

Regione: Sicilia
Provincia: Palermo
Comune: Monreale
Località: Trenta-Ravanusa

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MONREALE-C.DA TRENTA" DELLA POTENZA DI 40 MW IN IMMISSIONE PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Titolo: AGRFV-PA-REL023A0
Relazione Idrologico-Idraulica

Allegato:

T.1

Progettazione:

Visti / Firme / Timbri:



Ing. Maurizio Moscoloni

Note:

Data	Rev.	Descrizione revisioni	Elaborato da:	Controllato da:	Approvato da:
11.04.2023	0	PRIMA EMISSIONE	Ing. M. Moscoloni	Ing. M. Moscoloni	FLEGONE srl
===== REVISIONI =====					



FLEGONE srl

FLEGONE srl
Via Monte Napoleone, 8
20121 MILANO MI
flegonesrl@pec.it

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PERIMETRAZIONE DEI BACINI	4
2.1	STRUMENTI E PROCEDURE PER L'ANALISI MORFOMETRICA ED IDROGRAFICA DEL BACINO OGGETTO DI STUDIO	4
3	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	10
4	ANALISI PLUVIOMETRICA E CALCOLO DELL'ALTEZZA CRITICA DI PIOGGIA	11
4.1	INDICAZIONI DEL P.A.I. (RELAZIONE GENERALE 2004).....	11
5	CALCOLO DEL VALORE DI PORTATA	16
6	STUDIO IDRAULICO: NORME GENERALI SULLA COSTRUZIONE DEI MODELLI	21
6.1	CARATTERISTICHE FISICO MATEMATICHE DEI MODELLI.....	21
6.2	STUDIO IDRAULICO: ASSEGNAZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO E CONDIZIONE DI MOTO	23
6.3	STUDIO IDRAULICO: ASSETTO GEOMETRICO, MODELLAZIONE DELLE SEZIONI E CONDIZIONE AL CONTORNO.....	23
6.4	STUDIO IDRAULICO: CONDIZIONI IDRAULICHE AL CONTORNO	25
6.5	STUDIO IDRAULICO: RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA	26
7	STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA	30
7.1	PREMESSE.....	30
7.2	METODOLOGIA DI CALCOLO	33
7.2.1	<i>Calcolo dei volumi di laminazione</i>	35
7.3	LA VASCA DI LAMINAZIONE	37
7.4	MISURE COMPENSATIVE IN CONSIDERAZIONE DELLA COMPATTAZIONE E CONSEGUENTE DECADIMENTO DELLE PERMEABILITÀ DEL SUOLO, A SEGUITO DELLA NUOVA DESTINAZIONE, CON IMPATTO SU SUOLO E SOTTOSUOLO	43
8	RETE DI CAPTAZIONE E REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI	44
9	ASSEVERAZIONE	47

1 PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio eseguito per la definizione dei caratteri idraulici relativi alle interferenze con il reticolo idrografico di superficie dei lavori relativi alla realizzazione del progetto di un impianto agrofotovoltaico in “C.da Trenta” nel comune di Monreale (PA) della potenza di 40 MW in immissione.

Il presente studio idrologico - idraulico si rende necessario per ottemperare alla richiesta di rilascio del Parere autorizzativo di competenza nell'ambito procedimento istruttorio riguardante l'Istanza presentata ai sensi del R.D.L. n. 3267 del 30/12/1923 per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto.

Lo studio condotto - una volta individuate le aste interferenti con gli impianti in oggetto - ha permesso la determinazione delle aree allagate con tempo di ritorno di 5 anni per identificare tutte quelle zone che non possono essere utilizzate per la realizzazione dell'impianto secondo quanto previsto dal Decreto n.119 del 09 Maggio 2022¹ e la progettazione di una rete di drenaggio, costituita da canali in terra tra di loro interconnessi, che anziché convogliare le acque direttamente al recapito costituito dall'asta fluviale del bacino di appartenenza della rete stessa, le invia in opportune vasche di laminazione distribuite nell'area del bacino, le quali rilasciando gradualmente i volumi d'acqua al recapito finale forniscono una complessiva decelerazione del deflusso superficiale al recapito e le stesse garantiscono l'invarianza idraulica².

Tale rete inoltre allungando il percorso di drenaggio delle acque al recapito – rispetto al libero deflusso - aumenta i tempi di corrivazione delle acque superficiali.

Si evidenzia che in ogni caso saranno adottate una serie di misure atte a prevenire la compattazione del suolo e la riduzione di permeabilità dello stesso (cfr. paragrafo 7.4).

L'intervento previsto risulta in linea con quanto previsto dal P.A.I. Sicilia (aggiornamento 2021) che al punto C.5.4. dell'Appendice C recita: *“Nel caso di trasformazione dell'uso del suolo che comporti una riduzione della permeabilità superficiale, si dovranno prevedere “interventi in situ” di infiltrazione o di temporanea ritenzione e accumulo (laminazione) delle acque, volti a mantenere invariato il coefficiente udometrico dell'area oggetto d'intervento, preservandone la capacità di scolo e di deflusso ante operam.”*

Il sistema di drenaggio di progetto può essere dunque annoverato tra i “SUDS - Sistemi di drenaggio urbano sostenibile” ossia, secondo la definizione fornita dal DDG 102 del 23/06/2021

¹ Direttive per la determinazione dell'ampiezza dell'alveo nel caso di sponde incerte (art. 94 del R.D. n.523/1904) e per la determinazione della fascia di pertinenza fluviale da sottoporre alle limitazioni d'uso di cui all'art. 96, lettera f, del R.D. n. 523/1904.

² Studio dell'invarianza idraulica richiesto dalla D.D.G. n.102 del 2021 per gli interventi con superficie maggiore di 10.000 m².

del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distretto Idrografico della Sicilia al co. 6 art. 2, *“metodi di gestione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale che replicano i modelli di drenaggio naturali, utilizzando soluzioni economiche a basso impatto ambientale, mediante accumulo, laminazione e infiltrazione, che consentano il lento rilascio nei corpi idrici superficiali (naturali o artificiali), nelle fognature o nelle falde acquifere (infiltrazione). Il volume da destinare alla laminazione e/o all'infiltrazione delle piogge dovrà garantire che la portata allo scarico non ecceda il valore nella situazione ante operam ovvero l'eventuale valore concordato o imposto dall'ente gestore”*, rispettando così quanto predisposto dall'art. 4, dall'Allegato 1 e dall'Allegato 2 del citato DDG 102.

Il sistema di regimentazione delle acque meteoriche descritto (vasche di laminazione, luce di fondo della vasca di laminazione) è stato dimensionato e verificato per un tempo di ritorno di 30 anni, il sistema di canalizzazione invece è stato verificato per un tempo di ritorno di 50 anni.

Nei successivi paragrafi è descritto lo studio eseguito:

- per la definizione dei caratteri idraulici relativi alle interferenze con il reticolo idrografico di superficie dei lavori relativi alla realizzazione del progetto dell'impianto fotovoltaico;
- per garantire l'invarianza idraulica delle aree interessate dall'intervento;
- per il dimensionamento della rete di drenaggio superficiale.

Il sistema di drenaggio superficiale dell'area interessata dall'intervento costituito da canali e bacini di laminazione, ovvero l'insieme delle opere destinate alla raccolta ed al convogliamento a recapito delle acque direttamente ricadenti sulle aree in cui si posizioneranno i pannelli e tutte le zone a servizio dell'impianto, ha - come detto - il preciso obiettivo di garantire l'invarianza idraulica e di aumentare i tempi di corrivazione delle acque superficiali. Vengono pertanto delineati i criteri di verifica e di dimensionamento delle diverse opere idrauliche.

Lo studio ha inoltre considerato le interferenze tra la viabilità di progetto e l'idrografia locale; dall'analisi non si sono rilevati interferenze tali da necessitare attraversamenti idraulici.

Le analisi di compatibilità finalizzate a valutare che l'inserimento dell'opera, in coerenza con l'assetto idraulico del corso d'acqua, non comporti alterazioni delle condizioni di rischio idraulico, ed assicurati, con adeguati franchi di sicurezza, il passaggio della piena di progetto, sono state sviluppate con riferimento al modello monodimensionale in regime permanente, attraverso il codice di calcolo Hec- Ras.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E PERIMETRAZIONE DEI BACINI

Per la stima univoca della portata di piena o di colmo, detta “portata di progetto”, si sono utilizzate le direttive e le metodologie reperite da letteratura tecnica, quelle indicate dal P.A.I. della Regione Sicilia (2006) ed in fine le direttive del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche nell’ambito del Progetto VA.PI. (Valutazione delle Piene in Italia) pubblicati nel rapporto Valutazione delle Piene in Sicilia [Cannarozzo, D’Asaro e Ferro, 1993].

Tali procedure si fondano sul calcolo della portata in modo indiretto, mediante modelli di trasformazione degli afflussi in deflussi.

Tra le diverse metodologie disponibili per il calcolo della portata in modo indiretto, il modello più utilizzato risulta essere quello cinematico, (nello specifico il modello razionale) il quale permette calcolare e stimare il valore delle portate di piena mediante l’analisi dei seguenti parametri:

- Morfometrici ed idrografici del bacino idrologico sotteso alla sezione di chiusura,
- Tempo di corrivazione;
- Altezza di pioggia critica;
- Coefficiente di deflusso per la determinazione della pioggia netta.

Nei seguenti sottoparagrafi, sono riportati le metodologie necessarie all’individuazione del bacino e delle caratteristiche morfometriche ed idrografiche dello stesso.

2.1 Strumenti e procedure per l’analisi morfometrica ed idrografica del bacino oggetto di studio

La determinazione del bacino idrografico e del reticolo è stata effettuata utilizzando un modello digitale del terreno (Digital Elevation Model – DEM di maglia 2x2) con procedura sviluppata in ambiente GIS.

Tale DEM è stato elaborato dalla Regione Sicilia ed è disponibile in download tramite procedura Web Coverage Service (WCS http://map.sitr.regione.sicilia.it/gis/services/DEM/MDT_2012_2013/MapServer/WCSServer).

Le elaborazioni della matrice così ottenuta (raster), contenente le informazioni altimetriche delle singole celle, sono state eseguite in ambiente Gis utilizzando il software QGIS con opportune procedure di interpolazione, che di seguito vengono descritte.

Utilizzando come input un livello raster rappresentativo delle quote topografiche o un modello digitale del terreno (DEM), gli strumenti di analisi idrologica consentono di individuare in maniera automatica il sistema di drenaggio e quantificare le caratteristiche del sistema.

A seguito di queste operazioni preliminari si sono individuati i bacini principali relativi a tutti i corsi d'acqua principali e minori identificati tramite l'analisi delle CTR regionali e tutte le caratteristiche morfologiche desumibili attraverso appositi comandi propri del GIS.

Questo perché ciascuna metodologia riportata in letteratura per il calcolo della portata al colmo di piena necessita di una serie di parametri da inserire all'interno del modello per applicare un generico modello di calcolo ad un determinato caso di studio.

Si tratta, fondamentalmente, di caratteristiche morfo-idrometriche del bacino o dell'asta principale del reticolo.

Tali grandezze possono essere ricavate tramite l'applicazione di alcuni basilari strumenti analitici comunemente applicati in ambiente GIS.

Senza entrare nel merito del significato concettuale di ciascuna applicazione, si fornisce di seguito un elenco dei parametri ricercati:

- *Estensione superficiale del bacino (kmq).*
- *Lunghezza dell'asta fluviale principale (km)*
- *Quote media e massima del bacino (m s.l.m)*
- *Quota della sezione di chiusura (m s.l.m)*
- *Pendenza media del bacino (m/m)*
- *Pendenza media dell'asta fluviale (m/m)*

I bacini idrografici in cui verranno realizzati gli impianti sono relativi a piccoli affluenti del Fiume Belice nel bacino omonimo.

In generale dunque le aree di impianto sono distribuite in 2 zone identificate per comodità come Zona 1 e Zona 2.

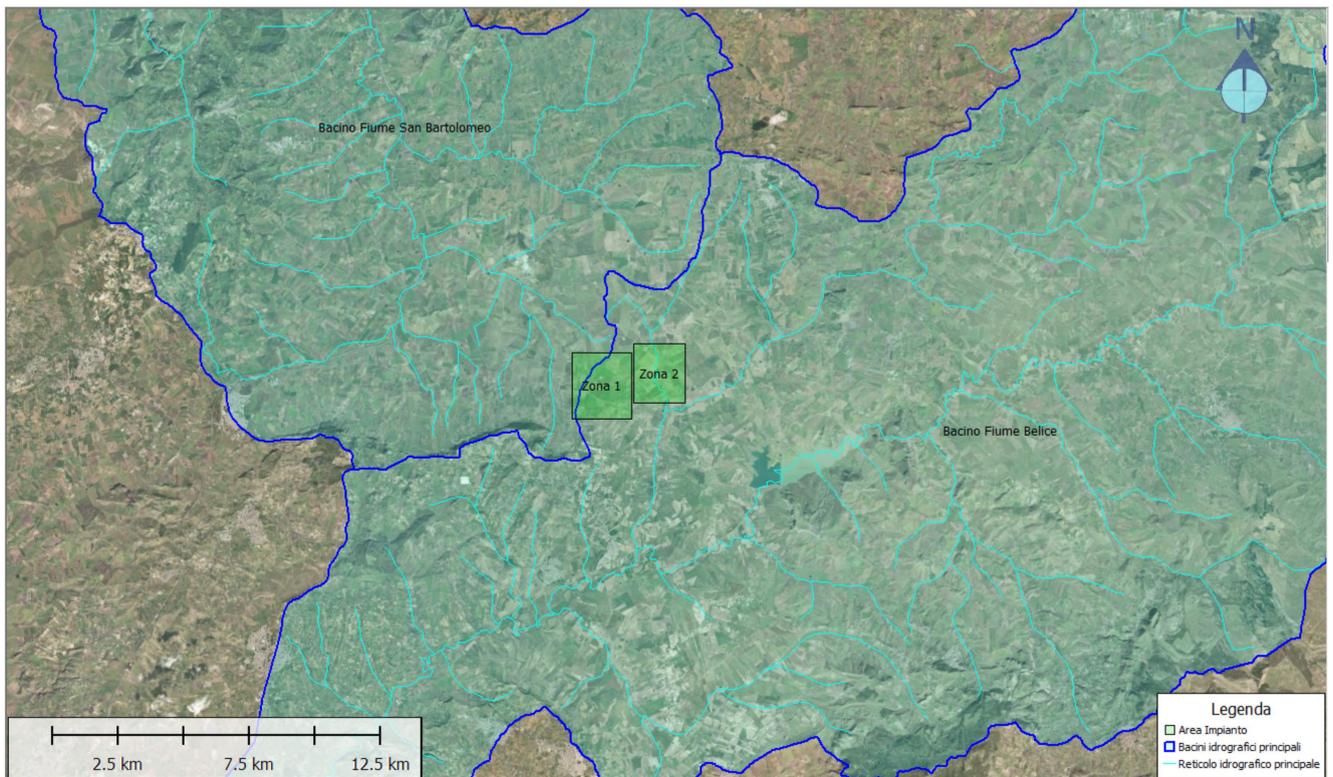


Figura 1: Bacino dei fiumi Belice e San Bartolomeo, evidenziate le aree dei differenti impianti previsti con interferenze con il reticolo idrografico.

Il bacino del Fiume Belice è il più esteso della Sicilia Occidentale. Il corso d'acqua ha vita perenne ed uno sviluppo idrografico completo. Ad una cospicua zona sorgentizia, ubicata a Sud dei Monti di Palermo e a SW della Rocca Busambra, segue un tratto giovanile ripido, a forte pendenza, con alveo prevalentemente roccioso. Il tratto giovanile corrisponde in gran parte con le aste fluviali dei Fiumi Belice Sinistro e Belice Destro.

A valle della confluenza tra questi ultimi il Fiume, modellandosi fra versanti argillosi e carbonatici, attenua la sua pendenza fino ad assumere il carattere vero e proprio di un fiume con decorso lento che si snoda in ampi meandri intagliando il pianoro calcarenitico compreso tra Castelvetro, Menfi e Porto Palo. Il Fiume Belice si origina dalla confluenza dei due rami, il Belice Destro e il Belice Sinistro.

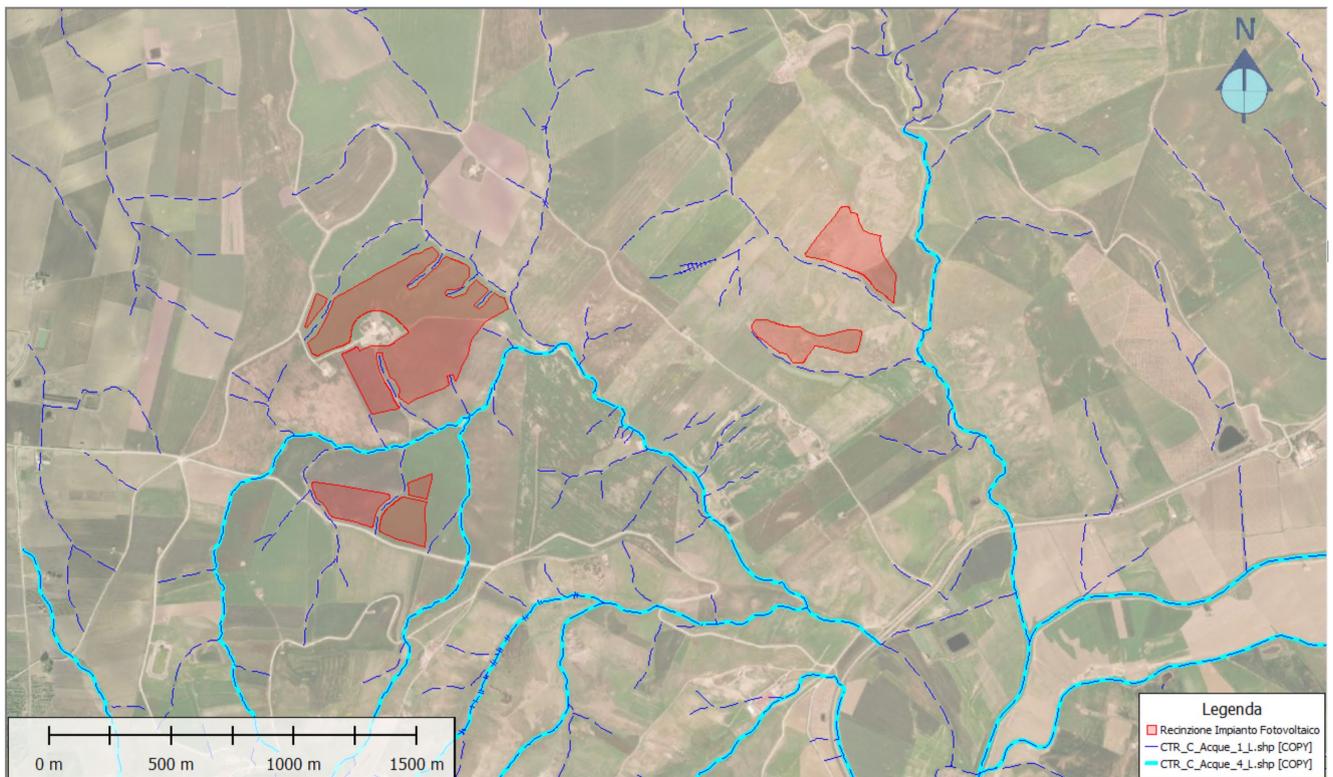


Figura 2: Inquadramento dell'area dell'impianto fotovoltaico e interferenze con il reticolo idrografico ricavato dalla CTR della Regione Sicilia

Il software utilizzato ha permesso una volta individuati i rami interferenti, rilevabili sulla CTR regionale, con l'impianto da realizzare di ricavare un bacino contribuente al deflusso per ogni ramo e di conseguenza tutte le grandezze morfometriche indispensabili per l'analisi idrologica ed idraulica.

Sono stati individuati in totale 11 bacini idrografici in grado di generare una interferenza con l'infrastruttura da progettare, tutti i rami più piccoli individuati sulla CTR sono stati analizzati con dei metodi speditivi e saranno nel dettaglio illustrati più avanti nella presente relazione.

Nel proseguo della trattazione saranno tabellate ed indicate le grandezze morfometriche e i risultati del calcolo idrologico per i bacini identificati con il codice tipologico che ne associa la zona relativa all'impianto e una numerazione progressiva.

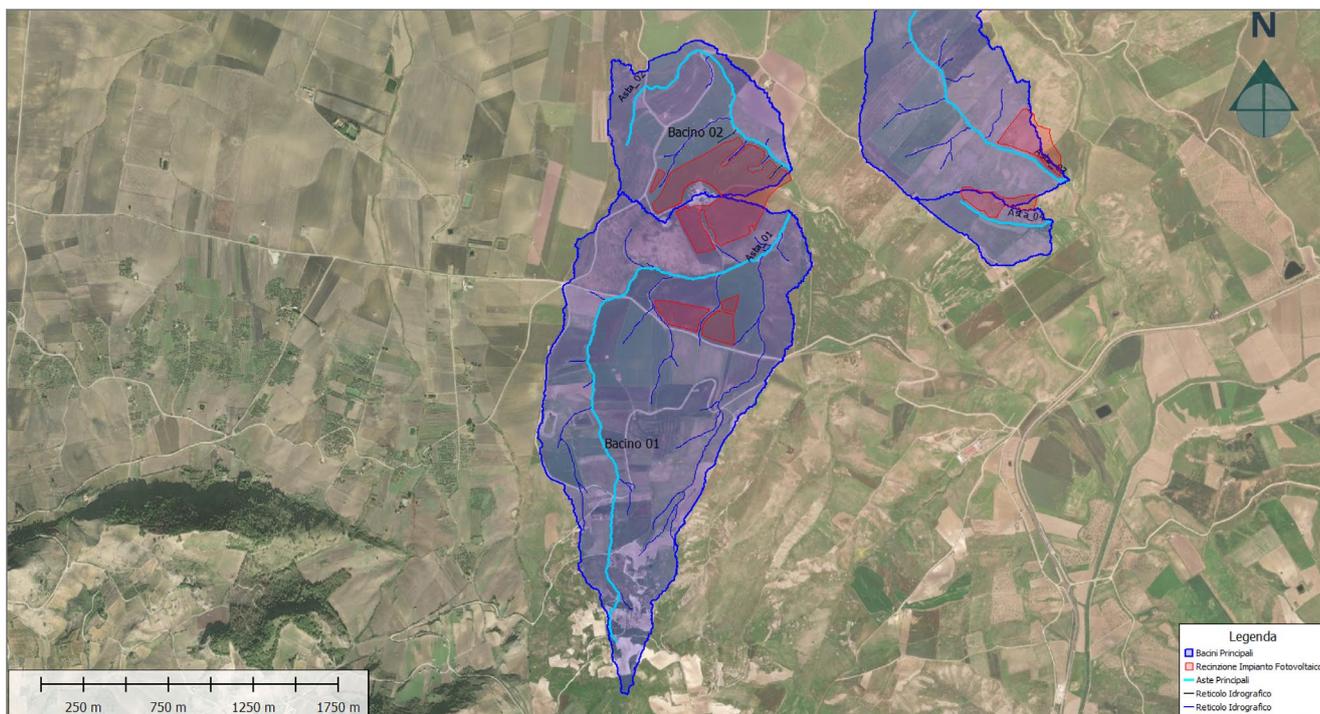


Figura 3: Bacini idrografici dei rami interferenti con l'infrastruttura nella zona A

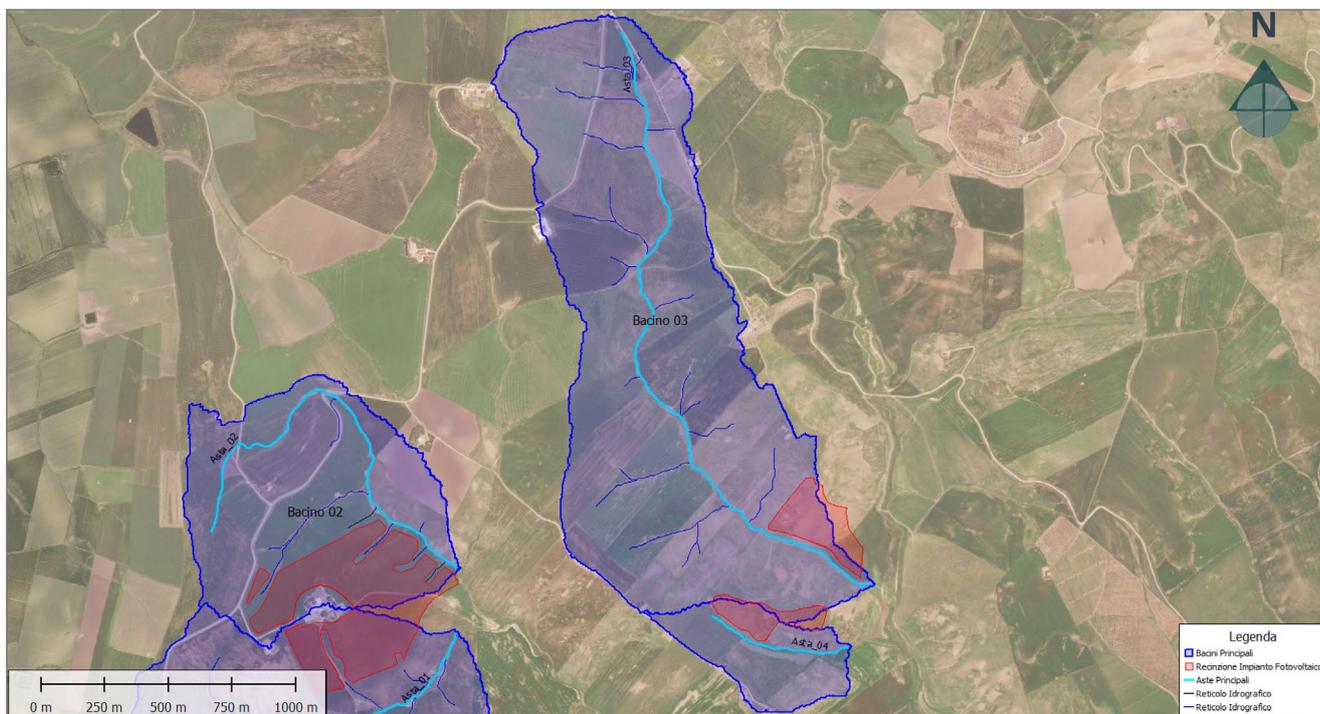


Figura 4: Bacini idrografici dei rami interferenti con l'infrastruttura nella zona B

Di seguito si riportano i primi dati ricavati attraverso il software di analisi morfologica Qgis dei bacini identificati.

Tabella 1 - Grandezze caratteristiche dei bacini individuati

ID BACINO		Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04
ASTE FLUVIALI	L [km]	3.33	1.82	2.85	0.59
	Hmax	478.4	251.7	249.5	224.2
	Hmin	195.0	191.0	171.7	177.3
	i [%]	8.85	3.92	3.54	8.06
BACINI SCOLANTI	A [km ²] o S	2.6	0.8	1.8	0.2
	Hmax	606.8	261.6	322.3	244.2
	Hmin	189.0	190.9	171.7	177.4
	H media	277.3	233.6	228.7	217.1
	i [%]	17.0	12.0	16.0	18.8
	P [km]	10.828	5.176	9.444	2.872
	Dmax [Km]	5.414	2.588	4.722	1.436

3 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

La stima del tempo di corrivazione (tempo che impiega la particella liquida idraulicamente più lontana a raggiungere la sezione di chiusura) è stata effettuata mediante l'utilizzo e la comparazione di numerose formule empiriche, relative a bacini di piccole dimensioni, reperite in letteratura tecnica. Si è scelto di adottare la formula di Kirpich, valida per piccoli bacini reputandola la migliore tra quelle analizzate.

Nel caso in esame per l'applicazione dei differenti approcci di calcolo, si sono utilizzati i parametri morfometrici del bacino (superficie A, quota massima della linea spartiacque Qmax, quota media del bacino Qmed, quota minima sulla sezione di chiusura prescelta Qmin) ed il parametro idrografico (lunghezza dell'asta principale L_a).

Metodo Kirpich

$$t_c = 0.00325 * \left(\frac{L_a * 1000}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77}$$

con:

- L_a : lunghezza asta principale (Km);
- la pendenza media dell'asta principale

Tabella 2 – Tempo di corrivazione dei bacini individuati

ID BACINO	Tempo di Corrivazione [h]
Bacino 01	1.155
Bacino 02	0.773
Bacino 03	1.044
Bacino 04	0.389

4 ANALISI PLUVIOMETRICA E CALCOLO DELL'ALTEZZA CRITICA DI PIOGGIA

Per la stima dell'altezza di pioggia critica, necessaria a quantificare gli afflussi, si introduce il concetto di tempo di ritorno T_r .

Il tempo di ritorno T_r è legato alla probabilità di non superamento $P(x)$ della variabile idrologica dalla relazione:

$$P(x) = 1 - \frac{1}{T_r}$$

Lo scopo dello studio idrologico riguarda il calcolo delle portate massime di piena e/o di colmo, o in alternativa, degli idrogrammi di piena in funzione di associati tempi di ritorno. I risultati di tale studio costituiscono la base di partenza per le verifiche idrauliche, nelle quali verranno analizzate le condizioni e comportamento di deflusso del corso d'acqua. La valutazione delle portate può essere eseguita con diverse metodologie di calcolo ed in funzione della natura dei dati disponibili.

In generale, avendo a disposizione dati di portata registrati in continuo da una stazione idrometrica presente sul corso d'acqua, si esegue l'elaborazione statistica degli eventi estremi disponibili (metodo diretto). In mancanza di detti dati, si verifica, se sono disponibili, dati di portata di altri corsi d'acqua simili al corso fluviale oggetto di studio.

In detto caso si esegue l'elaborazione statistica di dati disponibili e successivamente si cerca di interpretare le portate del corso d'acqua in esame sulla base dei risultati ottenuti (metodo della similitudine idrologica). In molti casi è possibile utilizzare i cosiddetti "metodi di regionalizzazione", attraverso i quali è possibile valutare le portate di piena in riferimento a parametri idrologici caratteristici del bacino in esame.

Infine, è possibile ricorrere al metodo indiretto (Afflussi- Deflussi), che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense.

Nel caso in esame le valutazioni idrologiche, sui bacini oggetto di analisi, sono state condotte considerando la seguente metodologia:

- 1. Metodo indiretto (Afflussi-Deflussi) con Gumbel;** mediante applicazione dell'analisi probabilistica di Gumbel integrato dalle prescrizioni fornite dal P.A.I. della Regione Sicilia (Relazione Generale 2004 e successive modifiche ed integrazioni);

4.1 Indicazioni del P.A.I. (Relazione Generale 2004)

Il presente studio è stato redatto in conformità agli indirizzi dettati per il settore specifico dal "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" della Regione Sicilia.

Il P.A.I., attraverso le sue disposizioni, pone l'obiettivo agli enti competenti in materia di difesa del suolo, di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

Per l'analisi idrologica si adottano le direttive riportate nella "Metodologia operativa per l'analisi idraulica e la valutazione del rischio per inondazione" della Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Sicilia.

L'approccio utilizzato dal P:A.I. è di tipo probabilistico, ovvero utilizza un approccio probabilistico indiretto.

Tale approccio consiste nello stimare la portata di piena di progetto attraverso un'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni nel bacino interessato e la simulazione successiva del processo della loro trasformazione in deflussi.

Lo studio è stato effettuato per i valori del tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni, assumendo che la portata abbia il medesimo tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata (linearità della trasformazione), è possibile così valutare le portate per i medesimi tempi di ritorno.

Per la determinazione delle C.P.P. si è utilizzata la legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1, meglio nota come legge di Gumbel. Nell'ipotesi che le precipitazioni seguano la legge di invarianza di scala temporale, le C.P.P., espresse attraverso la legge di Gumbel, si possono scrivere nella seguente forma:

$$h_{t,Tr} = K_{Tr} x a t^n$$

in cui $h_{t,Tr}$ è l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno Tr , mentre K_T è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno Tr e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CVS \times \left\{ 0,450 + 0,799 \times \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] \right\}$$

I valori di a , n e CV (quale coefficiente di variazione aerea ottenuto dai coefficienti di varianza delle stazioni CVS) sopra riportati sono stati interpolati tramite kriging (Matheron, 1971) su tutto il territorio regionale creando delle carte dei valori di a , n e CV riportate nelle figure riportate nel seguito

L'algoritmo utilizzato per l'interpolazione, il *kriging*, meglio conosciuto come metodo dell'interpolazione ottimale, si basa sul fatto che la grandezza regionale da interpolare è troppo irregolare perché sia modellata da funzioni matematiche regolari ma può essere descritta da una superficie stocastica.

L'interpolazione prevede una prima fase nella quale si indagano gli aspetti stocastici delle variabili regionalizzate ed una fase successiva di modellazione vera e propria. Il successo del kriging consiste nella validità di importanti assunzioni che si fanno sulla natura statistica della variazione, assunzioni che sono contenute nella teoria delle variabili regionalizzate.

Dalle carte così ottenute è possibile risalire al valore medio areale di tali coefficienti senza fare ricorso al classico metodo dei topoi.

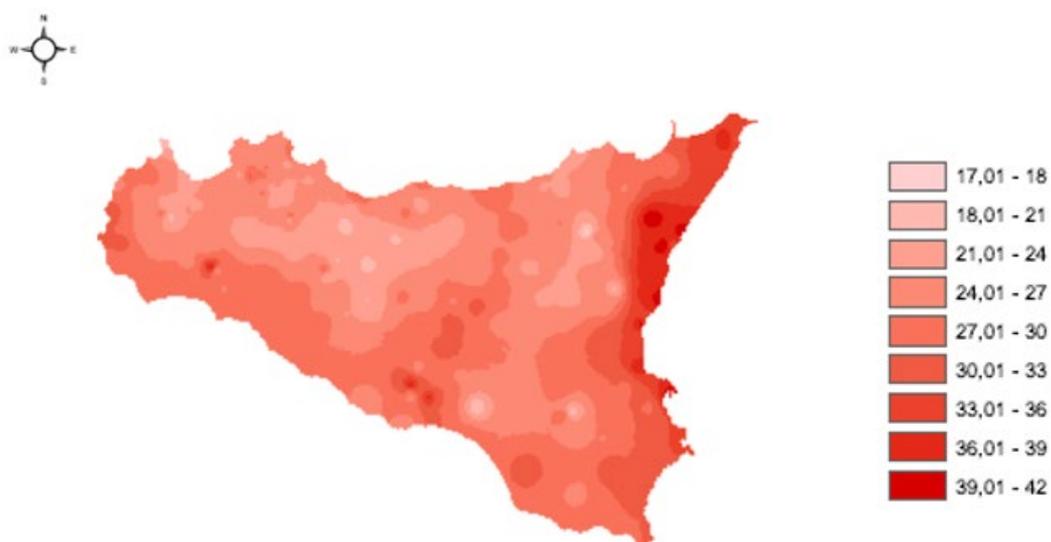


Figura 5: Stralcio della Tavola 4 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. - valori regionali di a



Figura 6: Stralcio della Tavola 5 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. - valori regionali di n

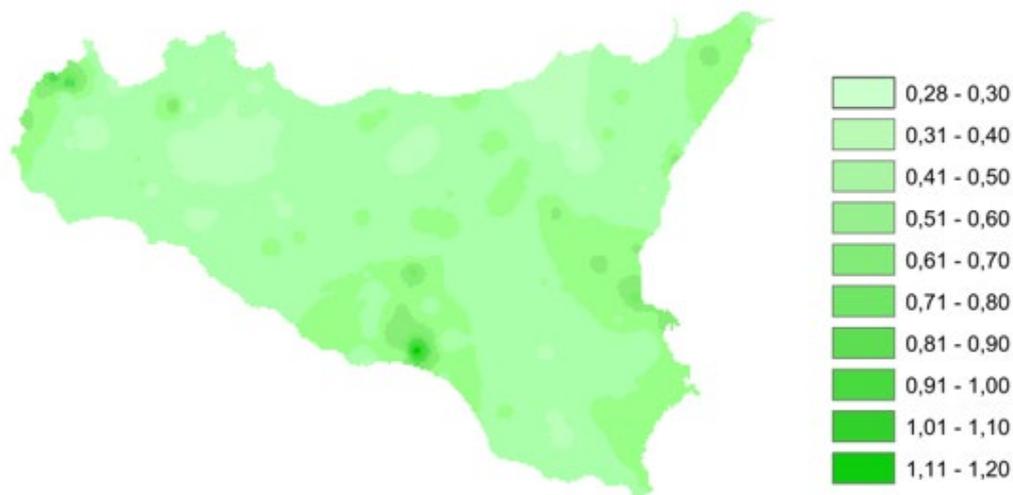


Figura 7: Stralcio della Tavola 5 allegata alla Relazione Generale del P.A.I. - valori regionali di CV

Tavola 3 – Valori di a n e CV ricavati per i bacini interessati nello studio

ID BACINO	Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04
a*	25.317	25.185	25.006	25.161
n	0.247	0.253	0.258	0.256
cv	0.451	0.447	0.436	0.434

Il calcolo delle altezze critiche di pioggia verrà effettuato sulla base dei tempi di corrivazione (determinati nel Capitolo 4) e per coefficienti di crescita $h'(t, Tr)$ corrispondenti ai tempi di ritorno pari a 50 anni, 100 anni 200 anni e 300 anni (indicati dal P.A.I. Sicilia). Si precisa che anche in questo caso si è dovuto procedere al calcolo delle CPP per durate inferiori all'ora, servendosi della seguente formula (Ferreri et Al, bollettino Ordine degli ingegneri di Palermo, 1-2/89)

$$h_{t,T} = h_{60,T} \times 0,208 t^{0.386}$$

Dove t è espresso in minuti.

Sono inoltre stati utilizzati opportuni coefficienti correttivi, assunti sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare il pluviografo di Roma Macao (riportati in "Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani).

Tabella 4 – Coefficienti riduttivi pluviografo di Roma Macao (Calenda et al., 1993)

Durata [minuti]	5	10	15	20	25	30
r_s	0,278	0,435	0,537	0,632	0,709	0,758

Tale metodologia precedentemente descritta permette di calcolare direttamente l'altezza di pioggia critica relativa al tempo di corrivazione di ciascun bacino e per il tempo di ritorno considerato. Di seguito la tabella riepilogativa con le altezze di pioggia calcolate per i bacini studiati.

Tabella 5 – Valori di altezza di pioggia critica relativa al Tc (tempo di corrivazione) per ciascun bacino studiato in [mm]

ID BACINO		Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04
TEMPO DI RITORNO	5	34.74	31.27	33.21	21.73
	50	56.88	51.06	53.84	35.18
	100	63.32	56.81	59.83	39.09
	200	69.73	62.55	65.81	42.99
	300	73.47	65.90	69.30	45.27

5 CALCOLO DEL VALORE DI PORTATA

Il valore della portata massima di piena o di colmo, riferita ad un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione t_c , ed al tempo di ritorno T_r è espresso dalla seguente relazione:

$$Q_{\max}(t_c, T_r) = \varepsilon \times \frac{\varphi(t_c, T_r) \times A x h_{\text{ceff}}(t_c, T_r)}{3,6 x t_c} \text{ (mc/sec)}$$

con:

- $h_{\text{ceff}}(t_c, T_r) = ARF x h_c(t_c, T_r)$: altezza di pioggia critica (mm) del bacino per durata pari al tempo di corrivazione e per diversi tempi di ritorno prescelti;

$h_c(t_c, T_r)$: Altezza critica di pioggia puntuale (mm), ricavata sull'elaborazione media. Nell'utilizzazione del metodo si è assunta una pioggia di durata pari a quella della pioggia critica, che è stata assunta coincidente con il tempo di corrivazione calcolato come detto.

In queste condizioni il valore al colmo della portata risulta:

$$Q_{\text{tot}} = \frac{0.208 * R_0 * S}{t_c}$$

dove:

- R_0 = volume netto di pioggia per unità di superficie (mm);
- S = superficie del bacino (km²);
- T_a = tempo di accumulo (h) rapportato al tempo di corrivazione dalla seguente formula:

$$t_a = \left(0.6 * t_c + \frac{0.133 * t_c}{2} \right)$$

La pioggia critica ottenuta secondo le metodologie illustrate nel paragrafo precedente viene quindi raggugliata all'area tramite il parametro r , secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

- $r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))}$ per $A < 20 \text{ km}^2$
- $r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))}$ per $A > 20 \text{ km}^2$

dove

- d è la durata della precipitazione;
- A è la superficie del bacino (espressa in km²).

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del volume netto di pioggia per unità di superficie R_o :

$$R_o = (h - 0,2 S)^2 / (h + 0,8 S) \text{ (mm)}$$

Dove:

- h = precipitazione meteorica ragguagliata (mm);
- S = valore massimo dell'invaso per infiltrazione (mm).

Il valore S è calcolato dall'equazione:

$$S = 254 \times \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

I valori del parametro di assorbimento CN da inserire nella formula vengono determinati facendo riferimento alla carta del CN costruita sulla base delle informazioni sull'uso suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione. Tali informazioni sono state ricavate analogamente alle precedenti carte su scala regionale per tutta la Sicilia.

Il modello empirico a base fisica Curve Number (CN-SCS) del Soil Conservation Center (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972), assume che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale Q , sia proporzionale a quello netto precipitato P_n , pari al volume lordo precipitato P depurato dall'assorbimento iniziale I_a , in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato W , e un volume specifico S , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno.

$$\frac{Q}{P_n} = \frac{W}{S}$$

con:

- $I_a = 0,2S$;
- $P_n = P - I_a$;
- $W = P - I_a - Q$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Il parametro S dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geolitologica pedologica del terreno nonché l'uso/copertura del suolo. L'effetto combinato di questi fattori viene

rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN ($0 < CN < 100$), legato a S dalla relazione precedente.

Unendo le informazioni provenienti dalla geologia e dalla pedologia si è classificato il bacino in quattro tipi idrologici di suoli, caratterizzati da permeabilità sempre minori:

- **Gruppo A: Sabbie profonde, terriccio marnoso profondo, aggregati limosi e sabbiosi;**
- **Gruppo B: Sabbie argillose, terriccio marnoso sottile;**
- **Gruppo C: Argille sabbiose, suoli poveri di contenuti organici, ricchi di componenti argillose;**
- **Gruppo D: Suoli con tendenza al rigonfiamento, argille plastiche, suoli salini.**

Il valore di CN si ottiene per incrocio fra le caratteristiche idrologiche del suolo secondo i tipi A – B – C – D e le caratteristiche di uso prevalente del suolo.

CN, denominato *Curve Number*, rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso, valori bassi indicano bassa capacità a produrre deflusso superficiale, mentre, alti valori indicano elevata capacità a produrre deflussi, ovvero il bacino invasa poco deflusso.

Incrociando le caratteristiche idrologiche dei suoli con l'uso/copertura si ricavano diverse aree omogenee per caratteristiche idrologiche e copertura del suolo a cui stimare il valore del curve number mediante l'aiuto della letteratura tecnica.

Ulteriore fattore che influenza il CN è rappresentato dalla condizione iniziale in cui si verifica l'evento critico di pioggia.

La letteratura tecnica individua tre condizioni iniziali di seguito definite:

- **Condizione iniziale AMCI (secca) a cui corrisponde il valore CN (I);**
- **Condizione iniziale AMCII (normale) a cui corrisponde il valore CN (II), riportati nelle tabelle presenti in letteratura tecnica;**
- **Condizione iniziale AMCIII (umida), condizione peggiore il cui valore C(III) è amplificato dal fattore correttivo pari a: $F_{III} = 3,4212 - 1,999 \times \log(CN(II))$ "Formula reperita dal Ferro 1993".**

Per il calcolo del valore del Curver Number, in condizioni di umidità standard "CN(II)", si utilizza la Tavola 7 allegata alla Relazione Generale pubblicata dal P.A.I. Sicilia. Tramite l'utilizzo delle griglie si è determinato il valore medio del Curver Number condizione di umidità standard CN(II), in funzione della sua distribuzione areale all'interno del bacino.



Figura 8: Stralcio della Tav.7 allegata alla Relazione Generale del P.A.I, con griglia areale del coefficiente “CN”

Per ogni sottobacino viene quindi incrociato in ambiente GIS il tematismo della carta dei CN con quello della perimetrazione dell’area in esame e definito il valore di CN da utilizzare.

Tabella 6 – Valori di CN per bacino

ID BACINO	Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04
CN II	83.0	83.0	84.0	83.0
CN III	92.0	92.0	92.0	92.0

La stima del tempo di crescita dell’onda di piena è invece ricavata con la seguente formula:

$$t_p = D/2 + t_{lag}$$

dove:

- D=durata della pioggia (h);
- t_{lag} =intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo (h).

si assume:

- $D=0,133 t_c$
- $t_{lag}=0,6 t_c$

quindi

$$t_p = 0,133 / 2 t_c + 0,6 t_c$$

Tabella 7 – Valori di portata massima ricavati per ogni bacino e per i tempi di ritorno indicati.

ID BACINO		Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04
TEMPO DI RITORNO	5	4.71	1.73	3.63	0.33
	50	13.71	5.30	10.20	1.29
	100	16.75	6.53	12.40	1.64
	200	19.92	7.81	14.69	2.02
	300	21.82	8.58	16.07	2.25

6 STUDIO IDRAULICO: NORME GENERALI SULLA COSTRUZIONE DEI MODELLI

La costruzione dei modelli di simulazione idraulica risulta essere necessaria per analizzare l'impatto della portata di progetto sia nella condizione attuale (modello "Stato di Fatto") e sia nella eventuale condizione futura (modello "Stato di Progetto") ovvero con la presenza delle opere in progetto, per verificare che l'eventuale presenza delle stesse possa causare alterazioni del regime idraulico del corso fluviale, si sottolinea che in questo caso non essendoci strutture previste nel reticolo idrografico non ci sarà nessuna valutazione dello "stato di progetto".

6.1 Caratteristiche fisico matematiche dei modelli

I modelli realizzati vengono determinati mediante l'utilizzo di software specifici, che permettono la realizzazione di modelli idraulici fluviali, grazie ai quali vengono determinati i tiranti idrici e quindi le fasce inondabili, nonché permettono di valutare e stimare la capacità di convogliamento del corso fluviale.

Nello specifico la capacità di convogliamento di un corso d'acqua è data dalla capacità dell'alveo inciso, delle aree golenali e dalle aree potenzialmente inondabili.

Il modello idraulico verrà costruito rispettando quanto riportato nel Capitolo 7 della Relazione Generale del P.A.I. (2004) della Regione Sicilia.

Le raccomandazioni dettate dal P.A.I. (2004) della Regione Sicilia, sulle metodologie di input e le leggi idrauliche da adoperare per la costruzione del modello fluviale monodimensionale, permettono di valutare l'effetto della propagazione delle onde di piena, la capacità di convogliamento dell'alveo e le interazioni con manufatti esistenti.

Inoltre, i modelli idraulici giocano un ruolo fondamentale poiché permettono di determinare l'andamento dei livelli idrici associati a differenti condizioni di moto.

La qualità dei modelli idraulici di propagazione monodimensionali utilizzabili sono legati alla qualità della cartografia disponibile alla presenza di rilievi eseguiti in situ lungo il corso d'acqua.

Il modello idraulico monodimensionale di propagazione utilizzato è costruito mediante l'utilizzo dell'HEC-RAS (River Analysis System) sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers.

L'applicazione di tale software permette di ottenere l'andamento dei profili di rigurgito, in condizione di moto stazionario potendo quindi individuare l'entità e l'estensione delle zone di allagamento, sia all'interno dell'alveo che nelle zone contigue, valutando l'influenza di eventuali ponti o di vari ostacoli sul normale deflusso della corrente.

Le ipotesi alla base del modello sono quelle di condizioni di moto permanente unidimensionale.

La soluzione dell'equazione di conservazione dell'energia, ottenuta per iterazione, fornisce l'altezza d'acqua in una assegnata sezione trasversale.

Come condizioni idrauliche al contorno, sono stati utilizzati i valori di critici di colmo ricavati dall'idrogramma di piena al tempo di ritorno di 50, 100, 200 e **300 anni**, ricavati nell'ambito dello studio idrologico come specificato nei paragrafi precedenti.

Gli identificativi dei profili in tutti gli elaborati relativi agli output del modello sono i seguenti:

Tempo di ritorno	Identificativo Profilo di Corrente
5 anni	WS PF 1
50 anni	WS PF 2
100 anni	WS PF 3
200 anni	WS PF 4
300 anni	WS PF 5

Note le condizioni idrauliche al contorno e le caratteristiche morfologiche dei tratti in termini di sezioni trasversali d'alveo ed eventuali sezioni in corrispondenza dei manufatti significativi, la procedura di calcolo individua per ogni sezione i valori massimi raggiunti dai livelli idrici, le velocità, le pendenze, l'energia e le portate.

Nello specifico il confronto tra tali livelli idrici e le quote dei rilievi trasversali permette di evidenziare la capacità di contenimento dei deflussi nelle zone d'alveo inciso e nelle aree golenali oppure la loro fuoriuscita in prossimità di manufatti di contenimento spondale.

Altro obiettivo della modellazione idraulica è quello di **elaborare una mappa delle aree bagnate relativo ad un tempo di ritorno di 5 anni** per identificare tutte quelle zone che non possono essere utilizzate per la realizzazione dell'impianto secondo quanto previsto dal Decreto n. 119 del 09 Maggio 2022³. Inoltre il modello permetterà di verificare gli attraversamenti maggiori da realizzare in tutti i punti di interferenza tra il reticolo idrografico e le strade interne all'impianto per un tempo di ritorno pari a 200 anni⁴.

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante. Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che il deflusso relativo

³ Direttive per la determinazione dell'ampiezza dell'alveo nel caso di sponde incerte (art. 94 del R.D. n.523/1904) e per la determinazione della fascia di pertinenza fluviale da sottoporre alle limitazioni d'uso di cui all'art. 96, lettera f, del R.D. n. 523/1904.

⁴ Par. 5.1.2.3 Compatibilità idraulica DECRETO 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

agli eventi di piena di riferimento siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento senza interessare l'infrastruttura stradale.

6.2 Studio idraulico: Assegnazione della portata di progetto e condizione di moto

Nota la portata massima in progetto si procede alla verifica idraulica dei tratti di corso d'acqua interessati dalle interferenze con l'impianto.

La stima dei parametri idraulici che caratterizzano il deflusso delle portate di piena nei tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio, è stata condotta nell'ipotesi di **moto permanente monodimensionale (portata costante e geometria variabile)**.

La validità del calcolo e stima dei parametri idraulici scaturiti dal modello monodimensionale, in condizioni di moto permanente è subordinata alle seguenti limitazioni del modello:

- ✓ Analisi relativa ad un tratto limitato;
- ✓ Analisi sugli effetti del massimo valore del livello idrico raggiunto durante l'evento di piena ed il corrispondente regime di velocità.

Lo schema monodimensionale in moto permanente, quale modello di propagazione permette di assimilare l'alveo e le fasce di pertinenza fluviale ad un semplice canale a geometria variabile, dove le velocità si mantengono parallele all'asse del corso d'acqua tale adozione è giustificata sia dalla tipologia della linea d'asse del tratto del corso d'acqua in esame e sia dal fatto che le variazioni spazio-temporali della forma delle sezioni sono sufficientemente lente da non violare il vincolo della quasi-unidirezionalità del moto.

Basandosi sul concetto di unidirezionalità del campo di moto, peculiarità dei modelli monodimensionali, la corrente è individuata per mezzo di una coordinata curvilinea x , e le sezioni idriche della corrente si definiscono dalle intersezioni dell'ascissa curvilinea x con piani ad essa ortogonali mentre le grandezze quali velocità, quantità di moto, energia, ecc., sono mediate nei piani ortogonali che identificano le sezioni idriche.

6.3 Studio idraulico: Assetto geometrico, modellazione delle sezioni e condizione al contorno

Per l'acquisizione della geometria del tratto del corso d'acqua in esame si è utilizzato un codice di calcolo largamente utilizzato a livello mondiale, l'HEC-RAS vers. 5.0.5 (Hydrologic Engineering

Service – River Analysis System), distribuito dalla Water Resources Consulting Service per conto dell'US Army Corps of Engineers.

L'HEC-RAS è un programma monodimensionale che pertanto interpreta il tratto d'alveo come se questo fosse un canale pseudo rettilineo; sul quale non è necessario immettere la reale conformazione fluviale, ma è sufficiente inserire le sezioni garantendo la giusta distanza l'una dall'altra.

I passi seguiti nella compilazione plano-altimetrica del modello sono:

1. Importazione del rilievo topografico.
2. Tracciamento dell'asse principale dell'asta fluviale.
3. Inserimento plano-altimetrico delle sezioni provenienti dagli elaborati di progetto;
4. Caratterizzazione e ripartizione delle sezioni rilevata in tre parti Channel, (alveo fluviale comprensivo delle aree golenali e dell'alveo inciso), LOB (area inondabile su sponda sinistra idraulica), ROB (area inondabile in destra idraulica).
5. Individuazione, per ogni sezione rilevata, dei coefficienti di scabrezza o di resistenza idraulica di Manning "n" reperiti dalla tabella di Figura 9, utilizzata dal P.A.I. (2006) per la modellazione idraulica.
 - a. Per la quota parte denominata Channel (alveo inciso e golene) "n" assume il valore pari a $0,07 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$
 - b. Per la quota parte denominata LOB (area inondabile in sinistra idraulica) "n" assume il valore pari $0,035 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$;
6. Per la quota parte denominata ROB (area inondabile in destra idraulica) "n" assume il valore pari $0,035 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$.

APPENDICE C – RISULTATI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE

Valori del coefficiente di scabrezza di Manning (Chow, 1959)

	minimo	normale	massimo
A. CORSI D'ACQUA NATURALI			
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3,5m)</i>			
1. Corsi d'acqua di pianura			
a. Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	0.025	0.030	0.033
b. Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	0.030	0.035	0.040
c. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	0.033	0.040	0.045
d. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	0.035	0.045	0.050
e. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	0.040	0.048	0.055
f. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050	0.060
g. Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080
h. Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100	0.150
2. Aree golenali			
a. A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030	0.050
b. Aree coltivate	0.020	0.035	0.050
c. Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070	0.160
d. Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060	0.120
3. Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene			
a. Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040	0.050
b. Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050	0.070
B. CANALI ARTIFICIALI			
1. Canali in terra lisciata ed uniforme			
a. Puliti, scavata di recente	0.016	0.018	0.020
b. Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022	0.025
c. Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025	0.030
d. Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027	0.033
2. Canali in terra con ondulazioni o irregolari			
a. Senza vegetazione	0.023	0.025	0.030
b. Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030	0.033
c. Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035	0.040
d. Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030	0.035
e. Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035	0.040
f. Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040	0.050
3. Canali scavati o dragati			
a. Senza vegetazione	0.025	0.028	0.033
b. Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050	0.060
4. Canali in roccia			
a. Lisci ed uniformi	0.025	0.035	0.040
b. Frastagliati ed irregolari	0.035	0.040	0.050
5. Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli			
a. Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050	0.080
b. Fondo pulito cespugli sulle sponde	0.045	0.070	0.110
c. Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080	0.120
d. Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100	0.140

Figura 9: Tabella dei valori di scabrezza di Manning (Fonte P.A.I. 2006)

6.4 Studio idraulico: Condizioni idrauliche al contorno

L'individuazione del profilo della corrente è stata effettuata immettendo le informazioni relative alla corrente in regime stazionario a cui associare le relative condizioni al contorno ("boundary conditions").

Per la simulazione idraulica è stato applicato il modello monodimensionale realizzato con HEC-RAS, nell'ipotesi di regime di moto permanente e mixed flow, saranno le caratteristiche del canale a determinare il tipo di regime di moto che si instaura, a cui è necessario abbinare una condizione al contorno che interessi la prima sezione di valle del modello per calcolare i profili di rigurgito.

Nel caso specifico, nel software, mediante il comando "Critical Depth" si impone che altezza del tirante idrico di monte sia pari all'altezza critica raggiungibile dalla corrente nella suddetta sezione, per quanto riguarda le condizioni di valle è stata imposta l'altezza di moto uniforme relativa alla pendenza che il tratto di valle possiede, misurato sul DEM della Regione Sicilia.

Per la costruzione geometrica dei modelli, nella configurazione "Stato di Fatto", si sono reperite le informazioni geometriche dei tratti modellati e delle sezioni dal DEM 2x2 elaborato dalla Regione Sicilia.

6.5 Studio idraulico: Risultati della simulazione idraulica

La simulazione ha permesso di ricavare tutti i parametri necessari a definire e caratterizzare il deflusso nel tratto d'interesse.

Per facilitare la lettura delle tabelle e dei grafici di output del modello riportati nell'elaborato "01.1- Relazione idrologico-idraulica-App Risultati simulazioni SDF" è necessario specificare il significato fisico matematico e geometrico di ogni parametro del modello mediante le seguenti definizioni:

- RS (River Station), numero identificativo della sezione;
- Q total, portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale;
- Min Ch El, quota minima dell'alveo medio principale;
- W.S. Elev, quota del pelo libero;
- Crit W.S, quota corrispondente all'altezza critica del pelo libero;
- E.G. Elev, quota della linea dell'energia per il profilo liquido calcolato;
- E.G. Slope, pendenza della linea dell'energia;
- Vel Chnl, velocità media nell'alveo;
- Flow Area, superficie della sezione di deflusso;
- Top Width, larghezza superficiale della sezione liquida;
- Froude # Chl, numero di Froude;

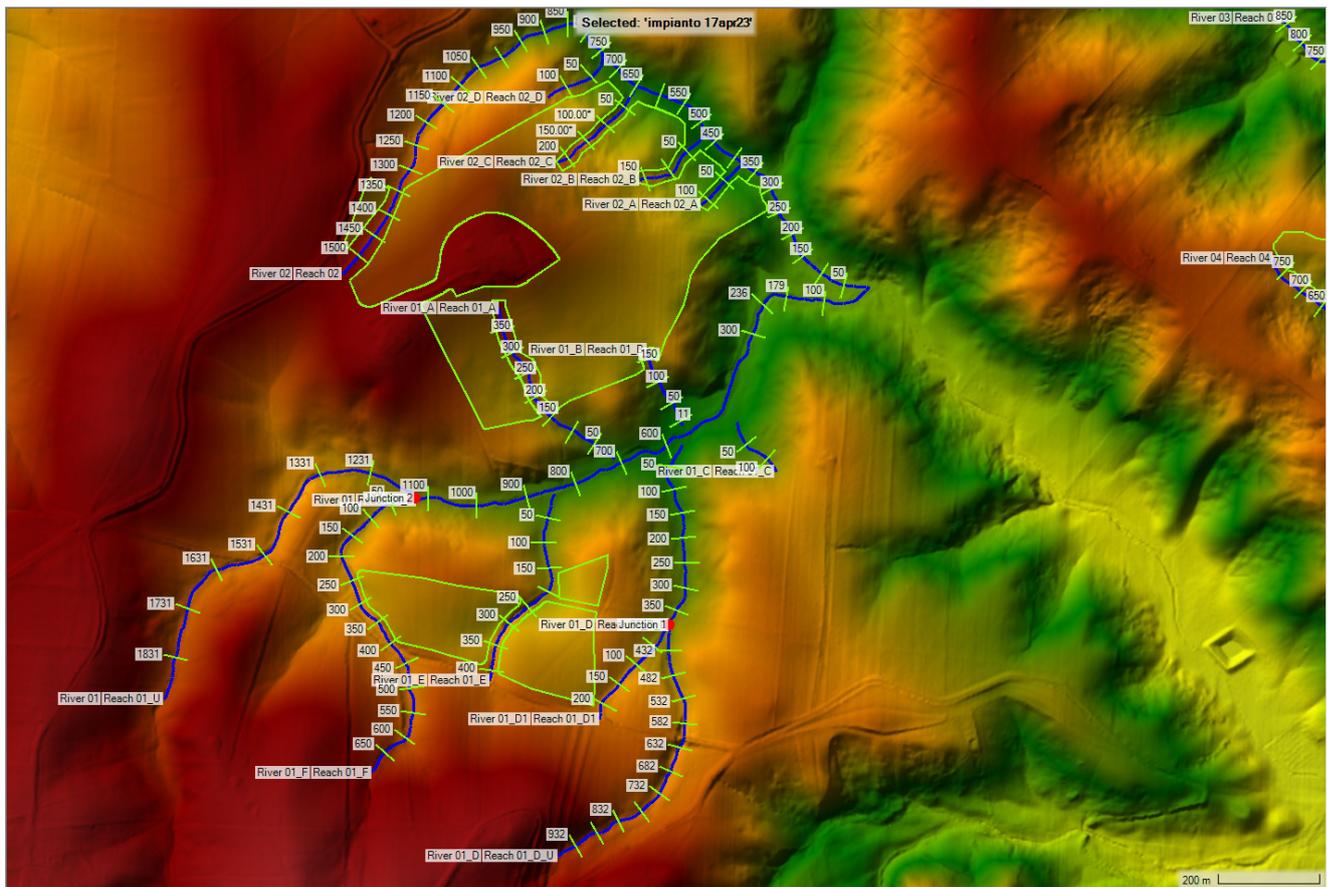


Figura 10: Sovrapposizione del dem con il modello idraulico – in verde l’area dell’impianto – Zona A.

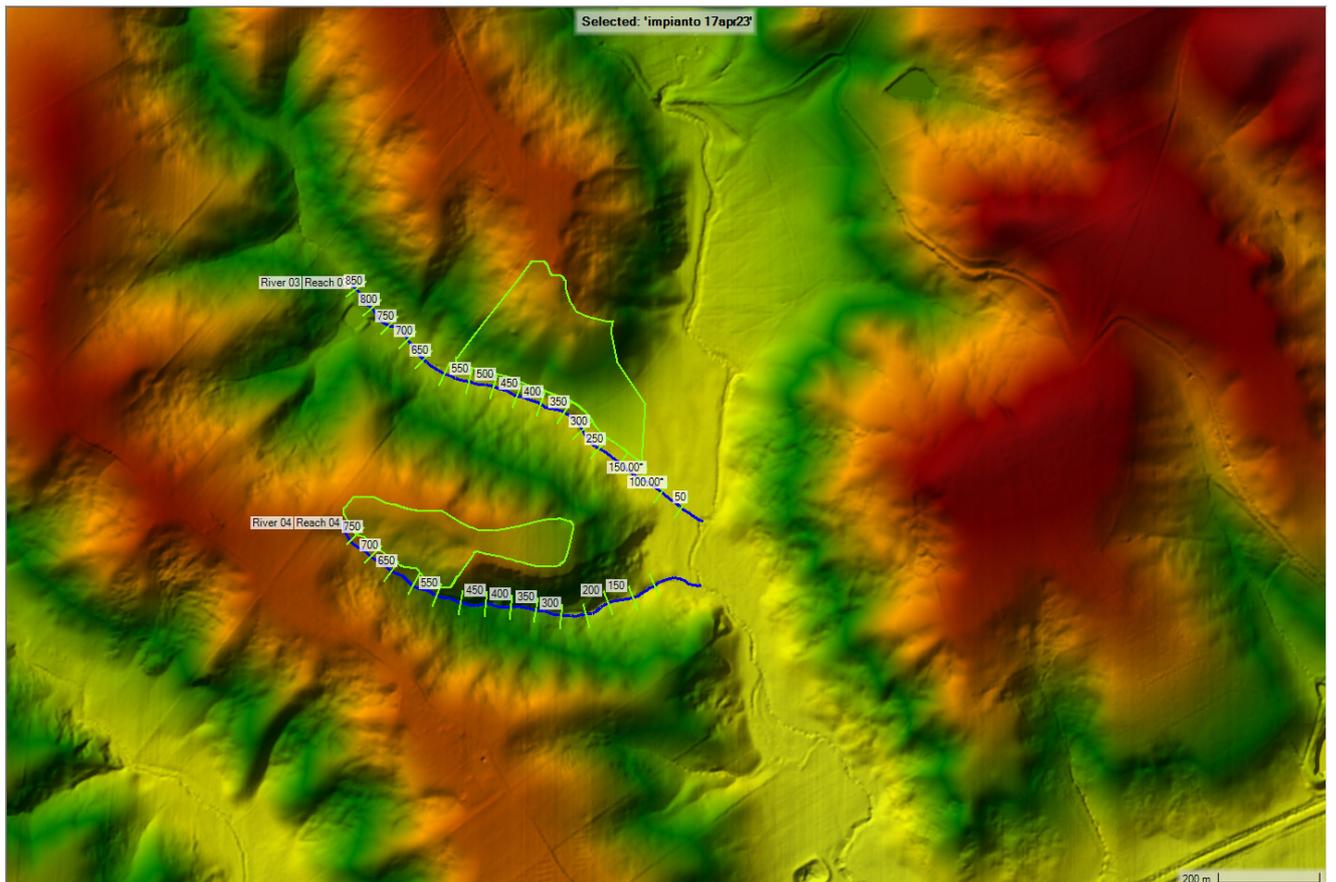


Figura 11: Sovrapposizione del dem con il modello idraulico – in verde l’area dell’impianto – Zona B.



Figura 12: Sovrapposizione dell'ortofoto con il modello idraulico – in verde l'area dell'impianto – Zona A.

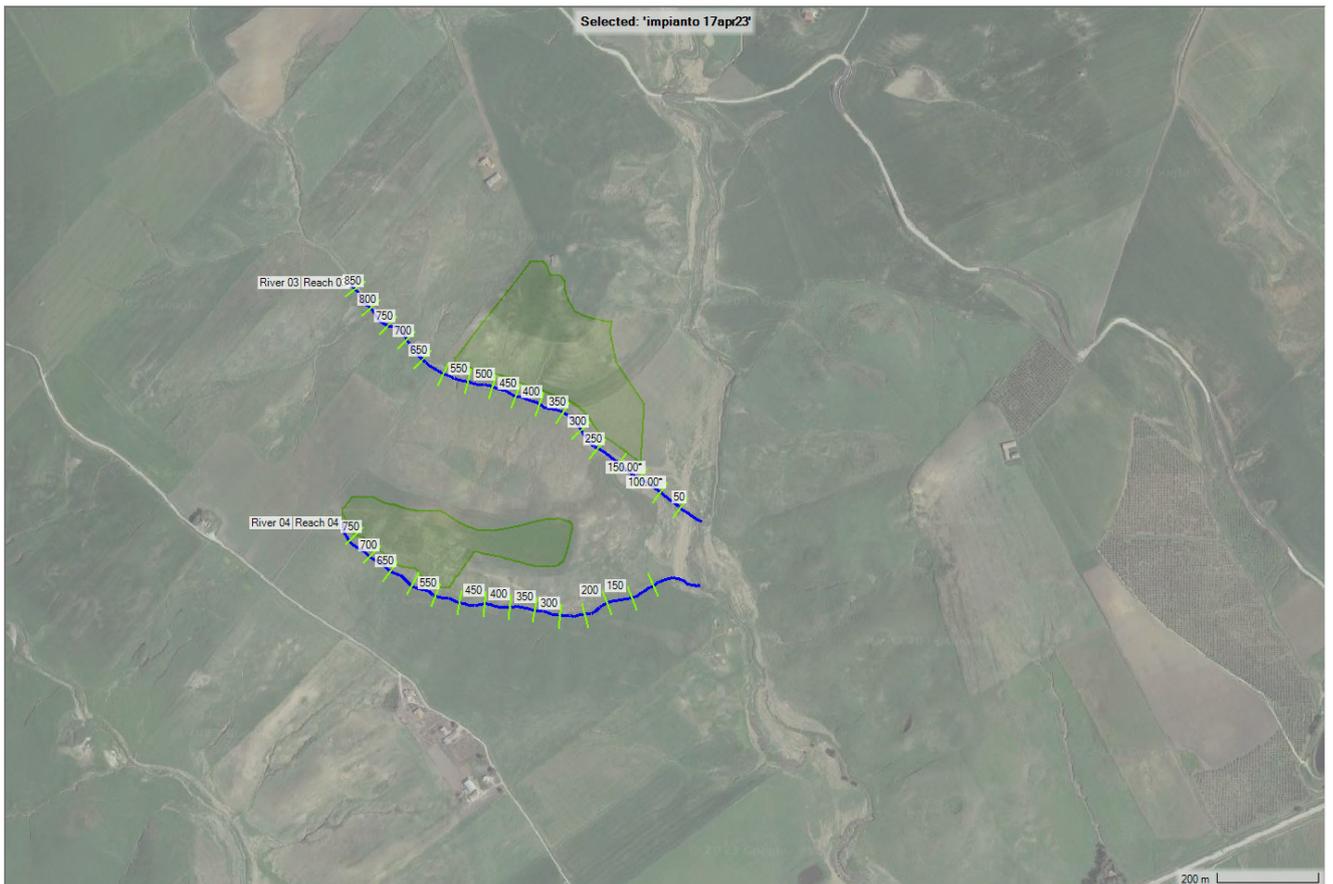


Figura 13: Sovrapposizione dell'ortofoto con il modello idraulico – in verde l'area dell'impianto – Zona B.

Tutte le sezioni sono state ricostruite a partire dal modello digitale del terreno scaricato per l'area oggetto di studio, che è stato utilizzato per la realizzazione del modello attraverso il software RAS- Mapper, applicativo presente in HEC-RAS che permette la creazione di una geometria a partire da un modello digitale del terreno.

Le condizioni idrauliche al contorno imposte sono descritte nei paragrafi precedenti.

In appendice allegata alla presente relazione si riportano tutte le sezioni modellate nello stato di fatto.

Nelle tavole "*Planimetrie dei contorni bagnati*" sono riportati contorni bagnati elaborati per TR 5 anni.

7 STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA

7.1 Premesse

Il presente capitolo riporta lo studio dell'invarianza idraulica richiesto dalla D.D.G. n.102 del 2021 per gli interventi con superficie maggiore di 10.000 m². La valutazione è stata eseguita in accordo all'Allegato 2 "Indirizzi tecnici per la progettazione di misure di invarianza idraulica e idrologica" del citato DDG.

La rete di regimentazione prevista - composta da canali in terra tra di loro interconnessi - aumenta già di per sé il tempo di deflusso verso i corpi ricettori costituiti dall'asta fluviale del bacino di appartenenza della rete stessa, le acque così canalizzate vengono inviate poi in opportune vasche di laminazione distribuite nell'area del bacino, che rilasciando gradualmente i volumi d'acqua al recapito finale forniscono una complessiva decelerazione del deflusso superficiale al recapito finalizzata a garantire il principio dell'invarianza idraulica.

Il calcolo del volume necessario per le vasche di laminazione dei diversi sottobacini è stato condotto secondo quanto previsto al punto A4 del D.D.G. qui citato:

"A.4. Il calcolo del volume di invaso per la laminazione delle acque meteoriche potrà essere sviluppato in via semplificata per aree impermeabilizzate a basso coefficiente di deflusso medio ponderale ($\varphi < 50\%$) adottando il metodo semplificato delle piogge⁵ secondo cui il volume di laminazione è espresso dalla seguente relazione:

$$V_{\max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left(\frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

*dove: V_{\max} il volume di invaso necessario per non superare la portata limite allo scarico (in m³), S superficie (in m²) scolante a monte della vasca/invaso di laminazione, φ coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area drenante, a ed n parametri delle curve di possibilità pluviometrica e Q_{IMP} portata limite ammessa allo scarico (in m³/s) corrispondente ad un coefficiente udometrico pari a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata dall'intervento di urbanizzazione. Tale valore limite è ridotto a 10 l/s*ha qualora lo scarico avvenga all'interno di aree a pericolosità P3 e P4 del P.A.I."*

Il valore del coefficiente di deflusso φ è stato fissato facendo riferimento ai più recenti studi sull'invarianza idraulica ed in particolare alle "Analisi idrologiche-idrauliche per l'applicazione dei criteri dell'invarianza idraulica nel comprensorio del Veneto Orientale, 2012" effettuate dal Consorzio di bonifica Veneto Orientale, che nell'ambito delle attività di verifica di compatibilità

⁵ Si veda il testo: "Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione. CSDU - HOEPLI, Milano, 1997.

condotte nel territorio di competenza - in aggiunta alle categorie previste dalla DGR n. 2948/2009 (Regione Veneto) – hanno stabilito una ulteriore voce relativa ai i **campi fotovoltaici**, prevedendo per questa un **coefficiente di deflusso convenzionale pari a 0,30**.

Tale valore risulta ragionevolmente in accordo con quanto previsto dalla D.D.G. n.102 del 2021: *“Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sarà possibile adoperare una metodologia approfondita basata sulle più diffuse formule dei manuali tecnici di idrologia e idraulica, che tengono in considerazione l’umidità iniziale del terreno (grado di saturazione), la porosità, la pendenza, la copertura vegetale, ecc. (ad es.: metodo del Curve Number, equazione di Horton, metodo Green-Ampton, metodo Kennesey, ecc.). In alternativa, si dovranno utilizzare i seguenti coefficienti ϕ per tipologia di suolo:*

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

Nel calcolo della permeabilità del terreno post intervento di trasformazione andrà considerato l’effetto del rimodellamento delle superfici, anche se non impermeabilizzate, in cui l’effetto di compattazione possa ridurre la permeabilità naturale del suolo.”

Bisogna infatti considerare che i campi fotovoltaici sono costituiti da stringhe di pannelli sopraelevati dal suolo che non ricoprono totalmente tutta la superficie utile a disposizione, lasciando pressoché libero il deflusso delle acque.

In definitiva, **preso atto che le aree non ricoperte dalle stringhe di pannelli dovranno essere oggetto di interventi di mitigazione** (inerbimento, rinzollatura periodica, realizzazione di fasce arboree di rispetto) atte a mantenere inalterata la permeabilità riferita alle condizioni ante operam se non a migliorarla, l’ipotesi assunta è che l’effetto di compattazione del terreno in corrispondenza delle aree dei campi fotovoltaici comporti un incremento del coefficiente di deflusso che da 0,00 passa a 0,30 per dette aree.

L’eventuale perdita di permeabilità dovuta alle trasformazioni d’uso del suolo nella fase post operam e la conseguente variazione della portata defluente verso l’esterno viene compensata mediante la laminazione delle portate, rispettando così il principio di invarianza idraulica.

Il sistema di regimentazione delle acque meteoriche descritto costituito da:

- vasche di laminazione e canali di restituzione è stato dimensionato e verificato per un tempo di ritorno di 30 anni; il dimensionamento dell’invaso ha tenuto conto altresì del

tempo di svuotamento dello stesso, è stato verificato infatti che tale tempo sia per ciascun invaso inferiore alle 48 h al fine di ripristinare la capacità dell'invaso quanto prima possibile rispettando la portata massima ammissibile allo scarico (Q_{IMP})

- rete di canali per la captazione e regimentazione delle acque meteoriche è stato dimensionato e verificato per un tempo di ritorno di 50 anni (cfr. capitolo 8).

È inoltre doveroso precisare che anche la rete di regimentazione delle acque meteoriche è stata studiata ed ampliata in modo tale da non avere un veloce drenaggio verso i corpi ricettori; la rete, costituita da canali in terra tra di loro interconnessi, anziché convogliare le acque direttamente al recapito, costituito dall'asta fluviale del bacino di appartenenza della rete stessa, le invia mediante **un percorso più lungo** rispetto al libero deflusso all'interno del campo in opportune vasche di laminazione distribuite nell'area del bacino, che rilasciando gradualmente i volumi d'acqua al recapito finale, forniscono una complessiva decelerazione del deflusso superficiale al recapito finalizzata a garantire il principio dell'invarianza idraulica.

L'intervento previsto risulta in linea con quanto previsto dal P.A.I. Sicilia (aggiornamento 2021) che al punto C.5.4. dell'Appendice C recita: *“Nel caso di trasformazione dell'uso del suolo che comporti una riduzione della permeabilità superficiale, si dovranno prevedere “interventi in situ” di infiltrazione o di temporanea ritenzione e accumulo (laminazione) delle acque, volti a mantenere invariato il coefficiente udometrico dell'area oggetto d'intervento, preservandone la capacità di scolo e di deflusso ante operam.”*

Il sistema di drenaggio di progetto può essere dunque annoverato tra i “SUDS - Sistemi di drenaggio urbano sostenibile” ossia, secondo la definizione fornita dal DDG 102 del 23/06/2021 del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distretto Idrografico della Sicilia al co. 6 art. 2, *“metodi di gestione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale che replicano i modelli di drenaggio naturali, utilizzando soluzioni economiche a basso impatto ambientale, mediante accumulo, laminazione e infiltrazione, che consentano il lento rilascio nei corpi idrici superficiali (naturali o artificiali), nelle fognature o nelle falde acquifere (infiltrazione). Il volume da destinare alla laminazione e/o all'infiltrazione delle piogge dovrà garantire che la portata allo scarico non ecceda il valore nella situazione ante operam ovvero l'eventuale valore concordato o imposto dall'ente gestore”*, rispettando così quanto predisposto dall'art. 4, dall'Allegato 1 e dall'Allegato 2 del citato DDG 102.

Di seguito viene illustrato il modello di calcolo adottato per la determinazione delle portate ante e post operam e dei volumi da laminare con l'obiettivo di garantire il principio di invarianza idraulica e le ipotesi poste alle base dei su citati calcoli.

7.2 Metodologia di calcolo

Il metodo di calcolo idrologico ed idraulico utilizzato per il dimensionamento del volume di invaso da attribuire a ciascun sottobacino è il “Metodo delle sole piogge” in accordo con l’Allegato 2 paragrafo A punto A.4 del DDG 102 del 23/06/2021 del Segretario Generale dell’Autorità di Bacino Distretto Idrografico della Sicilia.

Il metodo si basa sul confronto tra la curva cumulata delle portate entranti e quella delle portate uscenti, è un modello lineare e stazionario di tipo concettuale (ossia rappresenta in modo schematico e semplificato i fenomeni idrologici ed idraulici implicati nella trasformazione afflussi-deflussi) le cui ipotesi semplificative alla base del modello stesso sono:

- *Ietogramma costante nel tempo;*
- *Perdite idrologiche calcolate con coefficiente di afflusso costante nel tempo;*
- *Portata iniziale nel sistema nulla;*
- *Effetto trascurabile della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante.*

Tale approccio, in forza dell’ultima ipotesi di base, offre valore cautelativi rispetto ad altri modelli di calcolo.

Il volume entrante prodotto dal bacino scolante è dato dalla seguente relazione:

$$W_e = S * \Psi * a * \Theta^n$$

Con

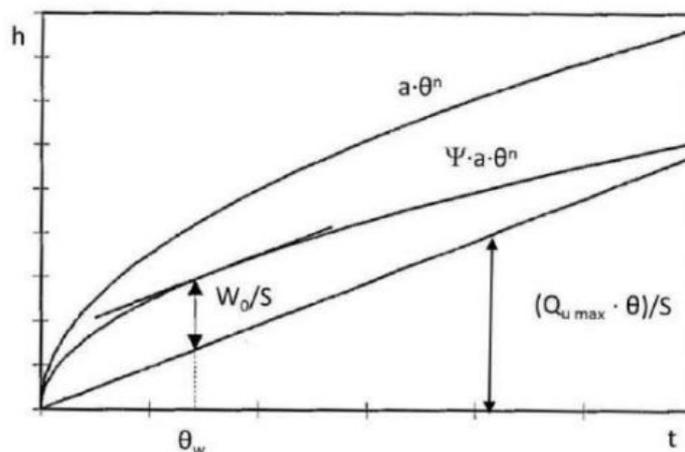
- S = superficie del bacino di riferimento
- Ψ = coefficiente di deflusso post operam
- a, n = coefficienti della curva di possibilità pluviometrica
- Θ = durata critica della pioggia

Il volume uscente dal bacino scolante, in condizione di laminazione ottimale ossia per valori di portata uscente pari alla portata uscente massima, è dato dalla seguente relazione:

$$W_u = Q_{u, \max} * \Theta$$

Il massimo volume da invasare W_0 è dato dalla massima differenza tra le due curve descritte dalle due relazioni, e si può individuare graficamente sul seguente grafico riportando la curva di

possibilità pluviometrica netta ($h_{\text{netta}} = Y \cdot a \cdot Q^n$) e la retta rappresentante il volume uscente dalla vasca ($h_u = (Q_{u,\text{max}} \cdot Q)/S$).



Individuazione grafica dell'evento critico con il metodo delle sole piogge

Per quanto detto si ottiene:

$$W_0 = \Delta_w = h_{\text{netta}} - h_u = \Psi \cdot a \cdot \Theta^n - (Q_{u,\text{max}} \cdot \Theta)/S$$

Derivando rispetto al tempo e considerando le seguenti unità di misura per le diverse grandezze

- S [ha],
- W [m³],
- a [mm/oraⁿ],
- Θ [ore],
- Q [l/s] si ottiene:

$$\theta_w = \left(\frac{Q_{u,\text{max}}}{2.78 \cdot S \cdot \Psi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \Psi \cdot a \cdot \theta_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,\text{max}} \cdot \theta_w$$

Il valore del coefficiente di deflusso di ciascun sottobacino definito come "rapporto tra il volume defluito attraverso una assegnata sezione in un definito intervallo di tempo e il volume meteorico totale precipitato nell'intervallo stesso. Il coefficiente di deflusso viene valutato considerando le caratteristiche di permeabilità e, quindi, di utilizzo, delle diverse superfici presenti in ogni singola area interessata da una trasformazione urbanistica o all'interno di un intero bacino imbrifero drenante. Un alto coefficiente di deflusso, quindi, indica un'elevata impermeabilizzazione potenziale del territorio poiché rappresenta quella aliquota di precipitazione che, in occasione di

un evento di pioggia, scorre in superficie senza infiltrarsi nel suolo”⁶ successivamente all’installazione dell’impianto fotovoltaico è stato imposto pari a 0.3 in base a quanto previsto da studi di settore (cfr. parag. 7.1) e in considerazione - come precedentemente detto - che le aree non ricoperte dalle stringhe di pannelli dovranno essere oggetto di interventi di mitigazione (inerbimento, rinzollatura periodica, realizzazione di fasce arboree di rispetto) atte a mantenere inalterata la permeabilità riferita alle condizioni ante operam se non a migliorarla.

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei valori dei parametri a ed n della CPP per tempo di ritorno di 30 anni di ciascun bacino sviluppati seguendo la medesima metodologia descritta nei paragrafi 2, 3 e 4.

	B_ID01	B_ID02	B_ID03	B_ID04
$a(\text{TR30})^*r$	47.66	47.81	46.52	47.50
n	0.247	0.253	0.258	0.256

7.2.1 Calcolo dei volumi di laminazione

In conformità a quanto previsto dall’Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021 sono stati determinati i coefficienti di deflusso ponderale, le portate limite ammesse allo scarico Q_{IMP} e sono stati definiti i volumi di laminazione necessari. Nel presente paragrafo seguendo il modello di calcolo esposto al paragrafo 7.2, in conformità al punto A4 del DDG sono determinati i volumi di laminazione necessari a compensare l’aumento di permeabilità del suolo.

La tabella seguente riporta i parametri necessari per il calcolo del volume di laminazione complessivo (V_{lam}) associato al campo fotovoltaico i -esimo ricadente nel bacino j -esimo ottenuto utilizzando il “Metodo delle sole piogge” precedentemente descritto, ed in particolare:

- **LAM_jj_ii** Vasca di laminazione i -esima associata al campo fotovoltaico ricadente nel bacino j -esimo;
- **a [mm/h ^{n}] ed n [-]** parametri della curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno di 30 anni (cfr. paragr. 6);
- **S_{fv} [km²]** superficie del campo fotovoltaico i -esimo ricadente nel bacino j -esimo;
- **φ** coefficiente di deflusso medio ponderato del campo fotovoltaico i -esimo, imposto pari a 0.3;
- **U [l/s/ha]** coefficiente udometrico secondo DDG. n.102 imposto pari a 20 [l/s/ha];
- **Q_{IMP} [m³/h]** portata limite ammessa allo scarico nel corpo riceettore j -esimo attribuita al campo fotovoltaico i -esimo;
- **V_{lam} [m³]** volume di laminazione ottenuto applicando il metodo delle sole piogge;

⁶ Art. 2 co. 1 **DDG 102 del 23/06/2021** del Segretario Generale dell’Autorità di Bacino Distretto Idrografico della Sicilia

Calcolo volume di laminazione (TR 30 anni)							
ID_BACINO	a	n	S _{fv}	φ	U	Q _{IMP}	V _{lam}
INVASO	[mm/h ⁿ]	[-]	[km ²]		[l/s/ha]	[m ³ /h]	m ³
B_ID02							
L_ID02_1	47.81	0.25	0.036	0.3	20	260.1	306.9
L_ID02_2	47.81	0.25	0.033	0.3	20	236.8	279.4
L_ID02_3a	47.81	0.25	0.021	0.3	20	149.1	175.9
L_ID02_3b	47.81	0.25	0.021	0.3	20	149.1	175.9
L_ID02_3c	47.81	0.25	0.021	0.3	20	149.1	175.9
TOT	47.81	0.25	0.131	0.3	20	944.2	1114.0
B_ID01							
L_ID01_1	47.66	0.25	0.013	0.3	20	94.1	111.4
L_ID01_2	47.66	0.25	0.017	0.3	20	124.9	147.9
L_ID01_3	47.66	0.25	0.025	0.3	20	180.3	213.4
L_ID01_4	47.66	0.25	0.005	0.3	20	34.2	40.5
L_ID01_5	47.66	0.25	0.026	0.3	20	188.7	223.4
L_ID01_6	47.66	0.25	0.024	0.3	20	175.8	208.1
L_ID01_7	47.66	0.25	0.023	0.3	20	166.9	197.6
L_ID01_8	47.66	0.25	0.026	0.3	20	186.0	220.2
TOT	47.66	0.25	0.160	0.3	20	1150.9	1362.5
B_ID04							
L_ID04_1	47.50	0.26	0.023	0.3	20	167.0	194.6
L_ID04_2	47.50	0.26	0.011	0.3	20	82.4	96.0
TOT	47.50	0.26	0.035	0.3	20	249.3	290.6
B_ID03							
L_ID03_1	46.52	0.26	0.056	0.3	20	406.5	459.5
TOT	46.52	0.26	0.056	0.3	20	406.5	459.5
TOTALE			0.382				3227

In definitiva si ottiene che per l'area oggetto di intervento il Volume di laminazione necessario per un tempo di ritorno di 30 anni è pari a **3227 m³**.

Detto volume è diviso in diverse vasche di laminazione distribuite all'interno dell'area dell'impianto fotovoltaico.

7.3 La vasca di laminazione

Il volume di laminazione ottenuto (con TR 30 anni) per ciascun bacino è stato suddiviso in più vasche opportunamente posizionate all'interno del bacino stesso.

Tali vasche sono progettate in analogia a quanto previsto al paragrafo B tipo B.1 del DDG 102 del 23/06/2021 del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distretto Idrografico della Sicilia.



Le vasche di laminazione saranno realizzate in terra con sponde inclinate (rapporto H/L=2/3), con un franco di 50 cm e con un volume morto con altezza di 50 cm.

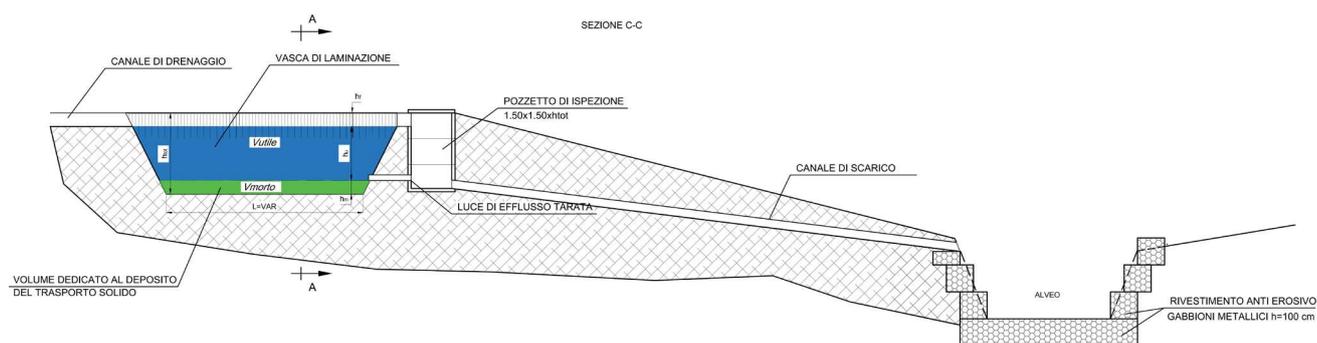


Figura 14 sezione tipo vasca di laminazione

Al fine di limitare il trasporto solido al corpo recettore il fondo della vasca sarà ribassato di 50 cm rispetto alla luce di fondo tarata, così facendo si ottiene un “volume morto” aggiuntivo rispetto al volume di laminazione dove, a causa della presenza della presa di scarico ad una quota superiore, il materiale in sospensione tenderà a depositarsi.

La realizzazione del fondo ribassato della vasca ha il duplice vantaggio di limitare il trasporto solido in alveo e di ridurre i rischi di occlusione della luce di fondo.

Al fine di garantire l'efficienza del sistema, il volume morto andrà, secondo quanto riportato nel piano di manutenzione, periodicamente ripulito asportando i sedimenti ricostituendo così il volume disponibile per l'accumulo degli stessi.

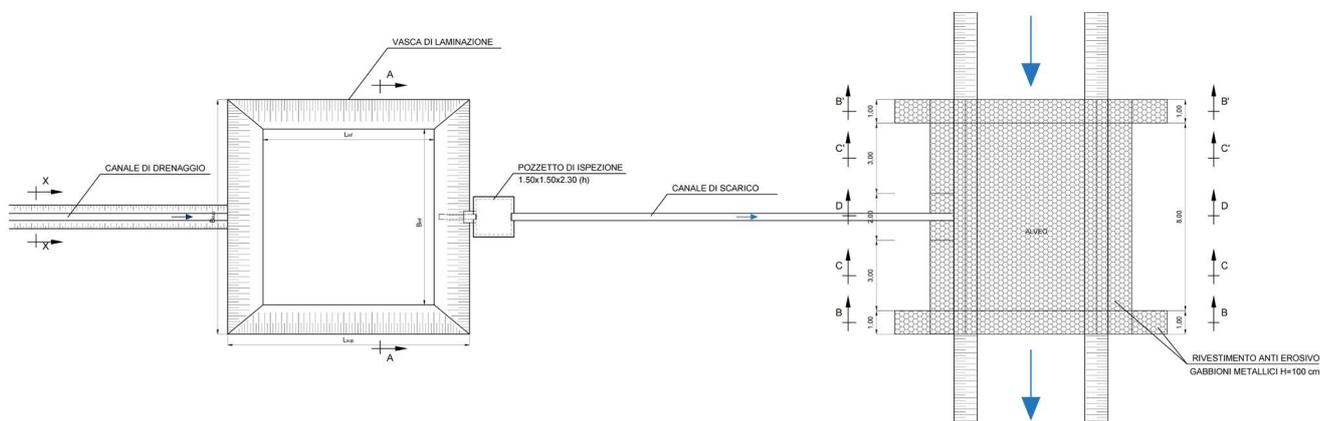


Figura 15 sezione tipo vasca di laminazione

La vasca di laminazione è poi collegata ad un pozzetto di ispezione mediante la luce di fondo tarata e mediante lo scarico di superficie.

Dal pozzetto di scarico parte il canale di scarico che convoglierà le acque laminate in alveo.

Le luci di fondo di ogni vasca di laminazione, nel rispetto della DSG 102/2021 sono state dimensionate in modo tale da limitare la portata ad un valore inferiore/uguale alla rispettiva portata al colmo Q_{IMP} ("corrispondente ad un coefficiente udometrico pari a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata dall'intervento di urbanizzazione" cfr.DDG) e da garantire lo svuotamento della vasca entro un tempo massimo di 48 h.

Al fine di evitare fenomeni erosivi in corrispondenza del punto di scarico si prevede di realizzare una protezione dell'alveo in gabbioni e materassi.

La protezione prevede la posa sul fondo di materassi tipo reno e di gabbionate lungo le sponde, intervento a monte e a valle sarà chiuso con una fila di gabbioni sul fondo e gabbioni disposti in senso trasversale lungo le sponde.

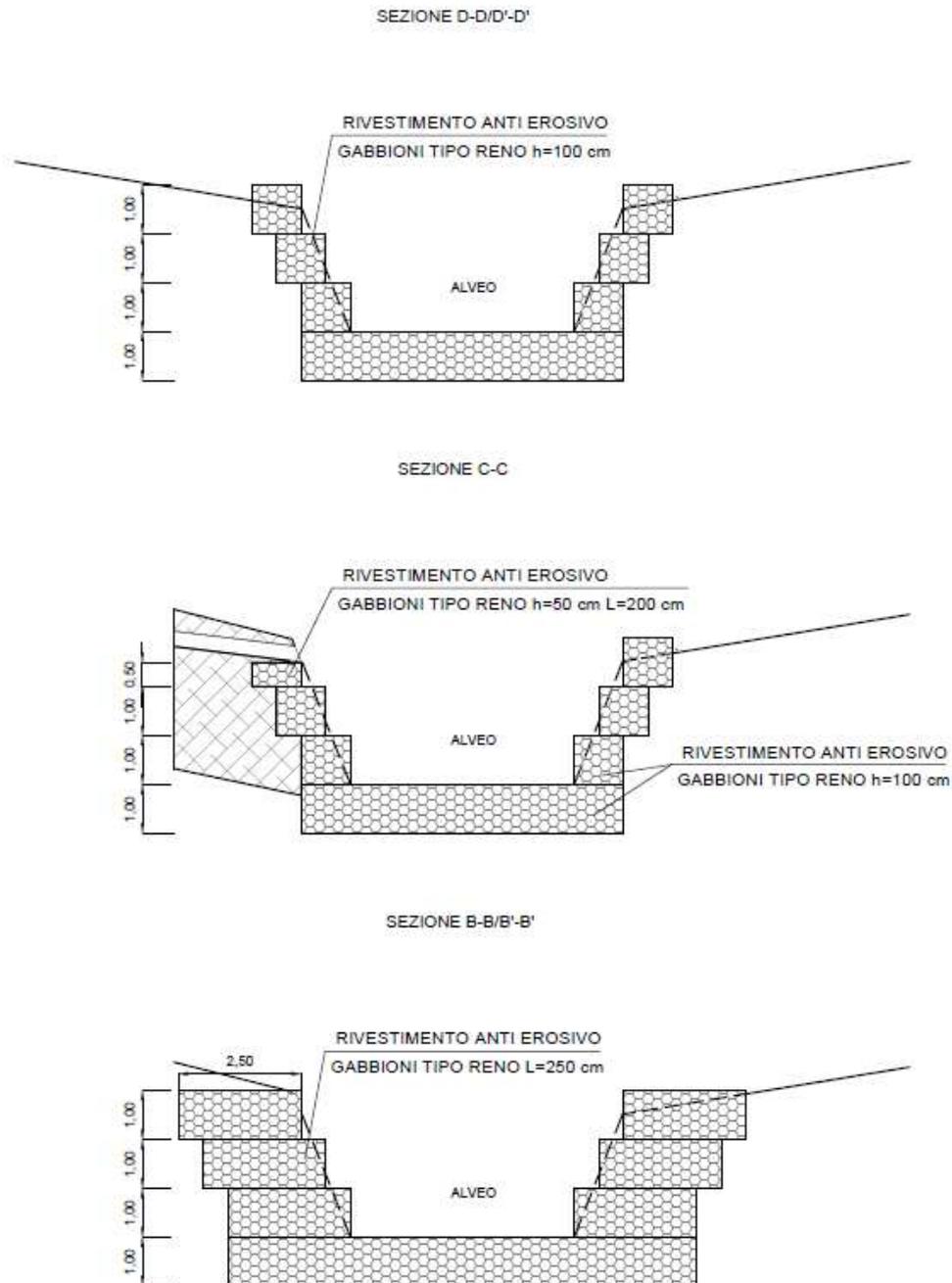


Figura 16 sezione tipo protezione alveo in corrispondenza dello scarico

La tabella seguente riporta per ogni bacino ID;

- **L_ID_xx_yyy** codice identificativo della vasca di laminazione del bacino ID_xx
- **V_{lam} [m³]** volume di laminazione ottenuto applicando il metodo delle sole piogge;
- **L_{inf}, B_{inf} [m]** dimensioni in pianta del fondo delle vasche con base rettangolare;

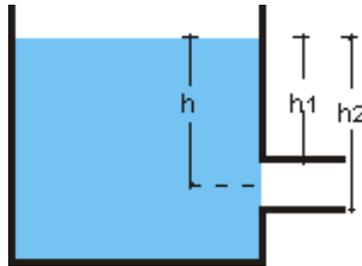
- **scarpa** rapporto H/L della scarpa delle sponde;
- **h_{tot} [m]** altezza totale della vasca;
- **h_m [m]** altezza del volume morto;
- **h_f [m]** altezza del franco idraulico;
- **L_{sup}, B_{sup} [m]** dimensioni delle vasche con base rettangolare in corrispondenza di h_{tot} (ingombro);
- **S_{inf} [m²]** superficie di base della vasca;
- **S_{morto} [m²]** superficie della vasca a quota h_m ;
- **S'_{utile} [m²]** superficie della vasca a quota $h_{tot} - h_f$;
- **S'_{sup} [m²]** superficie della vasca a quota h_{tot} ;
- **V_{lordo} [m³]** volume della vasca con altezza pari ad $h_{tot} - h_f$;
- **V_{morto} [m³]** volume della vasca con altezza pari a h_m ;
- **$V_{utile\ eff}$ [m³]** Volume utile della vasca (ottenuto come differenza tra V_{lordo} e V_{morto});
- **incremento** incremento percentuale del volume ottenuto rispetto al volume di calcolo

DIMENSIONI VASCHE DI LAMINAZIONE

ID_Bacino	V _{lam}	L _{inf}	B _{inf}	scarpa	htot	h morto	h franco	L _{sup}	B _{sup}	S _{inf}	S _{morto}	S' _{Utile}	S' _{sup}	V _{lordo}	V _{morto}	V _{utile eff}	incred
Invaso	m ³	m	m	m/m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ³	m ³	m ³	%
B_ID02																	
L_ID02_1	306.9	6.0	31.0	2/3	2.0	0.5	0.5	12.0	37.0	186.0	243.8	372.8	444.0	419.1	107.4	311.6	2%
L_ID02_2	279.4	6.0	27.5	2/3	2.0	0.5	0.5	12.0	33.5	165.0	217.5	336.0	402.0	375.8	95.6	280.1	0%
L_ID02_3a	175.9	3.0	25.5	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	31.5	76.5	121.5	225.0	283.5	226.1	49.5	176.6	0%
L_ID02_3b	175.9	3.0	25.5	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	31.5	76.5	121.5	225.0	283.5	226.1	49.5	176.6	0%
L_ID02_3c	175.9	3.0	25.5	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	31.5	76.5	121.5	225.0	283.5	226.1	49.5	176.6	0%
TOT	1 114.0															1121.6	1%
B_ID01																	
L_ID01_1	111.4	3.0	15.0	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	21.0	45.0	74.3	146.3	189.0	143.4	29.8	113.6	2%
L_ID01_2	147.9	3.0	21.0	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	27.0	63.0	101.3	191.3	243.0	190.7	41.1	149.6	1%
L_ID01_3	213.4	3.0	32.0	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	38.0	96.0	150.8	273.8	342.0	277.3	61.7	215.6	1%
L_ID01_4	40.5	3.0	3.0	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	9.0	9.0	20.3	56.3	81.0	48.9	7.3	41.6	3%
L_ID01_5	223.4	5.5	22.5	2/3	2.0	0.5	0.5	11.5	28.5	123.8	168.0	270.0	327.8	295.3	72.9	222.4	0%
L_ID01_6	208.1	5.5	22.5	2/3	2.0	0.5	0.5	11.5	28.5	123.8	168.0	270.0	327.8	295.3	72.9	222.4	7%
L_ID01_7	197.6	5.0	21.0	2/3	2.0	0.5	0.5	11.0	27.0	105.0	146.3	242.3	297.0	260.4	62.8	197.6	0%
L_ID01_8	220.2	3.0	33.0	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	39.0	99.0	155.3	281.3	351.0	285.2	63.6	221.6	1%
TOT	1 362.5															1384.5	2%
B_ID04																	
L_ID04_1	194.6	3.0	28.5	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	34.5	85.5	135.0	247.5	310.5	249.8	55.1	194.6	0%
L_ID04_2	96.0	3.0	12.0	2/3	2.0	0.5	0.5	9.0	18.0	36.0	60.8	123.8	162.0	119.8	24.2	95.6	0%
TOT	290.6															290.3	0%
B_ID03																	
L_ID03_1	459.5	11.0	30.0	2/3	2.0	0.5	0.5	17.0	36.0	330.0	393.8	534.8	612.0	648.6	180.9	467.6	2%
TOT	459.5															467.6	2%
TOTALE	3227															3264	1%

Il volume di laminazione effettivamente ottenuto pari a 3264 m³ risulta dunque maggiorato dell' 1% rispetto al volume di laminazione (V_{lam}) di 3227 m³ necessario a garantire il rispetto del principio dell'invarianza idraulica.

Il dimensionamento della luce di efflusso è stato effettuato considerando lo schema di luce sottobattente con tubo addizionale esterno secondo lo schema riportato in figura



Sotto dette ipotesi la portata è calcolata con la seguente formula

$$Q = cS\sqrt{2gh}$$

essendo

- C coefficiente di efflusso (0,82)
- S sezione della luce di efflusso [m²]
- h carico sulla luce [m]
- g accelerazione di gravità [9.81 m/s²]

Il dimensionamento della luce di fondo di ciascuna vasca di laminazione garantisce lo scarico controllato nel rispetto della portata fissata ($Q_{\text{fondo}} \leq Q_{\text{IMP}}$), inoltre è stato verificato che il tempo di svuotamento delle vasche è inferiore alle 48 ore.

La tabella seguente riporta i parametri principali che intervengono nel calcolo della luce della condotta di scarico di ogni vasca di laminazione e più precisamente:

- **L_ID_xx_yyy** codice identificativo della vasca di laminazione del bacino ID_xx
- **Di [mm]** diametro interno della luce di fondo;
- **Q_{imp} [l/s]** Portata limite ammessa allo scarico (data dal prodotto tra l'area sottesa alla vasca [ha] ed il coefficiente udometrico imposto pari a 20 [l/s/ha]);

- **Q_{fondo} [l/s]** portata uscente dalla vasca ($\leq Q_{IMP}$);
- **dQ [l/s]** Differenza tra Q_{IMP} e Q_{fondo} ;
- **T [ore]** Tempo di svuotamento del volume utile della vasca di laminazione.

ID_Bacino	Di	Q _{IMP}	Q _{fondo}	dQ	T
Invaso	mm	l/s	l/s	l/s	ore
B_ID02					
L_ID02_1	100.0	72.3	27.8	44.5	4.8
L_ID02_2	100.0	65.8	27.8	38.0	4.3
L_ID02_3a	100.0	41.4	27.8	13.6	2.7
L_ID02_3b	100.0	41.4	27.8	13.6	2.7
L_ID02_3c	100.0	41.4	27.8	13.6	2.7
B_ID01					
L_ID01_1	90.0	26.1	22.6	3.6	2.2
L_ID01_2	110.0	34.7	33.6	1.1	1.9
L_ID01_3	120.0	50.1	39.8	10.3	2.3
L_ID01_4	60.0	9.5	10.1	-0.6	1.8
L_ID01_5	120.0	52.4	39.8	12.6	2.4
L_ID01_6	90.0	48.8	22.6	26.3	4.2
L_ID01_7	90.0	46.4	22.6	23.8	3.8
L_ID01_8	90.0	51.7	22.6	29.1	4.2
B_ID04					
L_ID04_1	120.0	46.4	39.8	6.6	2.1
L_ID04_2	90.0	22.9	22.6	0.3	1.8
B_ID03					
L_ID03_1	110.0	112.9	33.6	79.4	6.0

7.4 Misure compensative in considerazione della compattazione e conseguente decadimento delle permeabilità del suolo, a seguito della nuova destinazione, con impatto su suolo e sottosuolo

Sono previsti diversi interventi di mitigazione atti a limitare il decadimento della permeabilità del suolo che in uno con il sistema di drenaggio e laminazione delle portate potranno garantire l'equilibrio idraulico ed idrologico delle aree interessate dall'intervento ante e post operam.

Gli interventi di mitigazione ambientale naturale previsti sono:

- l'inerbimento delle superfici occupate dai pannelli fotovoltaici,

- la realizzazione di fasce arboree e arbustive lungo il perimetro dei campi fotovoltaici;
- la rinzellatura periodica delle aree.

Gli interventi previsti, descritti nella relazione agronomica alla quale si rimanda per ogni dettaglio, sono tutti volti al mantenimento delle condizioni naturali preesistenti alla esecuzione delle opere, in particolare detti interventi potranno ridurre a valori assolutamente trascurabili i fenomeni di:

- riduzione della ritenuta idrica e dell'evapotraspirazione;
- riduzione della infiltrazione efficace;
- aumento dello scorrimento superficiale (runoff), con conseguente aumento dell'erosione del suolo,

In relazione alla paventata riduzione dei tempi di corrivazione delle acque superficiali si evidenzia che i percorsi idraulici della rete di drenaggio sono progettati in modo tale da non ridurli.

8 RETE DI CAPTAZIONE E REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI

È stato sviluppato lo studio di dettaglio della rete di captazione e regimentazione delle acque superficiali.

L'intero campo fotovoltaico è suddiviso in zone delimitate da strade di accesso e/o servizio. La realizzazione del campo in sé non modifica l'orografia del territorio, solamente le strade di accesso possono interferire con il libero deflusso delle acque di ruscellamento. A tal fine è stata progettata una fitta rete di drenaggio atta sia a proteggere le strade che a convogliare le acque meteoriche in maniera distribuita nei corpi idrici ricettori evitando fenomeni di dilavamento e recapiti concentrati in alveo che possano modificare l'equilibrio idrodinamico preesistente del corso d'acqua.

Si precisa che all'interno delle aree dove sono disposti i pannelli i fenomeni di dilavamento saranno altresì limitati dal fatto che la vegetazione spontanea stagionale sarà regolarmente falciata senza essere asportata aumentando così la protezione e l'adsorbimento della coltre di terreno superficiale riducendo quindi anche i fenomeni di dilavamento.

Tutta la rete di captazione e regimentazione delle acque sarà realizzata mediante fossi di guardia a sezione trapezia in terra. La scelta della sezione trapezia (cfr. fig.17) per i canali è dovuta alla facilità di realizzazione operativa mediante l'utilizzo di piccoli mezzi meccanici ed a impatto nullo.

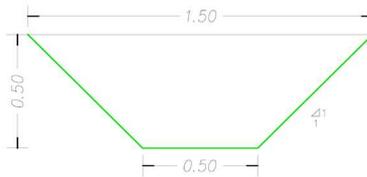


Figura 17: Sezione tipo canaletta di raccolta acque piovane

In corrispondenza di tutte le strade interne gli attraversamenti saranno realizzati in guado, semplicemente riducendo la pendenza delle sponde del fosso di guardia al fine di garantirne la carrabilità. Le sponde a minor pendenza in corrispondenza del guado saranno opportunamente raccordate a monte e a valle con le sponde del fosso di guardia.

In corrispondenza delle strade perimetrali dei campi gli attraversamenti dei fossi di guardia saranno realizzati mediante posa di condotte in C.A.V. (cfr. Sezioni tipo attraversamenti rete di regimentazione).

La rete idraulica di regimentazione è stata verificata idraulicamente sotto l'ipotesi – cautelativa – di moto permanente uniforme utilizzando l'equazione di Chezy.

Inoltre la verifica è stata condotta considerando la compresenza delle due situazioni idrauliche più svantaggiose: portata massima (con tempo di ritorno di 50 anni) e pendenza minima.

Si precisa che il territorio in oggetto non è caratterizzato da forte acclività, le canalette di drenaggio al fine di aumentare i percorsi ed i tempi di corrivazione, dove possibile camminano trasversalmente alle isoipse con una pendenza minore rispetto alla linea di massima pendenza. Per la rete in progetto si è scelta una pendenza minima pari a 0.5%.

La portata di calcolo è calcolata come prodotto tra l'area del campo ed il coefficiente udometrico relativo al tempo di ritorno di 50 anni del bacino (B_{IDxx}) in cui ricade il campo stesso.

Si nota che il tempo di ritorno utilizzato per la determinazione delle portate è da ritenersi assolutamente cautelativo in relazione alla prevista vita utile dell'impianto fotovoltaico.

È doveroso precisare che siffatta rete costituisce inoltre un ulteriore volume disponibile per la laminazione. Considerando l'intero sviluppo delle canalette (5.56 km, come detto a sezione trapezia) si stima un volume potenziale di 2783 m³ (si ricorda che volume utile effettivo realizzato con le vasche di laminazione pari a 3264 m³ ed il volume calcolato necessario alla laminazione è pari a 3227 m³).

La tabella seguente riporta:

- i dati identificativi del bacino principale: id, coefficiente udometrico con tempo di ritorno 50 anni,
- i dati peculiari del sottobacino: id, area dei pannelli sottesa alla vasca di laminazione e portata,
- i dati caratteristici del tratto di controllo: tipologia di sezione (altezza H, larghezza in testa B), riempimento percentuale (h/H), tirante di scorrimento (h), velocità,
- la pendenza minima di progetto
- il coefficiente di Strickler Ks scelto in funzione della tipologia di realizzazione del canale (in terra nel caso in esame).

VERIFICA SUFFICIENZA IDRAULICA DELLE CANALETTE										
Bacino	S _{tot}	U (Tr 50)	Q	p min	K _{Sr}	H sez	riemp	B	h defl	Velocità
COD	ha	l/s/ha	l/s	%		cm	h/H	m	cm	m/s
B_ID02										
ID02_1	3.6	66.5	240.2	0.5%	40	50	0.64	1.5	32	0.9
ID02_2	3.3	66.5	218.7	0.5%	40	50	0.61	1.5	30	0.9
ID02_3a	2.1	66.5	137.7	0.5%	40	50	0.47	1.5	24	0.8
ID02_3b	2.1	66.5	137.7	0.5%	40	50	0.47	1.5	24	0.8
ID02_3c	2.1	66.5	137.7	0.5%	40	50	0.47	1.5	24	0.8
B_ID01										
ID01_1	1.3	53.6	70.0	0.5%	40	50	0.32	1.5	16	0.7
ID01_2	1.7	53.6	92.9	0.5%	40	50	0.38	1.5	19	0.7
ID01_3	2.5	53.6	134.1	0.5%	40	50	0.46	1.5	23	0.8
ID01_4	0.5	53.6	25.5	0.5%	40	50	0.18	1.5	9	0.5
ID01_5	2.6	53.6	140.3	0.5%	40	50	0.48	1.5	24	0.8
ID01_6	2.4	53.6	130.8	0.5%	40	50	0.46	1.5	23	0.8
ID01_7	2.3	53.6	124.1	0.5%	40	50	0.45	1.5	22	0.8
ID01_8	2.6	53.6	138.4	0.5%	40	50	0.47	1.5	24	0.8
B_ID04										
B02.1	2.3	64.2	148.9	0.5%	40	50	0.49	1.5	25	0.8
B02.2	1.1	64.2	73.5	0.5%	40	50	0.33	1.5	17	0.7
B_ID03										
B03.1	5.6	57.5	324.7	0.5%	40	50	0.75	1.5	37	1.0

9 ASSEVERAZIONE

SI ASSEVERA

che il Progetto per la

*"Realizzazione di un impianto agro fotovoltaico in "C.da Trenta" nel comune di Monreale (PA)
della potenza di 40 MW in immissione"*

è stato redatto nel rispetto dei principi di invarianza idraulica e idrologica, in ottemperanza a quanto disposto dal Decreto Dirigente Regione Sicilia del 23/06/2021 n. 102 e dall'art. 11 delle N.d.A. del P.A.I Sicilia (aggiornamento 2021); che le opere di invarianza idraulica e idrologica progettate garantiscono lo smaltimento dei volumi di acqua eccedenti tra la fase ante operam e post operam, ammissibile dal corpo idrico ricettore; che i volumi infiltrati nel suolo dalle opere realizzate è compatibile con le condizioni idrogeologiche locali. Infine, il raggiungimento di tutti gli obiettivi in questa sede prefissati per la tutela ambientale, sarà tutelato e salvaguardato dal MONITORAGGIO previsto all'art. 28 del D. Lgs. n. 152/2006, che recita: *"Il Monitoraggio sugli impatti significativi sull'ambiente derivanti dall'attuazione dei piani e dei programmi approvati e la verifica del raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità prefissati così da individuare tempestivamente gli impatti negativi, gli imprevisti ed adottare le opportune misure correttive"*.