



Regione Sicilia
Provincia di Palermo
Comune di Caccamo

**Impianto agrofotovoltaico
SERPENTANA
di potenza installata pari a 31 MW
da realizzarsi nel
Comune di Caccamo (PA)**

- PROGETTO DEFINITIVO -

**PROVVEDIMENTO UNICO IN MATERIA AMBIENTALE
(P.U.A.)**
ai sensi dell'art. 27 del D.Lgs 152/06 e s.m.i.

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	19/10/2023	Prima Stesura	Dott.Geol.G.Abbate	Dott.G.Filiberto	Dott.F.Milio

PROGETTISTA:

GREEN FUTURE Srl

Sede Legale: Via U. Maddalena, 90

Sede operativa: Corso Calatafimi, 491

90100 - Palermo, Italia

info@greenfuture.it



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

CONSULENZA SPECIALISTICA:

GEOLOGO INCARICATO

Dott. Abbate Giuseppe

Via Bivona, 2 - Blufi (PA)



CLIENTE:

BEE SERPENTANA SRL

Anello Nord,25 - Brunico (BZ)

beeserpentanasrl@pec.it

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE CONCLUSIVA SULLE VERIFICHE

CODICE ELABORATO:

FV22_SERPENTANA_EL105_REV00

SCALA:

-

DATA:

Ottobre 2023

TIPOLOGIA/ANNO

FV22

COD. PROGETTO

SERPENTANA

N.º ELABORATO

EL105

REVISIONE

00

E' vietata la copia anche parziale del presente elaborato

RELAZIONE DI VERIFICA IDROLOGICA E IDRAULICA

INDICE

1. Premessa	pag. 2
2. Analisi geomorfica dei bacini idrografici-.....	pag. 4
3. Calcolo dei Cdf con Kennessey-Maniàci (2018).....	pag. 6
4. Calcolo dell'onda di massima piena con vari metodi.....	pag. 8
5. Verifica idrauliche e Conclusioni.....	pag. 14

6. ALLEGATI

- 1 - Carta Geolitologica della zona di progetto
- 2 - Carte tematiche, dei topoieti e calcolo del Cdf
- 3 - Carta del reticolo idrografico e analisi geomorfica
- 4 - Verifiche idrauliche Ante e Post opera con varie metodologie

1- PREMESSA

Per il progetto definitivo - Impianto agrofotovoltaico “SERPENTANA” di potenza installata pari a 31 MW da realizzarsi nel comune di Caccamo (PA), - la BEE Serpentana Srl ha incaricato il sottoscritto di eseguire, oltre allo studio geologico dell’area di progetto nonché di quella comprendente il cavidotto di connessione a 36 kV, anche le verifiche idrauliche delle aree di produzione dei sottocampi 1, 2 e 3.

Tali sottocampi di progetto sono collocati in rispettivi sottobacini che sono tutti compresi in destra orografica nella parte alta del Bacino Idrografico del Fiume Torto nella Sicilia Settentrionale.

I comparti areali dei sottocampi di progetto, in particolare, sono posti in zone a pendenza media e degradano gradualmente in direzione sud-est.

Nella zona centrale del sottocampo 2 si osservano limitate irregolarità ed ondulazioni della zona più corticale ed allentata dei terreni di copertura per deformazione superficiale lenta, mentre il limite di sud-est del sottocampo 1 è prossimo ad un’areale dove si manifestano fenomeni di erosione accelerata.

Nelle rimanenti parti dei tre sottocampi di progetto non sono stati rilevati dissesti in atto e/o potenziali né particolari fenomeni erosivi.

Nell’ambito degli studi geologici è stato chiesto un approfondimento riguardante l’idrologia dei bacini sottesi dagli impianti di produzione.

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 nella rivista dell’Ordine nazionale dei Geologi: “G&A”.

Con la metodologia sopra indicata, 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 tempo di ritorno $T=100$ 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.

1 - ANALISI GEOMORFICA DEI BACINI DI PERTINENZA DEI SOTTOCAMPI

Per uno studio idrologico di un bacino e le relative verifiche idrauliche ad una sezione di chiusura, è necessario, innanzi tutto, conoscere le caratteristiche fisiografiche dello stesso per procedere poi a tutte le verifiche necessarie atte a definire la sicurezza delle opere antropiche esistenti o da realizzare secondo le norme vigenti.

Le aree dei sottocampi 1, 2 e 3 sono state studiate ciascuna con il proprio bacino di pertinenza; gli impluvi di tali bacini marginali si versano in destra orografica tutti nel Fiume Torto.

Per studiare lo stato di sicurezza del bacino di pertinenza delle aree di progetto si è per prima cosa verificata la maturità del bacino con una puntuale verifica geomorfica che ci ha dato le seguenti informazioni:

- a- altezza media del bacino;
- b- costruzione della curva ipsografica che ci consente di verificare lo stato di maturità del bacino, le sue direzioni evolutive e alcune informazioni sulla stabilità dei talwegs;
- c- calcolo del Fattore geologico dipendente dalla copertura vegetale del bacino, dalla tessitura del terreno, e dalla morfologia del bacino;
- d- valutazione dei parametri idraulici di base che servono per le verifiche, con varie formule di vari autori e varie metodologie, calcolo dell'invarianza idraulica delle aree di progetto.

L'area di progetto del sottocampo 1 dalla sua parte iniziale, molto prossima allo spartiacque, con quota +692 m s.l.m., scende verso sud-est con pendenze iniziali in alveo del 10%-35%, per proseguire fino alla quota di base +125 m s.l.m. con valori di acclività notevolmente più ridotti ovvero del 3,5%-10%.

L'area di progetto del sottocampo 2 dalla sua parte iniziale, molto prossima allo spartiacque, con quota +3200 m s.l.m., scende verso sud-est con pendenze in alveo sempre inferiori al 10%.

L'area di progetto del sottocampo 3 dalla sua parte iniziale, molto prossima allo spartiacque, con quota +320 m s.l.m., scende verso sud-est con pendenze iniziali in alveo del 10%-35%, per proseguire fino alla quota di base +175 m s.l.m. con valori di acclività sempre inferiori al 10%.

Definito prima lo spartiacque, si è evidenziato il reticolo idrografico gerarchizzando i segmenti fluviali fino alla sezione di chiusura, e la costruzione, poi, delle sezioni planimetriche con un Δn di 10 mt., si è fatta prima l'analisi geomorfica calcolando l'altezza media (h) del bacino con la formula:

$$h = (\sum S_n * \Delta n) / S_n$$

in cui (S_n) sono le aree delle superfici planimetriche e (Δn) l'intervallo di quota tra le sezioni planimetriche.

La costruzione della curva ipsometrica ci ha confermato che si tratta di un bacino non conservativo, in fase di evoluzione e di intensa erosione al livello dei thalwegs di ordine inferiore (1° e 2°) in cui prevale l'effetto di erosione all'indietro che si va evolvendo verso la fase di cattura, specie in quelle aree del bacino dove prevalgono terreni argillo-sabbiosi in cui i fenomeni sono più evidenti e più veloci nella loro evoluzione.

L'analisi geomorfica ci ha dato i risultati che sono evidenziati nell'all. 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 i bacini in studio sono stati costruiti i topoi termometrici e pluviometrici. Dalla relativa carta (v. All.3) si evince che il bacino cade nell'area di influenza della stazione termometrica Caltanissetta e della stazione pluviometrica Santa Caterina Villarmosa. Data la vicinanza con la stazione pluviometrica Marianopoli, abbiamo mediato i dati delle due stazioni basando i calcoli sui dati della nuova stazione virtuale, media delle due dianzi indicate. Sono state costruite le carte tematiche dell'acclività, della permeabilità 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 (Ia) calcolato con la formula di De Martonne ha dato:

$$Ia = \{[P/(T + 10)] + 12 p/t\}/2 = 9,89$$

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

Il coefficiente di deflusso (Cdf) si ricava dalla sommatoria delle tre componenti (acclività (Ca), permeabilità (Cp) e vegetazione (Cv).

I coefficienti di deflusso, nelle condizioni Ante Opera e Post Opera, sono necessari per il calcolo

dell'invarianza idraulica. Tali coefficienti, nel nostro caso discendenti dal calcolo del bilancio idrogeologico, sono più affidabili di altri citati nella letteratura specifica che vengono scelti dall'esperienza e dall'uso di vari autori per piccoli bacini diversi da quelli siciliani.

Dai calcoli si sono ottenuti i seguenti risultati:

Per il trentennio 1985-2014

Cdf ante opera: 0,139

Cdf post opera: 0,223

2. 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 quelli oggetto della presente:

$$T_c = [(4 * \sqrt{S} + 1,5 * L) / 0,7 * \sqrt{h}] / 1000$$

in cui (S) è la superficie del bacino, (L) la lunghezza dell'asta principale e (h) l'altezza media. I tempi di corrivazione per tutte le aree dei sottocampi sono evidenziati nell'All. 3-

Si è pertanto pervenuti al calcolo della precipitazione massima con la formula:

$$P_{max} = P_g * \sqrt[3]{T_c / 24}$$

ove (Pg) è assunto pari a 124 mm/ora come intensità massima di pioggia compatibile con la durata di un'ora nel versante meridionale della Sicilia, secondo la tabella e il diagramma elaborato dal Servizio Idrografico del Genio Civile (v. alle. 3). È stata poi determinata la portata di massima piena prevedibile mediante la formula del FORNARI (1910):

$$Q = (d * I * S) / 3,6$$

dove (d) è un fattore geologico variabile da 0,2 a 4,9, che in relazione alla capacità di immagazzinamento idrico dei costituenti litologici del bacino è stato valutato in 0,22; (I) è uguale al rapporto tra precipitazione massima (Pmax) e tempo di corrivazione (Tc), (S) è la superficie del bacino.

Infine è stato calcolato il coefficiente unitario di piena (q) come rapporto tra la portata di massima piena (Q) e la superficie del bacino (S). I calcoli e i valori risultanti sono mostrati nell'All.3

Valutazione della precipitazione massima con il metodo GUMBEL e le formule del Giandotti e Viparelli con tempo di ritorno $T = 30$ anni

Abbiamo voluto allegare le valutazioni sulla precipitazione massima e la massima piena eseguita con il metodo Gumbel in cui i calcoli si sviluppano sostanzialmente come nella metodologia precedente. Sono stati introdotti nei fogli di calcolo gli stessi dati precedenti e si è constatato che i risultati sono coerenti e fondamentalmente dello stesso ordine di grandezza. Senza passare ad ulteriori descrizioni e ripetizioni si rimanda ai fogli di calcolo da cui si evincono i risultati e le omogeneità con i calcoli precedenti All. 3.

Di seguito si passa, a completamento della presente relazione di verifica, alla presentazione dei calcoli dell'invarianza idraulica eseguiti con il programma del Dott. Di Bernardo.

Il Geologo

Dr. Giuseppe Abbate
O.R.G. di Sicilia n.° 2009

RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA

1.0. RIFERIMENTI NORMATIVI

Da qualche tempo, tuttavia, sembra che l'approccio alla gestione dei deflussi meteorici stia 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 prossimopossibile 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 20 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 la spinta 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 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 metodistiche 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, come viene scelto nel programma "Piena 3" della Programgeo del Dott. Di Bernardo Aldo.

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 rendereminimi 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:

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

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 0,15 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 ($\phi = 1$).

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

*Litri / (secondo * 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 (trincea disperdente, pozzo perdente etc.), è stato utilizzato il software della Programgeo predisposto dal Dott. Di Bernardo Aldo, nelle due parti: Piena 3 e Invarianza idraulica, (vedi allegati in calce).

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 $T = 20$ anni
- calcolo massima portata scaricabile dal fondo in condizioni post operam (formula razionale) con periodo di ritorno $T = 20$ anni
- Individuazione della Curva di Possibilità Pluviometrica locale, con $T = 30$ anni e relativi parametri

$$h(t) = a x t^n$$

- 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. CONCLUSIONI

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.

Il volume idrico in eccesso da eliminare, per infiltrazione o mediante una vasca di laminazione, è riportato per ogni sottocampo agrofotovoltaico nella tabella 1.

Tabella 1

Sottocampo	Area pannellata (m ²)	Volume totale da invasare (m ³)
1	48.299	112,884
2	66.627	144,307
3	30.000	77.078

È utile prevedere delle misure di mitigazione, quali l'inerbimento di importanti areali di impianto e la realizzazione di fasce alberate perimetrali, atti a garantire un basso impatto delle opere dal punto di vista idrologico ed idraulico.

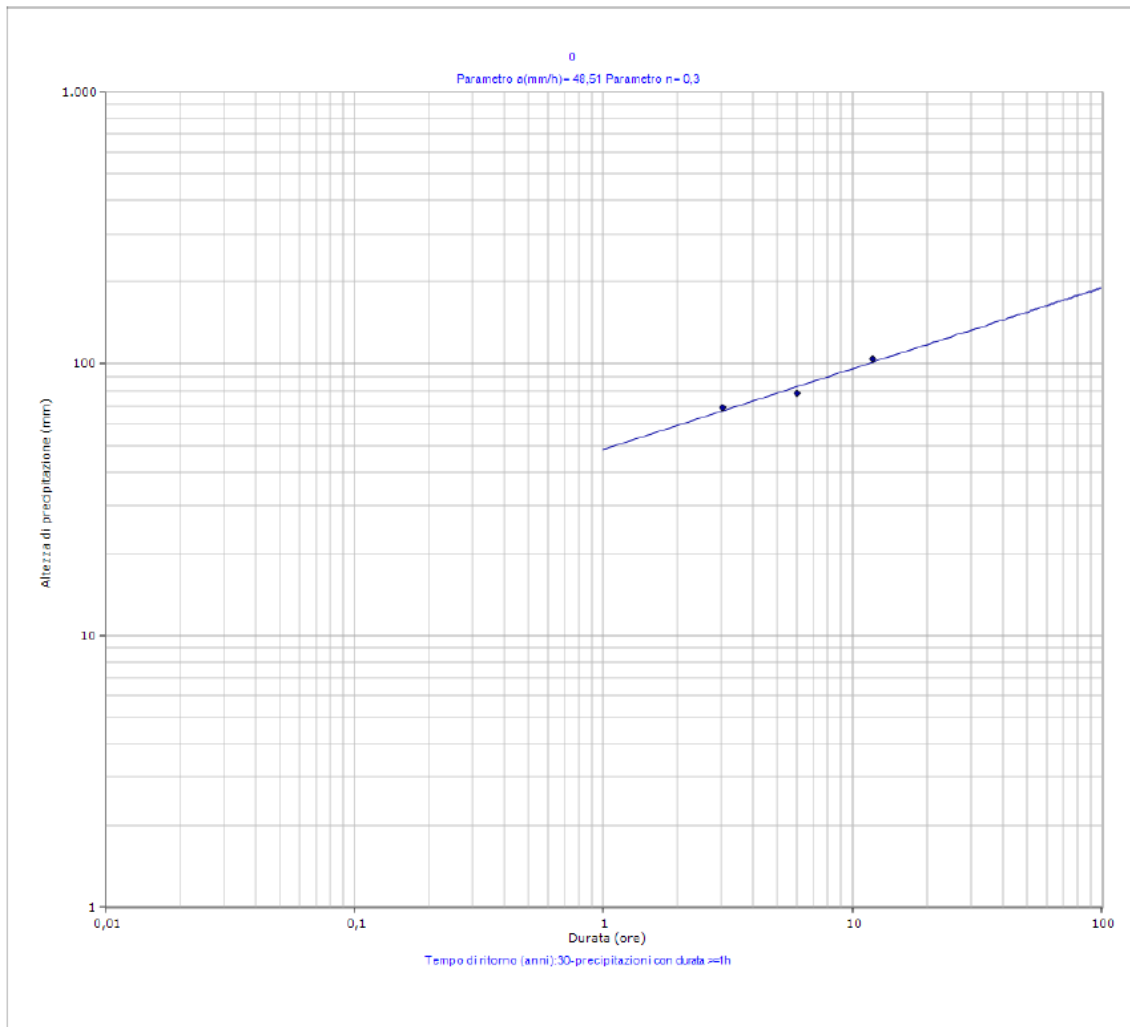
Il principio dell'invarianza idraulica sarà in ogni caso garantito poiché sono previste due vasche di accumulo idrico che saranno nella misura calcolata (secondo i criteri di cui all'allegato 2 del D.D.G. n. 102/2021 DRU/AdB Sicilia), deputate unicamente alla laminazione delle acque meteoriche ovvero la cui capacità di invaso sarà sempre disponibile e comunque ripristinata nelle 48 ore successive agli eventi meteorologici.

Il passaggio da una condizione di terreno ad uso agricolo a seminativo a quella di suolo perennemente inerbito appare senza dubbio una miglioria in termini di ritenzione idrica ed evapotraspirazione.

Per tutti i dettagli di calcoli idrogeologici e idrogici si rimanda ai relativi elaborati allegati al progetto.

Curva di possibilità pluviometrica

N.	T(anno)	t=10min	t=15min	t=30min	t=45min	t=1h	t=3h	t=6h	t=12h	t=24h
1	2005						25,8	42	71,40	
2	2008						28,40	32,80	38,60	
3	2011						51,80	52,80	53	
4	2012						25	41,80	66	
5	2013						41,60	46,60	50	
6	2014						24,40	36	54,60	
7	2015						49	73	102	
8	2016						50	60	78,60	
9	2017						30,20	36,60	36,80	
10	2018						62,60	64	64	



CALCOLO SOTTOCAMPO 1

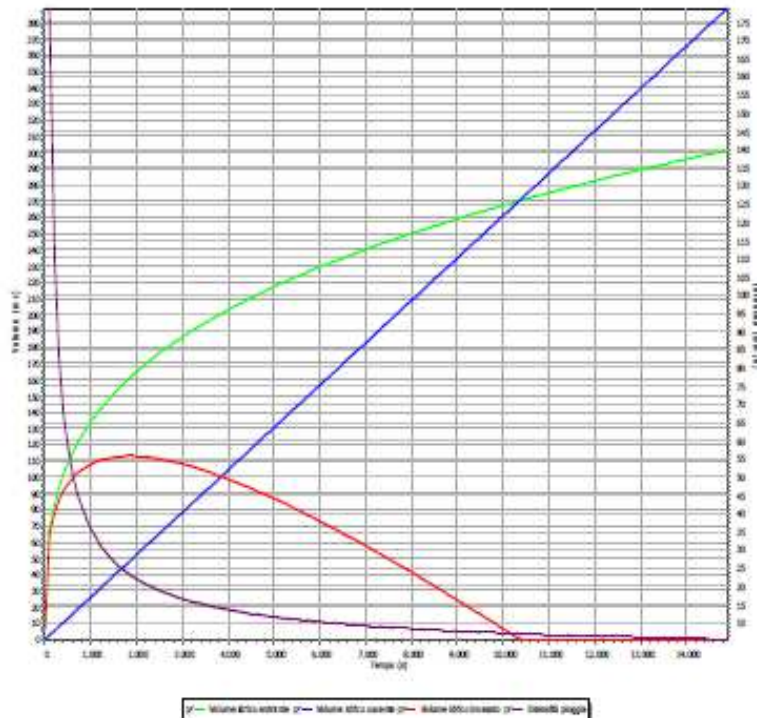
Dimensionamento vasca di laminazione impermeabile: metodo delle solo piogge

N.	A(mq)	ca1	ca2	Qu(mc/s)	u(mc/ha*s)	tr(s)	Vtot(mc)	Vsp(mc/ha)
1	48299,0	0,139	0,223	0,0261	0,005	1900,037	112,884	23,3719
Tot.	48299,0						112,88	

Descrizione dato	Valore
Parametro a della curva pluviometrica (mm/h):	48,51
Parametro n o c della curva pluviometrica:	0,3
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.



CALCOLO SOTTOCAMPO 2

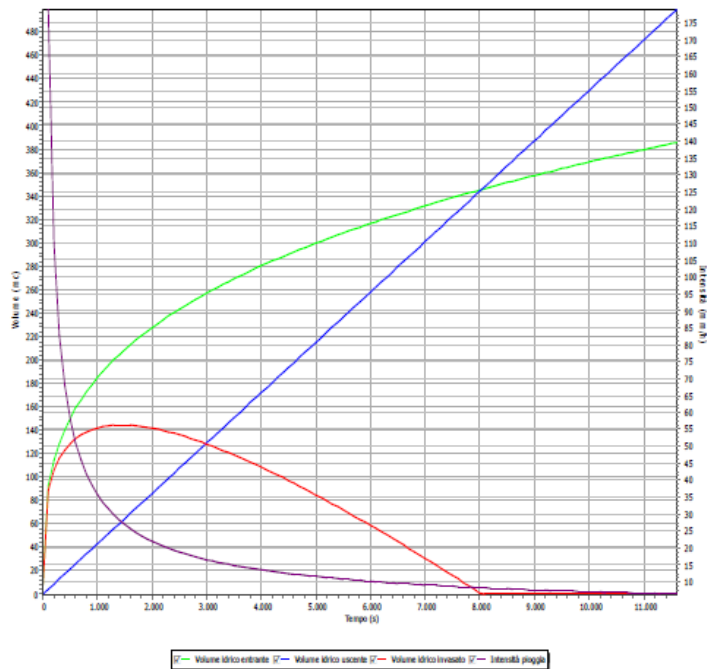
Dimensionamento vasca di laminazione impermeabile: metodo delle solo piogge

N.	A(mq)	ca1	ca2	Qu(mc/s)	u(mc/ha*s)	τ (s)	Vtot(mc)	Vsp(mc/ha)
1	66627,0	0,139	0,223	0,043	0,006	1400,036	144,307	21,659
Tot.	66627,0						144,31	

Descrizione dato	Valore
Parametro a della curva pluviometrica (mm/h):	48,51
Parametro n o c della curva pluviometrica:	0,3
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;
 τ =durata di pioggia critica;
 Vtot = volume da invasare;
 Vsp=volume specifico.



CALCOLO SOTTOCAMPO 3

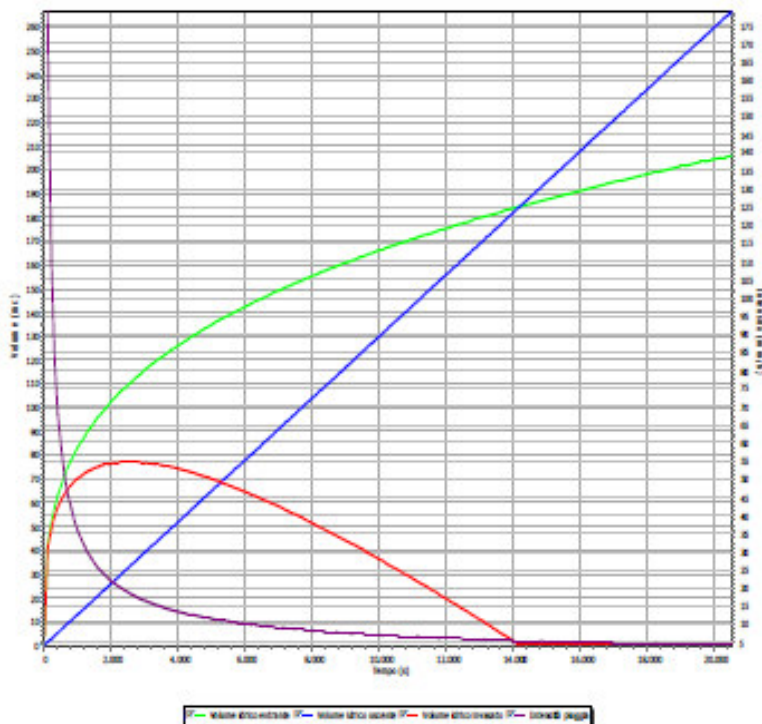
Dimensionamento vasca di laminazione impermeabile: metodo delle solo piogge

N.	A(mq)	ca1	ca2	Qu(mc/s)	u(mc/ha*s)	tr(s)	Vtot(mc)	Vsp(mc/ha)
1	30000,0	0,139	0,223	0,013	0,004	2500,037	77,078	25,6926
Tot.	30000,0						77,08	

Descrizione dato	Valore
Parametro a della curva pluviometrica (mm/h):	48,51
Parametro n o c della curva pluviometrica:	0,3
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.



— Volume affluente — Volume effluente — Cauda affluente — Cauda effluente