individuazione della Curva di Possibilità Pluviometrica locale, con $T = 30$ anni e relativi parametri

$$h(t) = a \times t^n$$

- calcolo portata eccedente, data dalla differenza tra la portata post trasformazione e la portata udometrica ante trasformazione

$$\Delta Q_{max_post} - Q_{max_ante}$$

- siccome l'invarianza idraulica impone l'uso di opere di infiltrazione, occorre calcolare la portata di infiltrazione nel terreno, con l'applicazione della legge di Darcy:

$$Q_{infiltrazione} = k/2 * (j * A_{infiltrazione})$$

ove j è la cadenza piezometrica, mentre con k si indica il coefficiente di infiltrazione, posto uguale alla conduzione idraulica a saturazione e dimezzato in via cautelativa per tener conto della possibile insaturità degli strati superficiali del sottosuolo;

- in considerazione della natura litologica dello stesso, si adotta per il terreno sabbioso e ghiaioso un valore del coefficiente di conduzione pari a $K = 10^{-2}$ m/sec, per il terreno vegetale o agricolo (sabbioso-limoso) $k = 10^{-4}$ m/sec, e $k = 10^{-6}$ m/sec per i terreni limoso-argillosi;
- la cadente piezometrica j è posta pari a 1 m/m;
- applicazione del modello delle piogge che equipara il sistema di regimentazione pluviale ad un serbatoio, con una portata entrante, una portata uscente ed un volume di invaso, il tutto governato dalla equazione di continuità idraulica

$$\Delta V = V_{in} - V_{out} = S \times \varphi \times a \times t^n - Q_{out} \times t$$

- determinazione del volume critico di invaso dato dal valore della derivata prima della funzione di continuità rispetto al tempo

$$V_{critico} = S \times \varphi \times a \times (Q_{out} / S \times \varphi \times a \times n)^{(n/n-1)} - Q_{out} \times (Q_{out} / S \times \varphi \times a \times n)^{(n/n-1)}$$

- confronto con il volume disponibile di accumulo temporaneo: se il volume di accumulo temporaneo è non minore del massimo volume di invaso al tempo critico, allora il dimensionamento è verificato.

7.0. OPERE DI LAMINAZIONE

L'analisi sul rispetto del principio di massima invarianza idraulica ed idrologica è stata affrontata sia quantitativamente con l'ausilio dei calcoli inerenti il bilancio idrogeologico (vedi allegati), sia analiticamente con la determinazione dei volumi degli invasi di laminazione mediante il Metodo Semplificato delle Piogge, in ottemperanza alle linee guida di cui al D.D.G. n. 102/2021 DRU/AdB Sicilia, fornendo anche indicazioni sulle possibili tipologie di laminazione.

Dalle analisi idrologiche e idrogeologiche preliminarmente espletate per il comparto comprendente il sito di progetto, sono stati determinati i coefficienti di deflusso ante e post opera in ordine pari a 0,1385 e 0,2237 nonché la portata per l'area d'impianto pari a 9,52 m³/s (Giandotti) e 14,00 m³/s (Viparelli) in un tempo di ritorno di 30 anni.

Per la superficie di progetto pari a 23.900 m², in base ai dati suddetti ed ai calcoli ultimati si evince che il volume idrico in eccesso da smaltire, mediante trincee drenanti e infiltranti adeguatamente disposte planimetricamente, è $V_{tot} = 64,12 \text{ m}^3$ che si accumula in una durata di pioggia critica $t_r = 4.400,038$ secondi con coefficiente udometrico $u = 0,002 \text{ mc/ha*s}$.

Per poter smaltire i volumi idrici in eccesso calcolati per l'area di progetto, è necessario un tempo di svuotamento pari a 12.900 sec ovvero 3,6 ore.

Pertanto, per rispettare il principio dell'invarianza idraulica è necessario laminare l'eccedenza idrica suddetta calcolata.

Per garantire l'allontanamento dei volumi d'acqua di invaso in eccesso suddetti si è deciso di utilizzare una serie di trincee filtranti, ovvero degli scavi in terra trapezoidali riempiti con materiale drenante (ghiaia) realizzati con lo scopo di favorire l'infiltrazione per accumulo nel volume di trincea e la successiva dispersione dell'acqua meteorica nel sottosuolo (attraverso i lati e il fondo della trincea stessa).

Nel presente lavoro la sezione trapezia utilizzata ha le seguenti dimensioni:

DIMENSIONE TRINCEA FILTRANTE		
Base maggiore (B)	1,00	m
Base minore (b)	0,80	m
Altezza (h)	0,90	m
Lato (l)	0,90	m
Area (Atri)	0,81	m ²

Per il calcolo della portata d'acqua infiltrante nella trincea drenante, si applica la legge di Darcy:

$$Q_{inf} = K \cdot A_{inf} \cdot J$$

- Il coefficiente di permeabilità (K) considerato è $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. La scelta di questo valore medio si basa sulla constatazione (cfr. pagina 18 della relazione geologica allegata al progetto), che i terreni di sedime nei primi due metri di profondità sono costituiti da limi sabbiosi con scarsa frazione argillosa scagliettati inglobanti elementi litoidi quarzarenitici eterometrici;
- La superficie di infiltrazione (A_{inf}) è l'area del fondo e laterale della trincea. Si precisa che nei calcoli non si tiene conto dell'aliquota di acqua che s'infiltra nel fondo poiché, in via cautelativa, si ipotizza che nel tempo si possa intasare;
- La cadente piezometrica J è assunta pari ad 1 in quanto il tirante idrico è trascurabile, perché la falda, se presente, è a maggior profondità rispetto alla quota di imposta delle trincee.

Non considerando, quindi, il contributo all'infiltrazione del fondo, per ogni metro lineare di canale filtrante, si ha:

$$A_{inf} = l \cdot 2 \cdot 1 = 0,90 \text{ m} \cdot 2 \cdot 1 \text{ m} = 1,80 \text{ m}^2 \text{ di superficie drenante}$$

Portata che s'infiltra per ogni metro di trincea

$$Q_{inf} = 0,00001 \cdot 1,80 \cdot 1 = 0,000018 \text{ m}^3/\text{s}$$

$L_{\min}$ = Lunghezza minima della trincea necessaria a drenare un volume di 64,12 m^3

$$L_{\min} = V_{\text{tot}}/Q_{\text{inf}}/48 \text{ ore} = 64,12 \text{ m}^3$$

$$L_{\min} = 64,12/0,000018/172.800 = 20,61 \text{ m}$$

L_{tot} = lunghezza totale trincea filtrante

$$L_{\text{tot}} = V_{\text{tot}}/A_{\text{tri}}$$

$$L_{\text{tot}} = 64,12/0,81 = 79,16 \text{ m}$$

T_{sv} = Tempo di svuotamento

$$T_{\text{sv}} = V_{\text{tot}}/Q_{\text{inf}}/L_{\text{tot}} = 64,12/0,000018/79,16/3.600 = 12,5 \text{ ore}$$

$$T_{\text{sv}} < 48 \text{ ore}$$

8.0. CONCLUSIONI

Le verifiche eseguite hanno consentito di appurare che l'impianto non ricade all'interno di aree a vario grado di pericolosità e rischio idraulico.

L'analisi storica delle cartografie esistenti unitamente allo studio della morfologia dei luoghi ed alla posizione del sito rispetto alle aree circostanti non esclude potenziali alluvionamenti; a tal riguardo si ricordano gli eventi del Novembre 1976 e del Settembre 2022 1976, (cfr. Allegati fuori testo: Calcolo del Coefficiente di deflusso).

Si è posti nell'ipotesi che i pannelli aumentino i coefficienti di deflusso fino a creare degli aumenti di volumi idrici in uscita dall'impianto. Pertanto, sono stati eseguiti dei calcoli che hanno permesso di determinare il volume idrico in eccesso da laminare.

L'apporto idrico eccedente sarà convogliato in una serie di trincee filtranti adeguatamente dimensionate e commisurabili al volume da laminare; inoltre è stato calcolato che il tempo di svuotamento degli scavi suddetti, pari a 12,5 ore è inferiore alle 48 ore.

Inoltre, il dimensionamento delle suddette trincee permette di garantire un livello di sicurezza così elevato da eliminare il rischio di sversamento durante gli eventi critici di pioggia e, di conseguenza, i fenomeni di erosione localizzata in prossimità di strutture sensibili (recinzioni manufatti e viabilità).

Gli interventi mitigatori, descritti e calcolati prima, hanno consentito di rispettare il principio dell'invarianza idrologico-idraulica dei siti di progetto, così come stabilito dal D.D.G. n. 102/2022 della Regione Sicilia.

Blufi, lì 25/06/2026

Il Geologo



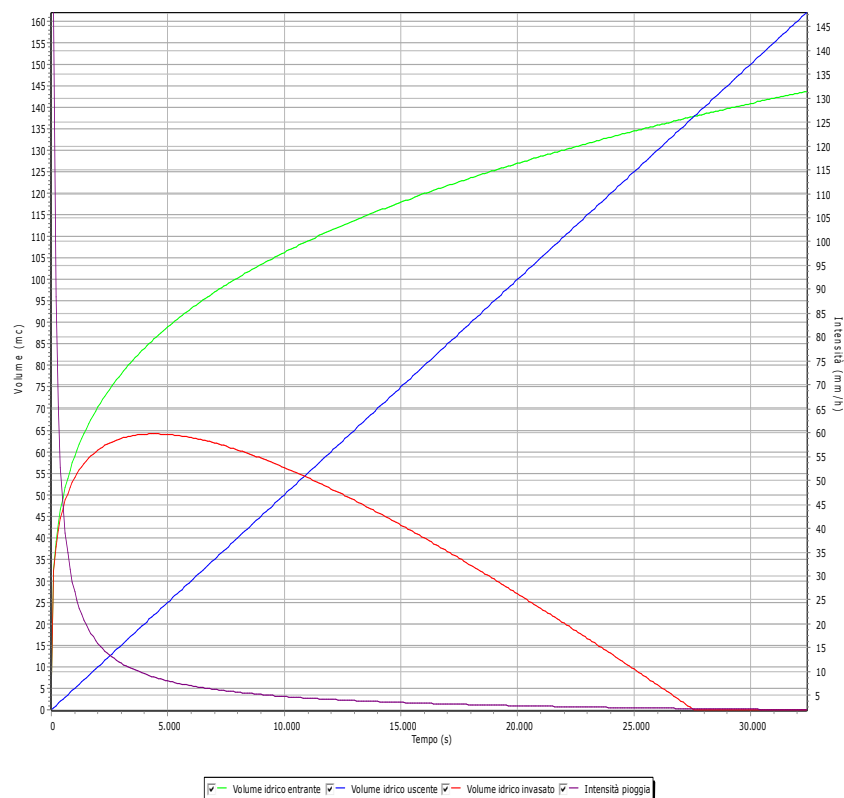
Dimensionamento vasca di laminazione impermeabile: metodo delle solo piogge

N.	A(mq)	ca1	ca2	Qu(mc/s)	u(mc/ha*s)	tr(s)	Vtot(mc)	Vsp(mc/ha)
1	23900	0,1385	0,2237	0,005	0,002	4400,038	64,12	26,8286
Tot.	23900,0						64,12	

Descrizione dato	Valore
Parametro a della curva pluviometrica (mm/h):	40,172
Parametro n o c della curva pluviometrica:	0,2564
Parametro b della curva pluviometrica (h):	0,0
Fattore correttivo di n o c:	1,0
Numero aree trasformate:	1
Tipo ietogramma:	Costante

LEGENDA:

A=estensione dell'area trasformata;
ca1=coefficiente di afflusso prima della trasformazione;
ca2=coefficiente di afflusso dopo la trasformazione;
Qu=portata in uscita dal tubo di scarico;
Q1=portata di afflusso prima della trasformazione;
Q2=portata di afflusso dopo la trasformazione;
u=coefficiente udometrico;
tr=durata di pioggia critica;
Vtot = volume da invasare;
Vsp=volume specifico.



Dimensionamento vasca di laminazione impermeabile: metodo delle solo piogge

