



NEX 088a - Monreale

Comuni: Monreale

Città metropolitana: Palermo (PA)

Regione: Sicilia

Nome Progetto:

NEX 088a - Monreale

Progetto di un impianto agrivoltaico sito nel comune di Monreale in località "C. da Marcanza" di potenza nominale pari a 37,46 MWp in DC

Proponente:

Monreale S.r.l.

Via Dante, 7

20123 Milano (MI)

P.Iva: 131300220962

PEC: monrealesrl@pec.it

Consulenza ambientale e progettazione:

ARCADIS Italia S.r.l.

Via Monte Rosa, 93

20149 | Milano (MI)

P.Iva: 01521770212

E-mail: info@arcadis.it

PROGETTO DEFINITIVO

Nome documento:

Relazione di invarianza idraulica

Commessa	Codice elaborato	Nome file
30200208	IDR_REL_02	IDR_REL_02 - Rel. invarianza idraulica

Rev.	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	Mar. 24	Prima Emissione	LA	FPA	LBE

Il presente documento è di proprietà di Arcadis Italia S.r.l. e non può essere modificato, distribuito o in altro modo utilizzato senza l'autorizzazione di Arcadis Italia s.r.l.

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3.1	Inquadramento generale	5
3.2	Il bacino idrografico del fiume San Bartolomeo.....	5
3.3	Caratteristiche del sito in esame	6
4	INTERVENTO IN PROGETTO	9
5	STUDI E STRUMENTI PIANIFICATORI ESISTENTI IN AMBITO IDRAULICO	11
5.1	Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)	11
5.2	Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)	13
6	ATTIVITÀ PRELIMINARI ALLA PROGETTAZIONE	17
6.1	Relazione geologica.....	17
6.2	Rilievo topografico.....	17
7	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	19
7.1	Stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP).....	19
7.2	Pioggie brevi – Metodo di Bell	21
7.3	Curve di Possibilità Pluviometrica per il presente studio	23
8	CODICE DI CALCOLO ADOTTATO PER L'ANALISI IDROLOGICA E IDRAULICA.....	26
8.1	Definizione delle Curve di Possibilità Pluviometrica	26
8.2	Determinazione dello ietogramma di progetto	26
8.3	Depurazione dalle perdite	27
8.4	Determinazione dell'idrogramma unitario istantaneo	28
8.5	Calcolo della portata di piena	29

8.6	Definizione del volume di laminazione	29
9	ANALISI IDROLOGICA E IDRAULICA	31
9.1	Determinazione dei bacini nell'area di intervento.....	31
9.2	Stima del tempo di corrivazione	33
9.3	Ietogrammi di progetto	34
9.4	Depurazione della precipitazione	36
9.4.1	Scenario di Pre-Urbanizzazione	38
9.4.2	Scenario di Post-Urbanizzazione.....	39
9.4.3	Interventi migliorativi	40
9.5	Parametri del modello di Nash.....	42
10	VERIFICA DELL'INVARIANZA IDRAULICA.....	43
11	DEFINIZIONE DEI VOLUMI DI INVARIANZA IDRAULICA.....	47
11.1	Determinazione della portata limite allo scarico	47
11.2	Volumi di laminazione	48
12	CONCLUSIONI.....	55
13	ALLEGATI.....	57
13.1	Carta d'identità della NWRM A8 – Coperture verdi.....	57

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla valutazione della invarianza idrologica e idraulica dell'intervento riguardante la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico denominato "NEX088a - Monreale" da realizzarsi nel territorio comunale di Monreale (PA) nel rispetto del suddetto principio di invarianza di cui al D.D.G. n.102 del 23/06/2021.

L'art.2 del decreto n.102 del 23/06/2021 "Aggiornamento dei criteri e dei metodi di applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica" definisce i concetti di invarianza idraulica e idrologica:

- **Invarianza idraulica:** "principio in base al quale le portate di deflusso meteoriche scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione. Tecnicamente l'invarianza idraulica si ottiene, prevalentemente, con la laminazione (accumulo temporaneo) delle portate/volumi di piena";
- **Invarianza idrologica:** "principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione. Tecnicamente l'invarianza idrologica si ottiene, prevalentemente, mediante sistemi di infiltrazione nel terreno".

L'applicazione del principio di invarianza idrologica e idraulica mira a razionalizzare il deflusso delle acque meteoriche verso le reti di drenaggio così da ridurre il rischio idraulico nel territorio e mantenere invariato il bilancio idraulico e idrologico di un territorio in trasformazione a causa della perdita di permeabilità. Difatti, la perdita di suolo permeabile concorre in modo determinante all'incremento del deflusso superficiale per ettaro di superficie (*coefficiente udometrico*) delle aree trasformate. Al fine di contrastare tale fenomeno, ogni trasformazione urbanistica o edilizia che causi un'impermeabilizzazione del suolo deve prevedere interventi di mitigazione e compensazione volti a mantenere costante il coefficiente udometrico.

Nel seguito della trattazione viene descritta la metodologia adottata ai soli fini della valutazione dell'invarianza idrologica e idraulica e per il dimensionamento degli interventi necessari a garantire tale principio nell'ambito dell'opera in progetto.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il presente documento è stato redatto in ottemperanza alla normativa vigente in materia di rispetto del principio di invarianza idrologica e idraulica:

- D.D.G. n.102 del 23/06/2021 unitamente agli Allegati 1 e 2, pubblicata in G.U.R.S. Parte i, n.30 del 06/07/2021;
- Norme di Attuazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con D.P. n.9/ADB del 06/05/2021.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

3.1 Inquadramento generale

L'area oggetto del futuro intervento è ubicata nella Sicilia nord-occidentale, all'interno del territorio comunale di Monreale, provincia di Palermo. L'accesso al sito avviene tramite la Strada Provinciale 46 e la Strada Provinciale 47.



Figura 1 - Aree di intervento e strade di accesso (fonte: Google Maps)

3.2 Il bacino idrografico del fiume San Bartolomeo

Il sito ricade all'interno del bacino del fiume San Bartolomeo (Figura 2), delimitato a nord dal Mar Tirreno nel tratto di mare ricadente nel Golfo di Castellammare e a sud dal bacino del fiume San Felice. All'interno del bacino stesso è riscontrabile l'urbanizzazione nei centri abitati, nei territori agricoli e nella presenza di diverse infrastrutture di trasporto. Esso si estende per circa 419 kmq, internamente ai territori delle province di Palermo e di Trapani.



Figura 2 - Bacino idrografico del Fiume San Bartolomeo

Il fiume San Bartolomeo rappresenta la parte terminale del fiume Freddo, il quale nasce in territorio di Calatafimi-Segesta e lungo il suo percorso, di circa 46 km, riceve le acque di diversi affluenti. L'asta principale del fiume Freddo prende il nome di San Bartolomeo alla confluenza con il fiume Caldo. Il fiume San Bartolomeo scorre prevalentemente in direzione NNE-SSO e con andamento meandrico nella sua parte terminale, indice della maturità evolutiva raggiunta. Il suo reticolo idrografico appare abbastanza gerarchizzato, ma disorganizzato.



Figura 3 - Reticolo idrografico (in azzurro) nella zona di futuro intervento

3.3 Caratteristiche del sito in esame

Secondo il progetto *Corine Land Cover (CLC)*, nato al fine di monitorare le caratteristiche di copertura e uso del territorio, l'area di intervento è costituita da superfici agricole utilizzate per colture intensive e da vigneti, come si osserva in Figura 4.



- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 111 Zone residenziali a tessuto continuo 1111 Zone residenziali a tessuto compatto e denso 1112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado 112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado 1122 Borghi e fabbricati rurali 121 Insediamenti industriali, artigianali, commerciali e spazi annessi 1221 Linee ferroviarie e spazi associati 1222 Viabilità stradale e sue pertinenze 123 Aree portuali 124 Aree aeroportuali e eliporti 131 Aree estrattive 132 Aree ruderali e discariche 133 Cantieri 141 Aree verdi urbane 1412 1413 142 Aree ricreative e sportive 1421 143 Cimiteri 151 Siti archeologici 21121 Seminativi semplici e colture erbacee estensive 21211 Colture ortive in pieno campo 21213 Colture orto-floro-vivaistiche (serre) 221 Vigneti 2211 Vigneti consociati (con oliveti, ecc.) 222 Frutteti 2225 2226 223 Oliveti 2231 Colture arboree miste con prevalenza di carrubeti e oliveti 2241 Pioppeti | <ul style="list-style-type: none"> 2242 Piantagioni a latifoglie, impianti di arboricoltura (noce e/o rimboschimenti) 2243 Eucalipteti 2311 Incolti 242 Sistemi culturali e particolari complessi (mosaico di appezzamenti agricoli) 3111 Leccete 31111 Boschi e boscaglie a sughera e/o a sclerofille mediterranee 31122 Querceti termofili 31126 Cerrete 3113 Boschi a latifoglie mesofile 31132 Betulleti 31133 Ostrieti 31143 Castagneti 31154 Faggete 3116 Boschi e boscaglie ripariali 31163 Pioppeti ripariali 31165 Alneti ripariali 3117 Rimboschimenti a latifoglie 312 Boschi di conifere 3121 Boschi a prevalenza di pini mediterranei (pino domestico, pino marittimo) e cipressete 31211 Pinete di pino d'Aleppo 31213 Pinete a pino domestico 31224 Pinete di pino laricio 3125 Rimboschimenti a conifere 321 Aree a pascolo naturale e praterie 3211 Praterie aride calcaree 3212 Pascoli di pertinenza di malga 3214 Praterie mesofile 3221 Arbusteti spinosi montani 3222 Arbusteti termofili 32221 Ginepreti 32222 Pruneti 32231 Ginestrete | <ul style="list-style-type: none"> 32222 Pruneti 32231 Ginestrete 3231 Macchie termofila 32312 Macchie a lentisco 32313 Macchie a lentisco e palma nana 3232 Gariga 32322 Macchie bassa a cisto e rosmarino 3311 Vegetazione psammofila 332 Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti 333 Aree con vegetazione rada 3331 41 Zone umide interne 4121 Vegetazione degli ambienti umidi fluviali e lacustri 42 Zone umide costiere 4211 Comunità erbacee delle paludi salmastre 422 Saline ed aree associate 5111 Fiumi 5112 Torrenti e greti alluvionali 5121 Leghetti e pozze naturali 5122 Leghi artificiali 52 Acque marittime 521 Lagune costiere 522 Estuari 523 Mari e oceani |
|---|--|--|

Figura 4 - Uso del suolo nell'area oggetto di intervento

Infine, come si evince dalla relazione geologica, l'area oggetto di intervento presenta caratteristiche collinari con pendenze moderate e quote topografiche comprese tra 273 e 194 m s.l.m. Sui pendii che limitano gli impluvi si osservano superfici topografiche da pianeggianti a moderatamente acclivi. Nello specifico, nel sito di interesse si evidenzia che:

- il 17% dell'area è caratterizzata da superfici sub-pianeggianti (inclinazione compresa tra 0° e 5°),
- il 50% dell'area presenta inclinazioni comprese tra 5° e 10° (pendii debolmente acclivi),
- il 30% della superficie ha inclinazioni comprese tra 10° e 15° (pendii moderatamente acclivi),
- il 3% è caratterizzata da inclinazioni tra 15° e 25° (superfici acclivi).

Si riporta la carta delle pendenze nella figura successiva. Per informazioni più dettagliate si rimanda alla *Relazione Geologica* redatta da Geoproject S.r.l.

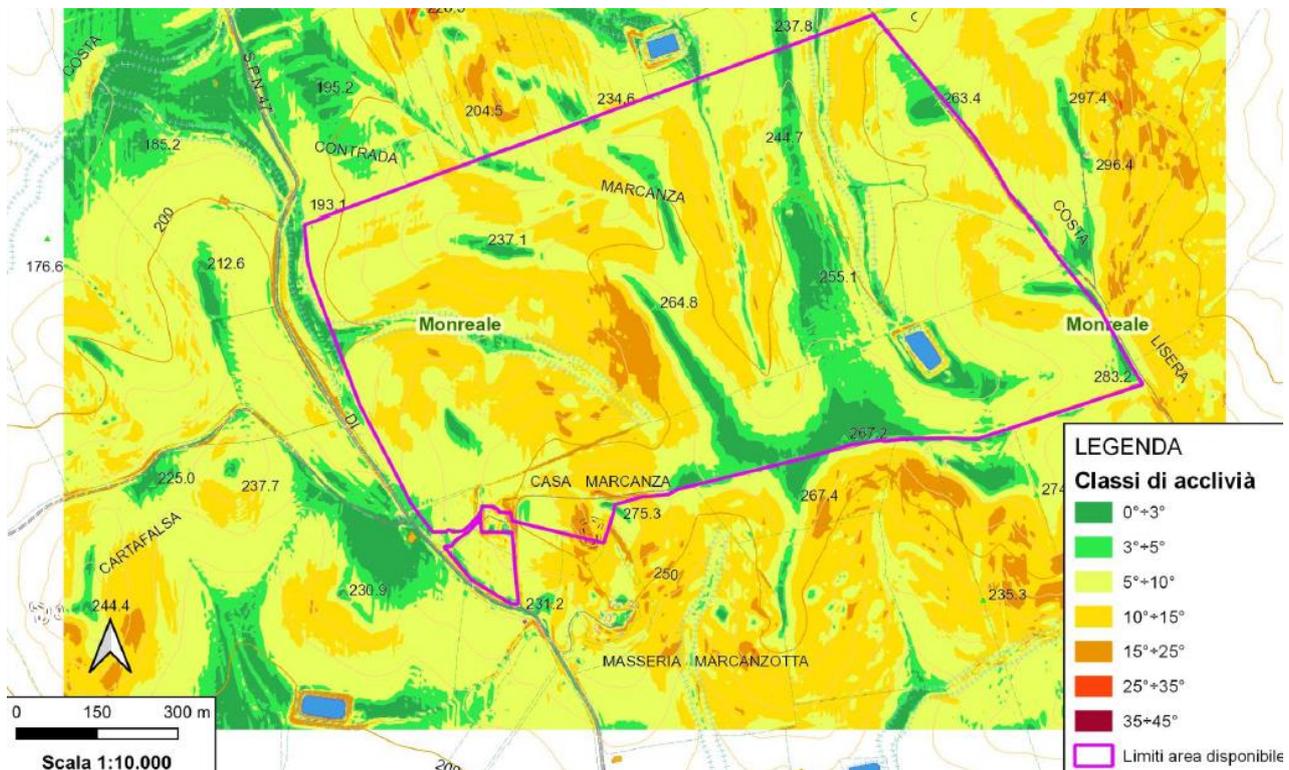


Figura 5 - Carta delle pendenze (fonte: Relazione geologica allegata al progetto)

4 INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto denominato “NEX088a - Monreale” sarà realizzato nel territorio del Comune di Monreale (PA) in terreni classificati agricoli secondo PGT del Comune di Monreale (zona "E") che presentano, allo stato attuale, un uso del suolo a seminativo di carattere estensivo (grano e orzo principalmente).

Ai fini progettuali è stata analizzata dettagliatamente la morfologia dell'area di intervento tramite rilievo topografico con Drone matrice 300 RTK/PPK e Emlid Reach RX eseguito in data 03.11.2023. Sono state analizzate le pendenze di sito al fine di prevedere l'utilizzo delle sole superfici che presentano già allo stato attuale una pendenza ed una esposizione idonee allo sviluppo impiantistico di progetto. Infatti, sull'intera area disponibile (con diritti di superficie acquisiti), pari a 93,150 Ha, è stato previsto l'utilizzo di 18,330 ha (superficie coperta dai moduli), suddivisa in n°4 campi recintati, per una superficie complessiva di 83,308 Ha (area recintata).

Le aree effettivamente utilizzate dal progetto (aree recintate) sono state definite avendo cura di mantenere inalterate le aree interessate dalla presenza di vincoli ed interferenze. In particolare, il progetto in oggetto evita interferenze con il reticolo idrografico minore, prevedendo il rispetto della fascia di 10 m prevista dal R.D. 523/1904 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”. Inoltre, è stato previsto di mantenere fruibile l'accesso allo specchio d'acqua presente all'interno delle aree contrattualizzate che, da cartografia forestale (Carta Forestale di cui alla L.R. 16/96), è indicato appartenere all'infrastruttura antincendio regionale.

Il campo fotovoltaico così progettato sarà costituito da 54.292 moduli di tipo bifacciali, aventi potenza di picco pari a 690 Wp e dimensioni di 2384 x 1303 x 33 mm, montati su strutture di sostegno ad inseguimento solare mono-assiale (trackers). I trackers saranno installati in direzione nord-sud, capaci di ruotare in direzione est-ovest, consentendo, pertanto, ai moduli di “seguire” il Sole lungo il suo moto diurno e ottimizzando la produzione.

Le strutture di sostegno avranno disposizione unifilare (282 inseguitori con configurazione 1V14 e 1798 inseguitori con configurazione 1V28). La conversione da corrente continua a corrente alternata sarà realizzata mediante convertitori statici trifase (inverter) di tipo centralizzato, per un totale di 11 inverter (n°9 inverter da 4.000 KVA e n°2 inverter da 2.667 kVA per un totale di 41,334 MVA di potenza installata in CA) racchiusi in altrettanti skid o container cabinati.

I container, progettati e costruiti per il trasporto con tutti i componenti già installati al suo interno, hanno le seguenti dimensioni: lunghezza 6058 mm, larghezza 2.438 mm, altezza 2.896 mm. Il container è costruito con telai in acciaio zincato.

L'impianto sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù di una STMG in fase di revisione al momento di redigere la presente relazione.

La produzione energetica dell'impianto agrivoltaico sarà raccolta tramite una rete di distribuzione esercita in Alta Tensione a 36 kV e successivamente veicolata, tramite un elettrodotto interrato sempre in AT a 36kV, verso il punto di consegna nella nuova Sottostazione Elettrica di Terna Gallitello” 380/150/36 kV, condivisa con altri utenti produttori.

Il percorso dell'elettrodotto di connessione in AT si sviluppa per una lunghezza complessiva pari a circa 8,6 km, ed è stato studiato al fine di minimizzare l'impatto sul territorio locale, adeguandone il percorso a quello delle sedi stradali preesistenti ed evitando ove possibile gli attraversamenti di terreni agricoli. Per ulteriori dettagli in merito al percorso del suddetto elettrodotto e alla gestione delle interferenze si rimanda agli elaborati dedicati.

La configurazione impiantistica prevista in progetto (si veda Figura 6) sarà in grado di preservare la vocazione agricola dell'area interessata dal progetto e di valorizzare le aree anche da un punto di vista agronomico e di produttività dei suoli. La soluzione impiantistica di impianto agrivoltaico interfilare con tracker prevede sistemi ad inseguimento solare mono-assiale opportunamente distanziati tra loro (distanza tra le file pari a 6,7 m), consentendo un uso combinato della porzione di suolo interessato dall'impianto.

In sintesi, la proposta agronomica prevede:

- prato permanente polifita di interesse mellifero in corrispondenza della superficie di proiezione dei moduli sul suolo;
- la prosecuzione della coltivazione nell'interfilare tra i moduli, nonché nelle aree recintate non oggetto di installazione dei filari fotovoltaici, per una superficie complessiva coltivabile di 60,493 ha. Si prevede colture in rotazione di leguminose da granella (colture miglioratrici), leguminose da foraggio con attitudine mellifera (sulla) e prato polifita permanente;
- in supporto alla produzione agricola da leguminose si prevede di collocare in sito circa 50 arnie per la produzione mellifera.

L'intervento in oggetto prevede inoltre, fuori dall'area recintata, i seguenti interventi:

- una fascia di mitigazione esterna alle aree di impianto di larghezza complessiva di 10 m e superficie totale pari a circa 3,78 Ha. Tale fascia sarà composta, dall'esterno verso l'interno, da una linea tagliafuoco di 2-2,5 m, una doppia fila sfalsata di piante di Olea europea e una siepe naturaliforme composta da arbusti e/o cespugli autoctoni a ridosso della recinzione perimetrale;
- opere di riqualificazione degli impluvi e laghetti per una estensione di circa 1,3 ha.

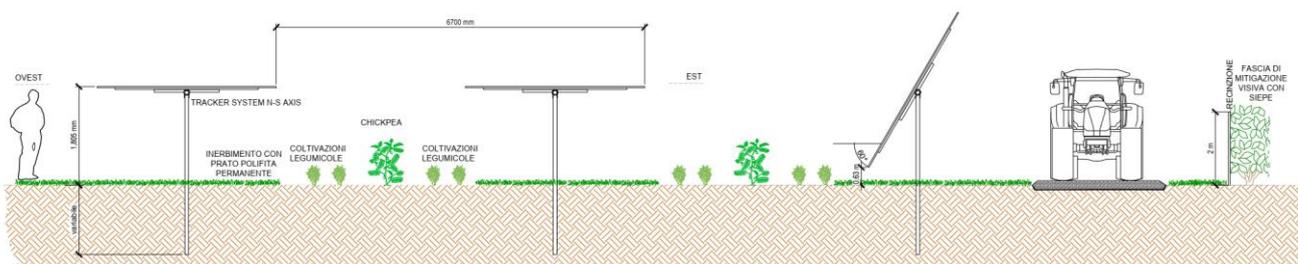


Figura 6 - Schema dell'impianto agrivoltaico (estratto elaborato PRO_TAV_16)

5 STUDI E STRUMENTI PIANIFICATORI ESISTENTI IN AMBITO IDRAULICO

5.1 Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta “Direttiva Alluvioni”, che si pone come obiettivo la costruzione di un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la mitigazione dei rischi dovuti a fenomeni alluvionali, così da ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche. Nell’ordinamento italiano tale direttiva è stata recepita con il D. Lgs. 49/2010.

La Direttiva Alluvioni stabilisce che le mappe di pericolosità devono mostrare l’area geografica che può essere inondata in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- scarsa probabilità o scenari di eventi estremi,
- media probabilità di alluvioni (tempo ritorno superiore o al più pari a 100 anni),
- elevata probabilità di alluvioni.

In corrispondenza di ciascuno scenario gli Stati Membri devono fornire le informazioni sull’estensione delle alluvioni e sulla profondità delle acque e dove opportuno sulle velocità del flusso o sulle portate. Il D.Lgs 49/2010, attuativo della Direttiva Alluvioni, stabilisce che siano da considerarsi scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 20 e 50 anni, mentre scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 100 e 200 anni. Ne consegue che siano da considerarsi scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi quelli corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni.

La definizione degli scenari di probabilità nel Distretto Sicilia, partendo dalle indicazioni fornite dal D. Lgs. 49/2010, tiene conto dell’origine dell’alluvione che è di tipo fluviale. Per tali alluvioni i tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni sono pari a:

- 50 anni per lo scenario ad elevata probabilità di allagamento (*scenario P3*)
- 100 anni per lo scenario a media probabilità di allagamento (*scenario P2*)
- 300 anni per lo scenario a bassa probabilità di allagamento (*scenario P1*).

Infine, la Direttiva Alluvioni stabilisce che in corrispondenza di ciascuno scenario di probabilità siano redatte mappe del rischio di alluvioni, in cui devono essere rappresentate le potenziali conseguenze avverse. Per quanto concerne la determinazione del grado di rischio a cui una determinata area è soggetta si è scelto di utilizzare un approccio semplificato secondo cui il rischio è espresso dal prodotto della pericolosità per il danno potenziale. Le classi di rischio adottate sono le seguenti, come indicato dal DPCM 29/9/98:

- *rischio molto elevato (R4)*, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;
- *rischio elevato (R3)*, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
- *rischio medio (R2)*, per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- *rischio moderato (R1)*, per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITÀ		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R3
	D3	R4	R3	R2
	D2	R2	R2	R1
	D1	R2	R1	R1

Tabella 1 - Matrice per l'individuazione delle classi di rischio del PGRA Regione Sicilia

Osservando le mappe di pericolosità e rischio riportate nelle pagine successive, si nota che [il sito oggetto di intervento non ricade all'interno di aree classificate dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni.](#)

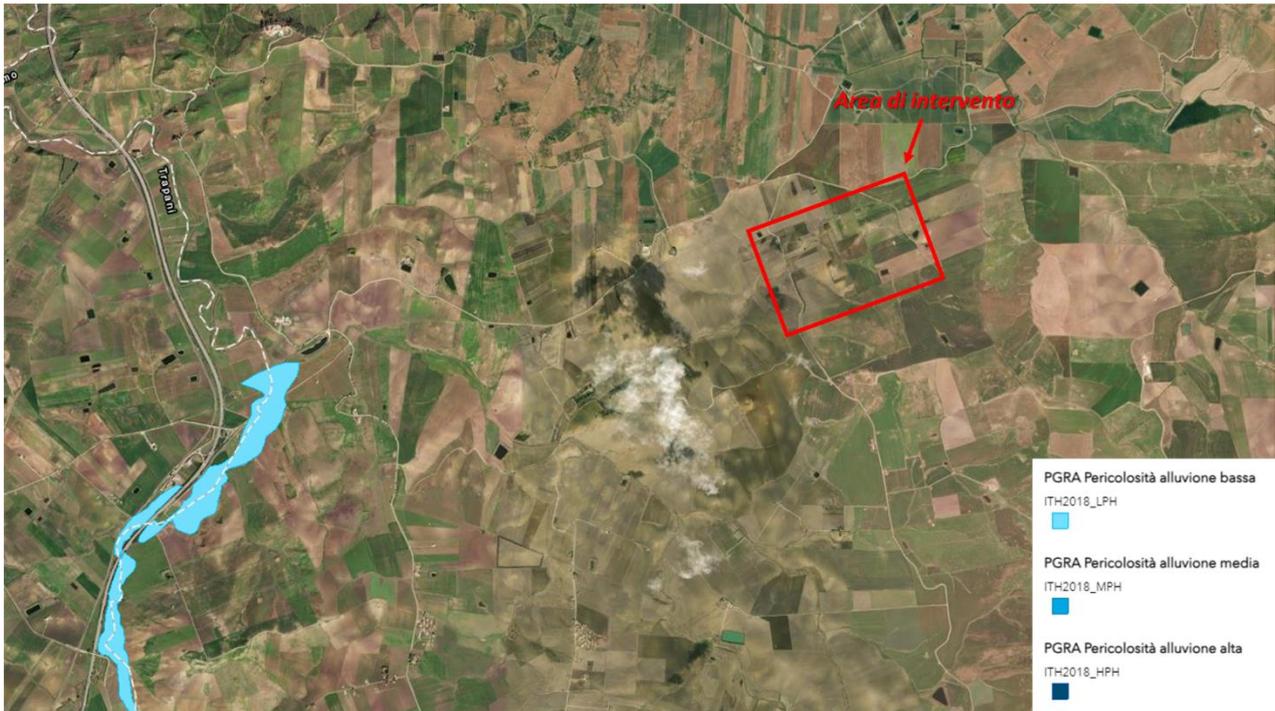


Figura 7 - PGRA vigente: mappa della pericolosità (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

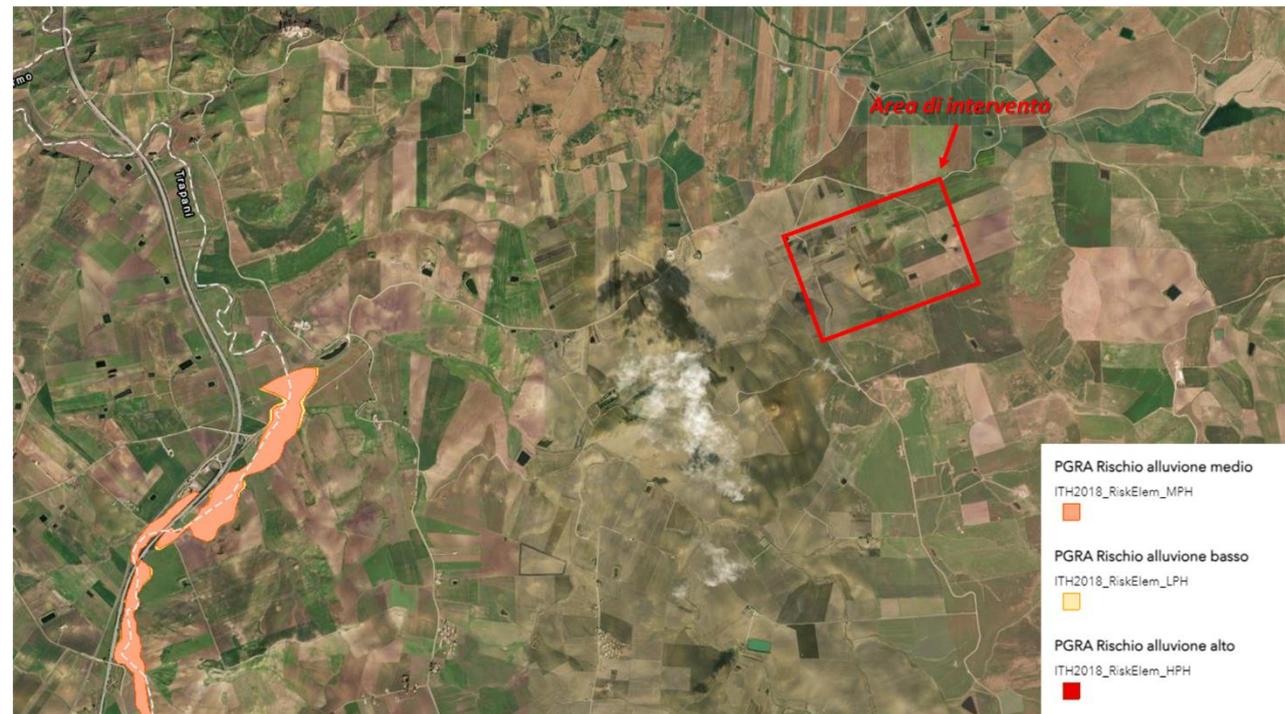


Figura 8 - PGRA vigente: mappa del rischio (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

5.2 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) ha avviato nella Regione Siciliana la pianificazione di bacino, strumento fondamentale della politica di assetto territoriale delineata dalla legge 183/89. Tale piano, redatto

ai sensi dell'art.17, comma 6 ter, della legge 183/89, dell'art.1, comma 1, del D. Lgs. 180/98, convertito con modifiche dalla legge 267/98, e dall'art.1bis del D. Lgs. 279/2000, convertito con modificazioni dalla legge 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante cui sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Il PAI ha tre funzioni:

- conoscitiva, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
- normativa e prescrittiva, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo in regime straordinario e ordinario;
- programmatica, la quale fornisce i metodi d'intervento possibili finalizzati alla mitigazione del rischio.

La finalità sostanziale del PAI è definire un assetto idrogeologico del territorio che minimizzi il livello di rischio connesso ad eventi naturali estremi; pertanto, esso è un atto di pianificazione territoriale di settore che fornisce un quadro di conoscenze e di regole, basate anche sulle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio.

Il riferimento territoriale del PAI è la Regione Sicilia, che costituisce un unico bacino di rilievo nazionale, suddivisa in 102 bacini idrografici e aree territoriali intermedie, oltre alle isole minori. Per ogni bacino idrografico è stato realizzato un piano stralcio.

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio. La sua valutazione è stata effettuata incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno T e alla distribuzione spaziale delle altezze idriche H, ottenendo così una suddivisione in quattro differenti classi:

- *P1 – Aree con bassa probabilità di inondazione;*
- *P2 – Aree a moderata probabilità di inondazione;*
- *P3 – Aree ad alta probabilità di inondazione;*
- *P4 – Aree con probabilità di inondazione molto elevata.*

Battente Idraulico	Tempo di Ritorno		
	50	100	300
H<0.3 m	P1	P1	P1
0.3<H<1 m	P2	P2	P2
1<H<2 m	P4	P3	P2
H>2 m	P4	P4	P3

Tabella 2 - Calcolo della pericolosità idraulica (fonte: Relazione Generale Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana)

Sulla base di tale classificazione si è definita la carta di pericolosità idraulica. Le classi di rischio sono state determinate, invece, dalla sovrapposizione di questa carta con gli elementi a rischio risultanti dalle informazioni derivate dalla Carta Tecnica Regionale e dalle ortofotocarte:

- R1 – Aree a rischio moderato;
- R2 – Aree a rischio medio;
- R3 – Aree a rischio elevato;
- R4 – Aree a rischio molto elevato.

Rischio	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R2
P2	R1	R2	R3	R3
P3	R2	R2	R3	R4
P4	R2	R3	R4	R4

Tabella 3 – Valutazione del rischio idraulico (fonte: Relazione Generale Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana)

Nelle carte successive sono riportate rispettivamente la mappa di pericolosità e di rischio del sito oggetto di intervento, da cui si osserva che essa **non rientra in aree classificate per il PAI**.



Figura 9 - PAI vigente: mappa della pericolosità (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)



Figura 10 - PAI vigente: mappa del rischio (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

6 ATTIVITÀ PRELIMINARI ALLA PROGETTAZIONE

6.1 Relazione geologica

Nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento descritto è stata redatta una relazione geologica riguardante i terreni contenuti nel perimetro catastale dell'area disponibile.

Lo studio geologico e geomorfologico si è articolato in due fasi distinte:

1. in una prima fase si è proceduto all'analisi dei dati, delle cartografie esistenti e delle foto aeree e satellitari, così da analizzare l'assetto geomorfologico del territorio;
2. successivamente, si è provveduto ad un rilevamento geologico/geomorfologico di dettaglio sul campo che è stato integrato mediante la realizzazione di indagini geognostiche.

In relazione alla morfologia dell'area in esame, essa *“è contraddistinta a scala vasta dal tipico paesaggio collinare delle zone di affioramento del complesso argilloso-sabbioso della Fm Terravecchia. Il reticolo idrografico è caratterizzato da un drenaggio di tipo sub-dentritico, che tende al reticolo parallelo per progressivo approfondimento delle aste fluviali. Sono presenti superfici topografiche con giacitura sub-pianeggiante, riconoscibili in tutta l'area di progetto, che sono da riferire a relitti erosi di antichi terrazzi fluviali. A partire dalla quota di circa 275 m s.l.m., in corrispondenza di alcune delle sopracitate superfici di spianamento fluviale, si generano impluvi che drenano verso Nord e Nord ovest, sede di erosione per fenomeni di ruscellamento concentrato.”*

Attraverso l'elaborazione del modello digitale del terreno si è ottenuta la carta delle pendenze in cui sono riportate le classi di acclività, già analizzate nel Capitolo 3 - *Inquadramento territoriale*.

“In conclusione, i caratteri geologici e le modeste acclività dell'area di progetto condizionano il buon assetto geomorfologico generale del sito: la presenza di una coltre eluvio-colluviale e di alterazione delle argille e sabbie della formazione di base ha reso necessario, tuttavia, il rilievo geomorfologico preliminare con lo scopo di selezionare quelle aree, da destinare all'installazione delle opere, esenti da qualsiasi fenomeno di dissesto gravitativo o di erosione per scorrimento superficiale delle acque. I modesti lavori di scavo previsti per la posa delle fondazioni dell'impianto fotovoltaico in progetto (specie se si tratta di fondazioni su pali) non andranno a modificare le condizioni di deflusso superficiale delle acque meteoriche né a creare turbativa all'assetto idrogeologico dei terreni profondi.”

Per ulteriori dettagli si rimanda alla *Relazione Geologica*, a cura della società Geoproject S.r.l., e alle tavole ad essa allegate.

6.2 Rilievo topografico

Il rilievo topografico LIDAR dell'area di intervento, fornito dal committente, è stato condotto quale

attività preliminare per poter valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto con i corsi d'acqua in tale area. Nello specifico, il rilievo ha coperto un'area di circa 1.3 kmq restituito a maglia 50 cm, attraverso cui sono state identificate le caratteristiche del territorio in termini di elevazione, così da poter identificare i bacini dei rami di prima formazione del fiume San Bartolomeo presenti.

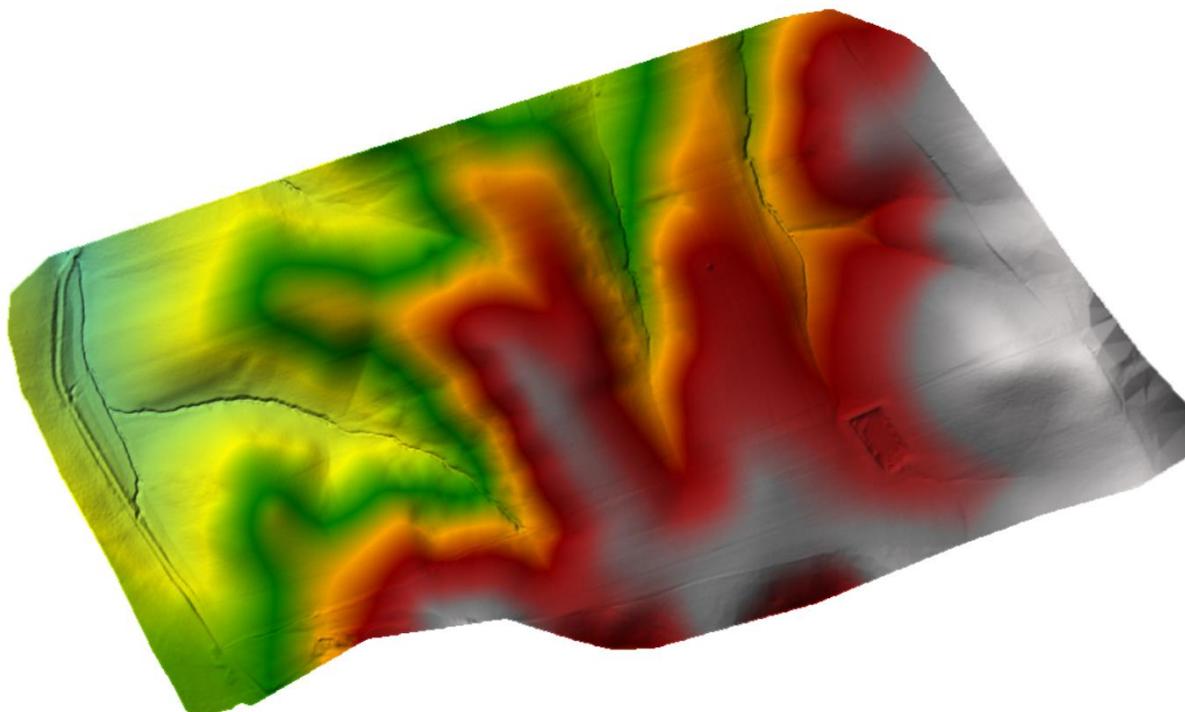


Figura 11 – Rilievo dell'area di intervento

7 ANALISI PLUVIOMETRICA

I dati pluviometrici utilizzati ai fini della valutazione del principio di invarianza idrologica e idraulica sono quelli analizzati dal Centro Funzionale Decentrato-Idro della Regione Siciliana, il quale fa parte della Rete Nazionale dei Centri Funzionali e incardinato nel Dipartimento Regionale della Protezione Civile. Accedendo al sito <https://www.protezionecivilesicilia.it/it/146-cfdmi.asp> è possibile, tramite una ricerca per bacino idrografico o per stazione pluviometrica, consultare i dati relativi ai parametri delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) stimati utilizzando un approccio probabilistico.

Tra i vari pluviometri situati sul territorio siciliano si è scelto quale pluviometro di riferimento quello situato a Calatafimi, il più prossimo alla zona di futuro intervento, posto a circa 11 km dal sito, e collocato all'interno del bacino del fiume San Bartolomeo.



Figura 12 - Pluviometro di Calatafimi

7.1 Stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP)

La precipitazione critica che determina la massima portata si ricava dalla stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica, di seguito indicate con CPP, le quali esprimono la relazione tra l'altezza massima annuale di precipitazione h e la sua durata d per un assegnato tempo di ritorno T . Generalmente esse sono descritte da una legge di potenza monomia del tipo:

$$h_d(T) = K_T \cdot a \cdot d^n$$

dove i parametri della curva (K_T e n) dipendono dal periodo di ritorno considerato. In dettaglio, a rappresenta il coefficiente di scala della curva di possibilità pluviometrica, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento, mentre K_T rappresenta il fattore di crescita in quanto dipende dal tempo di ritorno T e dalla distribuzione di probabilità scelta per rappresentare la variabile W , che si ottiene normalizzando i valori estremi di altezza rispetto al valore atteso. Infine, il parametro n indica l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali. Le variazioni di n sono contenute ($0 < n < 1$), soprattutto quando il coefficiente di variazione CV delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di pioggia varia poco con la durata d delle stesse.

Come anticipato, i parametri che definiscono le CPP nel caso di interesse sono stati forniti dal Centro Funzionale Decentrato-Idro della Regione Siciliana a seguito di un'analisi probabilistica dei dati pluviometrici riportati negli Annali Idrologici per la Sicilia. Nello specifico, la serie storica dei massimi annuali di pioggia riferiti ad una assegnata durata d si può considerare un campione di numerosità N ($N =$ anni di osservazione). Per la determinazione delle suddette curve ci si basa sull'analisi delle curve di frequenza cumulata, costruite per le serie storiche dei massimi annuali di precipitazione riferiti alle durate canoniche (1, 3, 6, 12, 24 ore), adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri, come modello probabilistico la legge di Gumbel. Dalle curve di frequenza, fissato il periodo di ritorno, si ricavano i corrispondenti massimi annuali di precipitazione delle suddette durate, ovvero $h_d(T)$: tali valori interpolati mediante la legge monomia sopra citata definiscono $h_d(T)$ per ogni durata e tempo di ritorno.

Per il pluviometro di Calatafimi la serie storica di misura è costituita da 51 misure effettuate negli anni 1940-2016 e ha portato alle seguenti curve di possibilità pluviometrica:

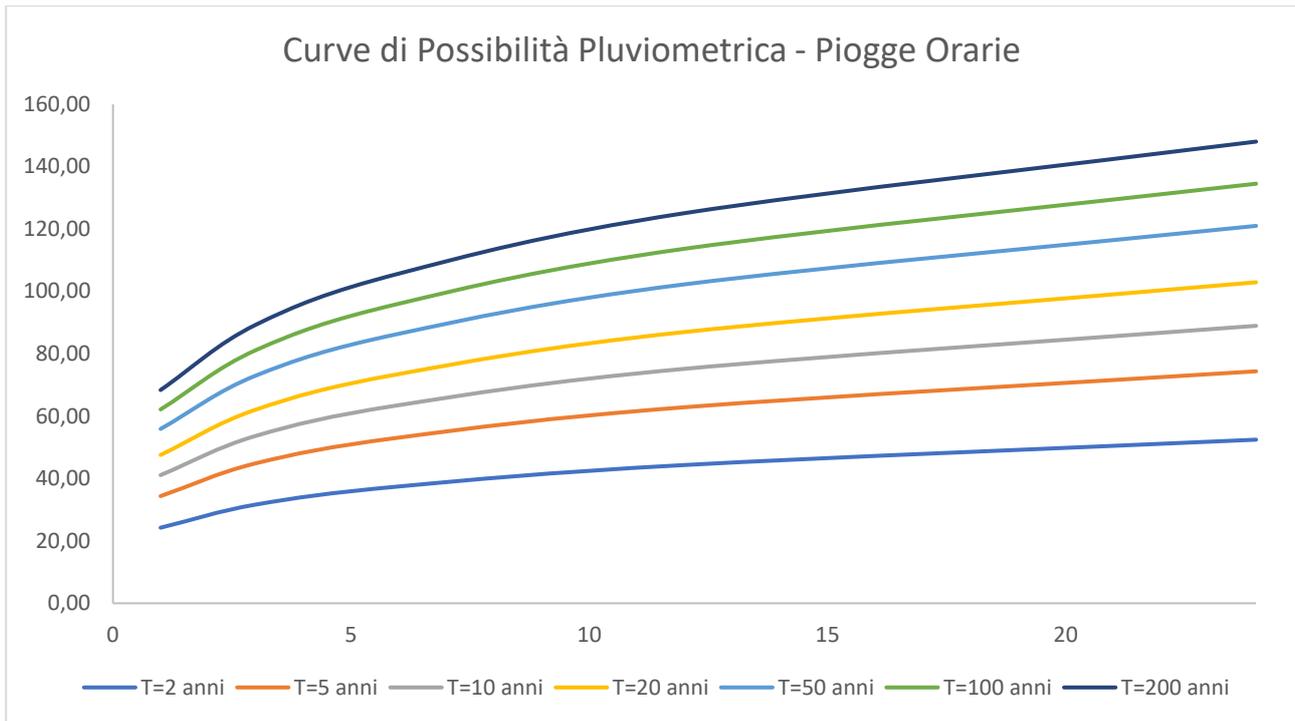


Figura 13 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge orarie per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

T (anni)	K_T	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2	0.928	24	32	37	44	52
5	1.316	34	45	53	63	74
10	1.574	41	54	64	75	89
20	1.821	48	62	73	87	103
50	2.141	56	73	86	102	121
100	2.380	62	81	96	114	135
200	2.619	68.39	89.32	105.70	125.09	148.04
	a		26.113		n	0.243

Tabella 4 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge orarie per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

7.2 Piogge brevi – Metodo di Bell

Nei bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, quali quelli considerati nel presente studio, i tempi di concentrazione sono brevi e dunque le precipitazioni che interessano sono intense e di breve durata, con tempi inferiori all'ora. Generalmente le osservazioni di piogge intense sono rilevate per le durate canoniche, ovvero 1, 3, 6, 12 e 24 ore, mentre raramente sono disponibili dati relativi a eventi intensi con durate inferiori ad un'ora, anche per la difficoltà nel registrare in modo accurato con gli strumenti di misura. Dunque, nella maggior parte delle stazioni pluviometriche non sono disponibili le informazioni relative alle piogge intense di breve durata, la cui valutazione richiede quindi particolari formule in quanto l'estrapolazione delle curve di possibilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora conduce ad una sovrastima delle intensità.

Bell ha osservato che i rapporti tra le altezze di precipitazione di durata d molto breve e inferiori alle

due ore e l'altezza di precipitazione oraria ($d = 1$ ora) sono poco dipendenti dalla località in cui si verificano. Lo U.S. Water Bureau raccomanda per i tempi di pioggia inferiori ai 30 minuti l'adozione di una relazione empirica, derivata dai dati di breve durata, la quale mostra che il tempo di pioggia in minuti ha un rapporto costante con la pioggia di durata oraria a parità di tempo di ritorno. Bell ha poi dimostrato che tale costanza dei rapporti può essere estesa fino ai valori di durata pari a 2 ore; quindi, ha proposto la seguente relazione che si adatta bene al comportamento delle osservazioni:

$$\frac{h_T^d}{h_T^{60}} = 0.54 \cdot d^{0.25} - 0.5 \quad 5 \leq d \leq 120$$

essendo h_T^d l'altezza di precipitazione relativa ad un evento di durata d riferita al tempo di ritorno T , h_T^{60} l'altezza di precipitazione relativa ad un evento di durata oraria riferita al tempo di ritorno T e d la durata di pioggia espresso in minuti. Tali osservazioni sono state successivamente riprese da Calenda, che ha osservato che i rapporti delle curve delle massime piogge osservate risultano i seguenti:

d (min)	5	10	15	20	30	45	120	240
r_d (-)	0.29	0.41	0.50	0.58	0.71	0.87	1.41	2

Tabella 5 - Rapporti derivanti dall'applicazione della formula di Bell

dove $r_d = \frac{h_d}{h_{60}}$.

Considerando quanto appena detto, si procede all'applicazione della formula di Bell al fine di correggere le altezze di precipitazione stimate mediante le curve di possibilità pluviometrica. Si definiscono le CPP per brevi durate, inferiori all'ora, della precipitazione.

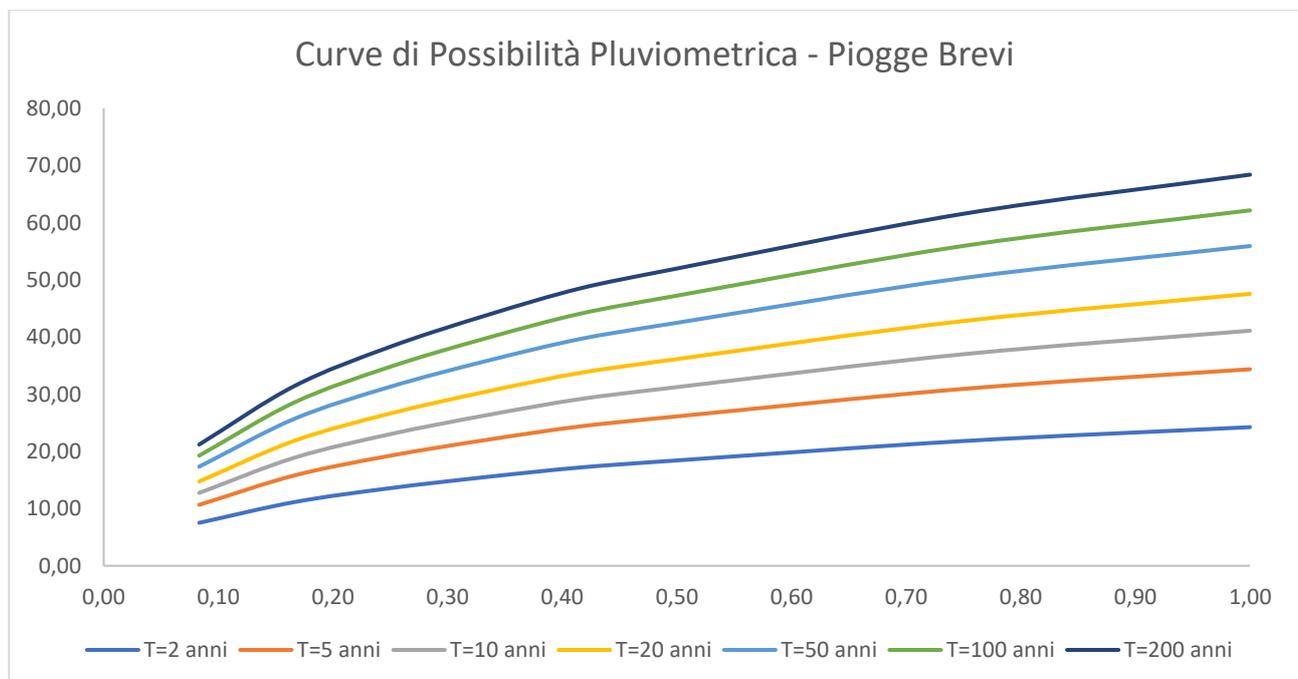


Figura 14 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge brevi per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

<i>T (anni)</i>	<i>Kt</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>15 min</i>	<i>20 min</i>	<i>25 min</i>	<i>30 min</i>	<i>45 min</i>	<i>60 min</i>
2	0.928	7.51	11.15	13.57	15.51	17.21	18.42	21.81	24.23
5	1.316	10.65	15.81	19.24	21.99	24.40	26.12	30.93	34.36
10	1.574	12.74	18.91	23.02	26.31	29.18	31.24	36.99	41.10
20	1.821	14.74	21.87	26.63	30.43	33.76	36.14	42.80	47.55
50	2.141	17.33	25.72	31.31	35.78	39.69	42.49	50.32	55.91
100	2.38	19.27	28.59	34.80	39.78	44.13	47.23	55.93	62.15
200	2.619	21.20	31.46	38.30	43.77	48.56	51.98	61.55	68.39
	<i>a</i>	26.113				<i>n</i>	0.4681		

Tabella 6 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge brevi per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

7.3 Curve di Possibilità Pluviometrica per il presente studio

Per i tempi di ritorno da considerare nell'analisi successiva si è fatto riferimento a quanto riportato al punto A.2. dell'Allegato 2 – *Indirizzi tecnici per la progettazione di misure di invarianza idrologica e idraulica*:

“Il tempo di ritorno delle piogge da adoperare nel calcolo dei volumi (laminazione/infiltrazione) è pari a 30 anni, nel rispetto dei franchi di sicurezza, mentre, il tempo di ritorno di 50 anni dovrà essere utilizzato per la verifica delle opere in condizioni limite e per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.”

23
57

Le CPP caratteristiche del tempo di ritorno 50-ennale sono state già oggetto di analisi nell'ambito della definizione delle curve per il pluviometro di Calatafimi. Si è reso necessario, invece, l'elaborazione dei dati al fine di determinare i parametri caratteristici della curva di possibilità per un periodo di ritorno pari a 30 anni. Nello specifico, il fattore di crescita K_T è stato calcolato tramite regressione logaritmica dei fattori di crescita dei tempi di ritorno riportati in Tabella 4: si è ottenuto $K_{T=30}=1.950$.

Si riportano di seguito le CPP definite per 30 e 50 anni di tempo di ritorno, dove nelle tabelle seguenti $a_1 = K_T \cdot a$.

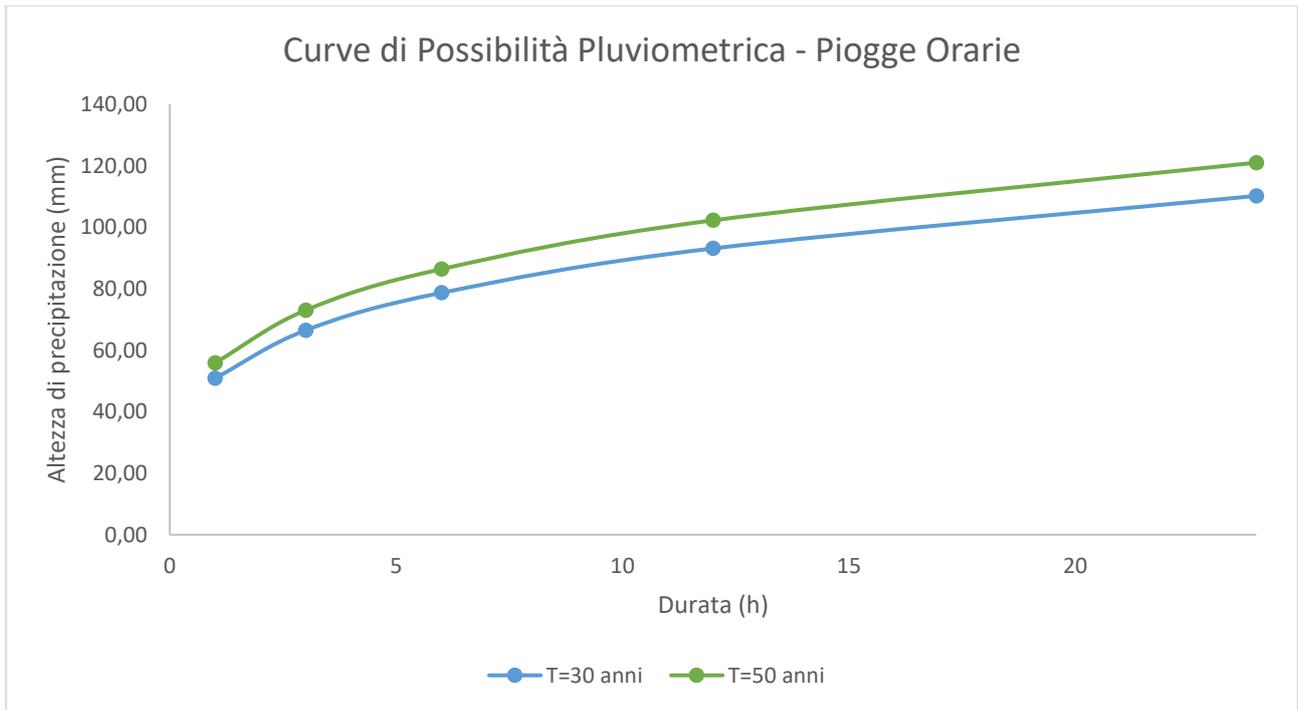


Figura 15 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge orarie per i tempi di ritorno di 30 e 50 anni

	<i>T = 30 ANNI</i>	<i>T = 50 ANNI</i>
<i>a1 (mm/hⁿ)</i>	50.911	55.908
<i>n (-)</i>	0.243	0.243

Tabella 7 - Parametri curve di possibilità pluviometrica – piogge orarie per i tempi di ritorno di 30 e 50 anni

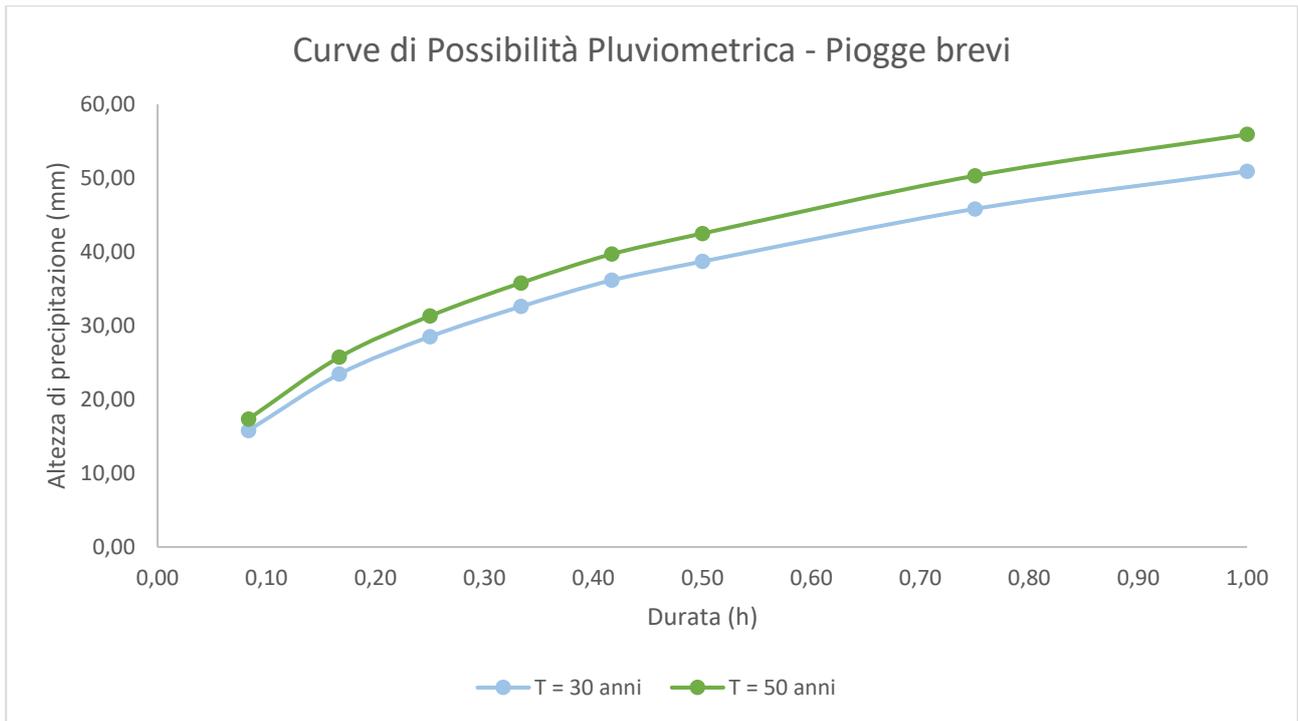


Figura 16 - Curve di possibilità pluviometrica – brevi durate della precipitazione per i tempi di ritorno di 30 e 50 anni

	<i>T = 30 ANNI</i>	<i>T = 50 ANNI</i>
<i>a1 (mm/hⁿ)</i>	50.911	55.908
<i>n (-)</i>	0.4681	0.4681

Tabella 8 - Parametri curve di possibilità pluviometrica – piogge brevi per i tempi di ritorno di 30 e 50 anni

8 CODICE DI CALCOLO ADOTTATO PER L'ANALISI IDROLOGICA E IDRAULICA

Il codice di calcolo utilizzato ai fini dell'analisi idraulica è *URBIS 2003*, programma di calcolo di idrologia urbana sviluppato dall'Istituto di Idraulica del Politecnico di Milano a cura di P. Mignosa e A. Paoletti di tipo interattivo che consente all'utente di definire gli idrogrammi di piena conseguenti a piogge sia reali sia di progetto attraverso la scelta di vari parametri che definiscono le condizioni della situazione esaminata.

URBIS prevede sei fasi consecutive l'una all'altra:

1. Definizione delle curve di possibilità pluviometrica attraverso l'inserimento dei suoi parametri
2. Determinazione delle ietogramma di progetto
3. Calcolo dello ietogramma netto
4. Determinazione dell'idrogramma unitario istantaneo
5. Calcolo della portata di piena
6. Definizione del volume da laminare

Si descrivono di seguito le metodologie applicate dal programma, illustrando in particolare le modalità di calcolo che si prenderanno in esame nel presente studio.

8.1 Definizione delle Curve di Possibilità Pluviometrica

Il programma consente l'inserimento di CPP sia nella forma monomia semplice sia doppia. Nel primo caso, si ha un'unica monomia valida in tutto il campo di validità delle durate di interesse, quindi è necessario l'inserimento di una sola coppia di parametri a e n caratteristici; nel secondo caso, invece, si considerano due differenti relazioni per le CPP che coprono il campo di durate di interesse e quindi sono richieste due coppie (a, n) caratteristici delle due differenti formule monomie. Il tempo di separazione tra i campi di validità delle due relazioni viene calcolato in automatico dal programma stesso. Infine, qualora si necessitasse, è possibile inserire anche CPP nella forma non monomia, ovvero:

$$h = \frac{a}{(t + b)^c}$$

Infine, il codice permette anche di effettuare il ragguglio della curva di possibilità pluviometrica di tipo monomio ad un'assegnata area attraverso le formule di Columbo.

8.2 Determinazione dello ietogramma di progetto

Per la modellazione idraulica del sistema di fondamentale importanza è la definizione di uno ietogramma di progetto con una definita distribuzione temporale, ovvero un evento pluviometrico generato

sinteticamente con l'obiettivo di pervenire ad un corretto dimensionamento o alla verifica di una rete di drenaggio.

URBIS permette di scegliere tra tre differenti tipologie di ietogramma di progetto, mostrati nella figura seguente:

- Ietogramma costante
- Ietogramma Huff
- Ietogramma Chicago

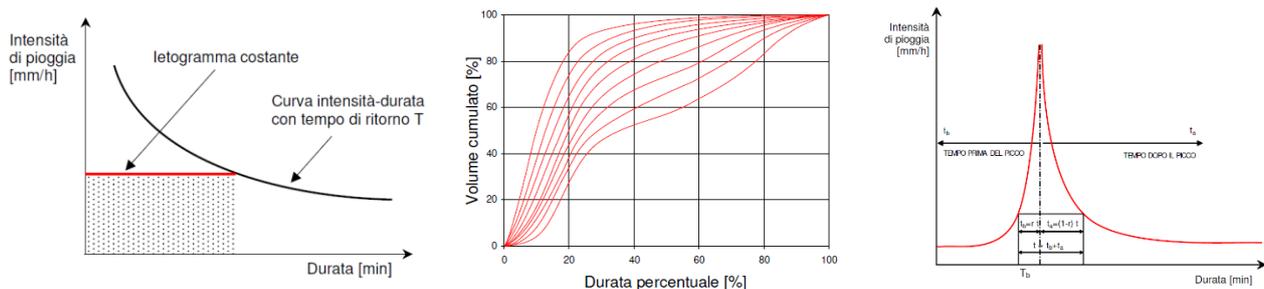


Figura 17 – Da sinistra: Ietogramma costante, Ietogramma Huff e Ietogramma Chicago

Nel caso di studio si è scelto di utilizzare un Ietogramma di tipo Chicago per motivi che nel seguito si illustreranno. In *URBIS* la costruzione di tale Ietogramma è effettuata numericamente discretizzando le equazioni che descrivono l'intensità nel tempo a seconda dell'intervallo di lavoro prescelto dall'utente. Per evitare intensità di picco irragionevoli qualora si lavori con intervalli di discretizzazione molto piccoli, viene imposto che il valore del picco dello Ietogramma sia valutato con riferimento alla durata considerata: 5 minuti se l'intervallo di discretizzazione prescelto è 1 minuto, 10 minuti se si considerano 10 minuti come intervallo, mentre in tutti gli altri casi si considera il valore stesso dell'intervallo di discretizzazione.

8.3 Depurazione dalle perdite

I fenomeni idrologici che avvengono sulla superficie del bacino scolante modificano in modo significativo sia la distribuzione temporale che il volume della pioggia utile ai fini del deflusso nella rete di drenaggio. Se si prescindere da evapotraspirazione e intercettazione, trascurabili durante eventi di precipitazione particolarmente intensi, i fenomeni idrologici da analizzare sono infiltrazione e immagazzinamento di acqua nelle depressioni superficiali esistenti. Questi processi sono normalmente trattati con un approccio di tipo idrologico che si basa su equazioni empiriche.

Vi sono tre opzioni per la stima della pioggia netta:

- metodo percentuale
- curve di Horton e depressioni superficiali
- metodo SCS-CN

8.4 Determinazione dell'idrogramma unitario istantaneo

Esistono molteplici modelli che consentono di trasformare gli afflussi netti in deflussi. Nella maggior parte dei modelli idrologici la definizione della risposta del bacino scolante viene affrontata con un approccio di tipo sintetico concettuale, ovvero si ipotizza che il bacino si comporti, ad esempio, come un serbatoio, come un canale o come una cascata di serbatoi e se ne individua la funzione di risposta in funzione di alcuni parametri il cui valore caratterizza il caso in esame. Se, poi, si restringe il campo ai modelli di tipo lineare, per i quali vale il principio di sovrapposizione degli effetti e la cui relazione ingresso-uscita è descritta da una equazione differenziale lineare, si dimostra che il legame tra portata uscente $q(t)$ e pioggia netta $p(t)$ è del tipo

$$q(t) = \int_0^t h(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

dove l'integrale prende il nome di integrale di convoluzione e la funzione $h(t)$ si chiama genericamente funzione impulsiva del sistema, la quale in idrologia prende il nome di idrogramma unitario istantaneo (IUH) poiché esso rappresenta l'idrogramma uscente dal bacino per una pioggia di durata infinitesima e volume unitario. *URBIS* prevede per la trasformazione afflussi – deflussi solamente modelli di tipo lineare o pseudo-lineare; in particolare:

- metodo del serbatoio lineare
- metodo della corrivazione
- metodo di Nash

Nel caso di studio si è utilizzato il modello di Nash, che schematizza il bacino come una cascata di serbatoi lineari. L'IUH del modello assume la forma:

$$h(t) = \frac{1}{K \cdot (n-1)!} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

essendo k la costante di invaso di ciascuno degli n serbatoi, supposti tutti uguali. Si riporta in Figura 18 l'andamento qualitativo dell'IUH così modellato.

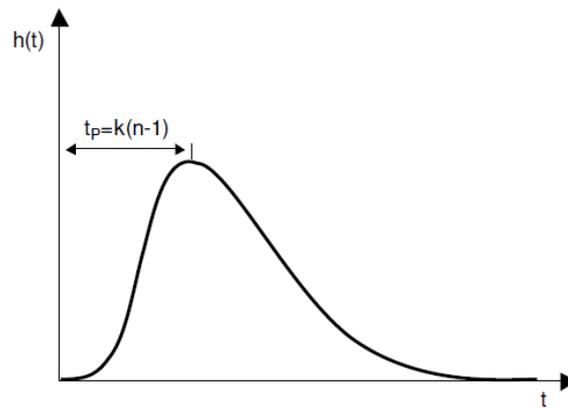


Figura 18 - IUH del modello di Nash

Per n e k , parametri caratteristici del modello, esistono in letteratura formule empiriche, ad esempio Ramachandra et al. (1972) propongono le seguenti espressioni:

$$\begin{cases} k = 0.575 \cdot A^{0.389} \cdot (1 + imp)^{-0.662} \cdot P^{-0.106} \cdot T^{0.222} \\ n = \frac{0.831 \cdot A^{0.458} \cdot (1 + imp)^{-0.662} \cdot P^{-0.267} \cdot T^{0.371}}{k} \end{cases}$$

dove A è l'area del bacino, imp è la frazione di area impermeabile sul totale, P il volume della pioggia netta e T la sua durata.

8.5 Calcolo della portata di piena

Il calcolo della portata e dell'idrogramma di piena viene eseguito da *URBIS* tramite la convoluzione di un idrogramma netto con un idrogramma unitario che devono essere discretizzati con lo stesso passo temporale. Questo step di calcolo richiede la specifica dell'area del bacino in analisi.

8.6 Definizione del volume di laminazione

La definizione del volume da laminare in apposite strutture richiede la risoluzione delle equazioni che reggono il fenomeno in esame, ovvero:

- equazione di continuità: $Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW}{dt}$
- equazione allo scarico: $Q_u(t) = f(h(t))$
- equazione di invaso nella vasca: $W(t) = g(h(t))$. *URBIS* ipotizza che la vasca sia cilindrica di superficie S , così si ottiene: $W(t) = S \cdot h(t)$.

dove $Q_e(t)$ indica la portata entrante nella vasca, $Q_u(t)$ quella uscente, $W(t)$ il volume invasato nella stessa, f è la funzione che lega la portata uscente al livello nella vasca e g rappresenta il legame tra il volume invasato nella vasca e l'altezza idrica nella stessa. Per la funzione f , *URBIS* prevede tre opzioni di scelta: scarico a portata costante tramite pompe, scarico a battente e scarico con legge di efflusso qualsiasi.

Ipotizzando una laminazione ottimale, il volume da laminare è stato definito tramite uno scarico a portata uscente costante mediante l'utilizzo di pompe.

9 ANALISI IDROLOGICA E IDRAULICA

L'analisi seguente è finalizzata alla valutazione delle portate di piena per assegnato tempo di ritorno e alla verifica dell'invarianza idrologica e idraulica, mostrata nel capitolo successivo. Lo studio è stato effettuato tramite procedura dettagliata ai sensi del punto A.2. dell'Allegato 2 del D.D.G. n.102, implementata con il codice di calcolo *URBIS 2003*, illustrato nel Capitolo 8 - *Codice di calcolo adottato per l'analisi idrologica e idraulica*.

9.1 Determinazione dei bacini nell'area di intervento

A seguito del rilievo topografico è stato possibile utilizzare il Modello Digitale del Terreno (DTM) con passo 0.5 m per definire i bacini del reticolo idrografico presenti nell'area oggetto di studio mediante l'utilizzo del software *QGIS*. Dall'analisi del reticolo idrico si sono definite le sezioni di chiusura riportate in Figura 19, che sottendono i cinque bacini mostrati in Figura 20.

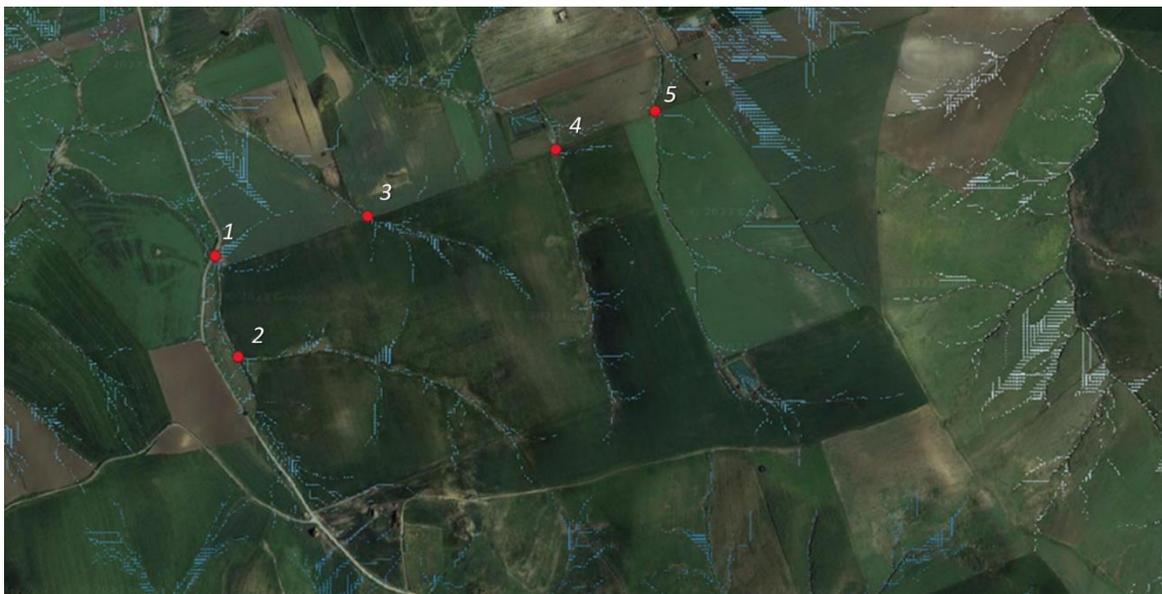


Figura 19 - Sezioni di chiusura (in rosso) nell'area di interesse

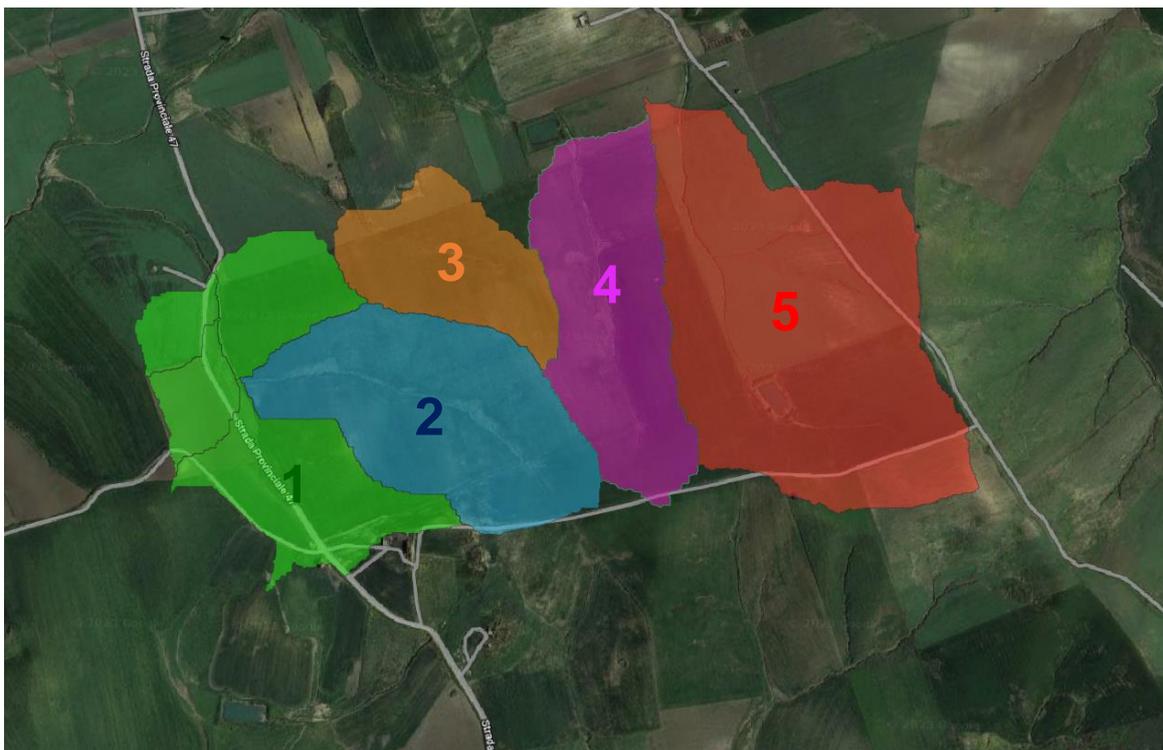


Figura 20 - Bacini idrografici analizzati

Bacino	Superficie (ha)
1	22.4
2	21.9
3	10.9
4	18.4
5	39.1

Tabella 9 - Aree dei bacini idrografici analizzati

Si può notare che il secondo ramo, il quale sottende il bacino 2, confluisce nel primo. Per questo motivo, si è considerato un unico bacino formato dall'unione dei bacini 1 e 2, indicato nel seguito come "bacino 1+2". Si considerano così quattro sezioni di chiusura, che sottendono i quattro bacini in Figura 21, in corrispondenza delle quali sono stati definiti gli idrogrammi di piena.



Figura 21 - Bacini riferiti all'area di progetto

Bacino	Superficie (ha)
1+2	30.99
3	8.97
4	17.38
5	30.41
Area totale (ha)	87.75

Tabella 10 – Area dei bacini in esame

9.2 Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione di un punto del bacino rappresenta il tempo necessario affinché la goccia d'acqua caduta in tale punto raggiunga la sua sezione di chiusura. Nelle applicazioni riveste particolare interesse il valore massimo, denominato tempo di corrivazione del bacino t_c , riferito al punto idraulicamente più distante dalla sezione di chiusura del bacino.

Per il calcolo di t_c esistono differenti relazioni, frequentemente utilizzata in Italia è la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{1.5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{A}}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$$

in cui t_c è espresso in ore, A in km², L è la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua, a partire dallo spartiacque, espressa in km, H_m è l'altitudine media del bacino e H_0 è la quota della sezione di chiusura del

bacino, espresse in m.s.l.m.

Tuttavia, nel caso di studio questa formula non appare pienamente adeguata in quanto essa venne ricavata da Giandotti utilizzando dati relativi a bacini di dimensione medio-grande, con aree compresa tra 170 e 70'000 km², molto più estesi, quindi, dei bacini di interesse in questo studio. Per bacini di dimensioni limitate trova frequente applicazione la formula per il calcolo di t_c proposta da Vito Ferro, ricavata prendendo in considerazione misure condotte in bacini strumentati e studiati da vari autori (Cavazza, Fattorelli, Marchi, Indelicato, Villani, Ermini, Riorentino, Gentile, Trisorid, Liuzzi, Chang-Xing). Secondo tale formula il tempo di corrivazione risulterebbe funzione della sola superficie del bacino:

$$t_c = k \cdot \sqrt{S}$$

tarata su un grande numero di bacini di superficie minori di 5'500 km², ottenendo per k il valore di 0.675.

Considerando i bacini analizzati in questa relazione, i tempi di corrivazione di ognuno sono riportati in Tabella 11, unitamente al valore medio.

Bacino	Superficie (ha)	t_c (h)
1+2	30.99	0.38
3	8.97	0.20
4	17.38	0.28
5	30.41	0.37
Media	21.94	0.32

Tabella 11 - Tempi di corrivazione dei bacini analizzati

Il tempo di corrivazione adottato nei successivi calcoli è dunque pari a **20 minuti**.

9.3 Ietogrammi di progetto

Per la definizione della pioggia di progetto si è considerato uno ietogramma Chicago, per cui per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta è congruente con quella definita dalla CPP.

Tale ietogramma è caratterizzato da un picco di intensità massima i_{max} e da un'intensità media uguale a quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica; l'intensità $i(t)$ e l'altezza di pioggia $h(t)$ dello ietogramma sono date dalle seguenti equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} i(t) = n \cdot a' \cdot \left(\frac{t_r - t}{k}\right)^{n'-1} \\ h(t) = k \cdot a' \cdot \left[\left(\frac{t_r}{k}\right)^{n'} - \left(\frac{t_r - t}{k}\right)^{n'} \right] \end{array} \right. \rightarrow \text{per } t \leq t_r \\ \left\{ \begin{array}{l} i(t) = n \cdot a' \cdot \left(\frac{t_r - t}{1 - k}\right)^{n'-1} \\ h(t) = k \cdot a' \cdot \left[\left(\frac{t_r}{k}\right)^{n'} + (1 + k) \cdot \left(\frac{t_r - t}{k}\right)^{n'} \right] \end{array} \right. \rightarrow \text{per } t > t_r \end{array} \right.$$

dove a' e n' sono i parametri delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), mentre $t_r = k\theta$ è l'istante in cui si verifica il picco. La posizione del picco è fissata a 1/3 della **durata complessiva dell'evento, che nel caso di studio è stata posta pari a 1 ora**, ritenuta adeguata poiché superiore al tempo di corrivazione del bacino considerato. Una caratteristica importante dello ietogramma Chicago è quella di essere poco sensibile al variare della durata complessiva. Infatti, l'aumento di quest'ultima non influisce sulla parte centrale dello ietogramma, ovvero quella intorno al picco, la quale rimane immutata, ma solo sull'allungamento delle code estreme, prima e dopo il picco. Ciò significa che uno ietogramma Chicago di durata generica pari a θ contiene in esso anche gli ietogrammi di durata inferiore: è, quindi, corretto considerare una durata complessiva superiore al tempo di corrivazione dei bacini analizzati al fine di tenere conto delle diverse durate significative per tutti i sottobacini.

Si riportano gli ietogrammi di progetto ottenuti con *URBIS* per il dimensionamento e la verifica delle opere di invarianza idraulica, ovvero rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 50 anni.

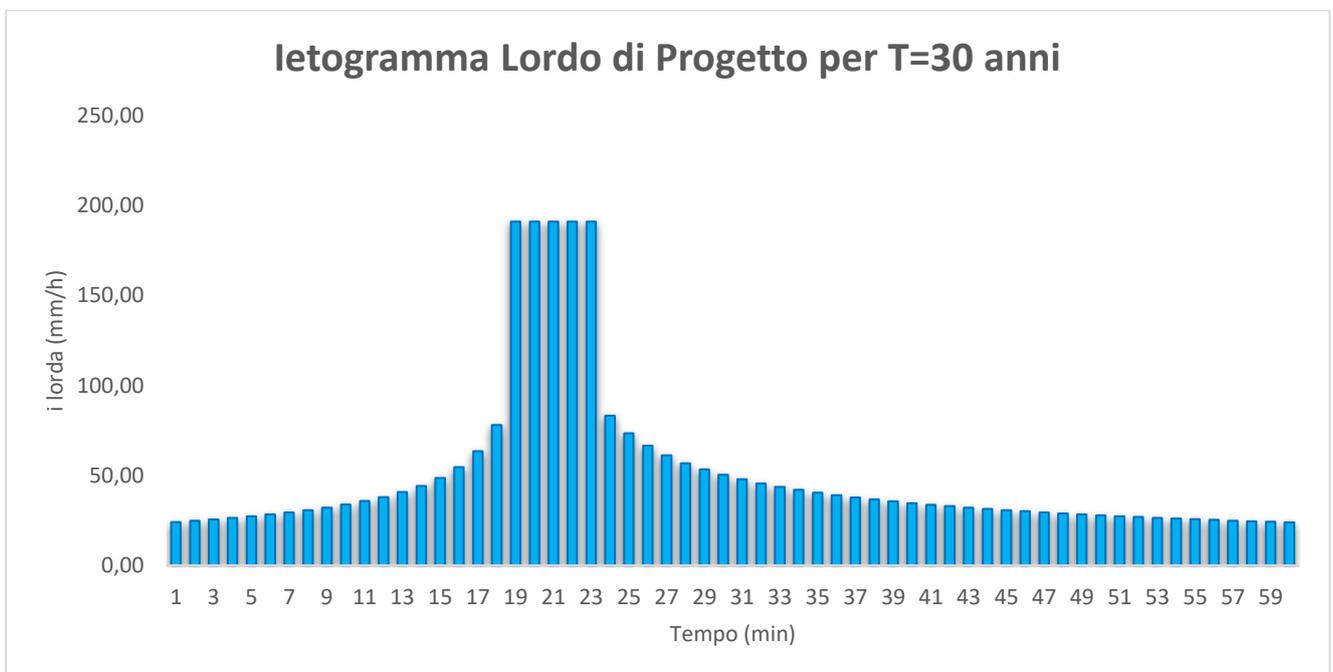


Figura 22 – Ietogramma lordo di progetto per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica (T=30 anni)

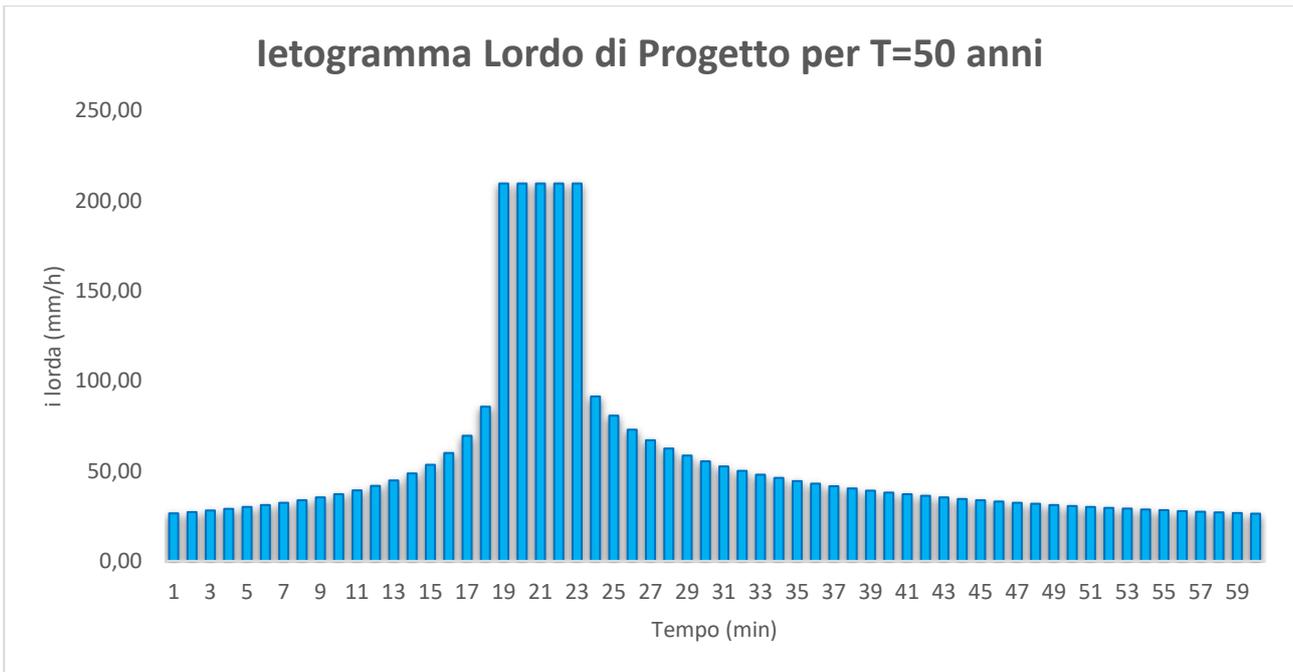


Figura 23 - Ietogramma lordo di progetto per la verifica delle opere di invarianza idraulica (T=50 anni)

9.4 Depurazione della precipitazione

Il processo di trasformazione afflussi – deflussi raggruppa l'insieme dei molteplici processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso dalla precipitazione. Difatti, parte della precipitazione stessa viene intercettata dalla vegetazione, una sua quota si infila nel terreno e un'ultima frazione si accumula in piccoli invasi naturali e/o artificiali, quali pozzanghere e avvallamenti del terreno: solamente la restante quantità costituisce il deflusso superficiale che defluirà verso la rete idrografica secondo le linee di massima pendenza del terreno. Quindi, la quantità di acqua precipitata che arriverà alla rete idrografica viene decurtata di una quota parte, definendo così la pioggia netta, responsabile del cosiddetto ruscellamento.

Per determinare la risposta idrologica del bacino in esame si è scelto di utilizzare il metodo SCS-CN, proposto dal Soil Conservation Service, secondo cui il volume specifico di deflusso superficiale P_e è proporzionale alla precipitazione cumulata lorda P , depurata dall'assorbimento iniziale I_a , secondo il rapporto tra il volume specifico infiltrato F e il volume specifico di saturazione del terreno S :

$$P_e = (P - I_a) \frac{F}{S} \rightarrow P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

essendo

- il volume specifico di infiltrazione $F = P - I_a - P_e$
- il volume specifico di saturazione $S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$, che dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, rappresentati dal parametro CN
- $S_0 = 254 \text{ mm}$ rappresenta un fattore di scala.

Parametro fondamentale di questo metodo, che ne definisce anche il nome, è il **Curve Number (CN)**, compreso tra 0 e 100, il quale indica l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La valutazione di questo parametro presuppone la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito un determinato CN sulla base di valori riportati in letteratura. Il valore di Curve Number dell'intero bacino si definisce come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee. Il metodo considera inoltre anche le condizioni di umidità del suolo nei giorni antecedenti l'evento di precipitazione (*Antecedent Moisture Conditions, AMC*), descritte da tre classi (*AMC-I, AMC-II, AMC-III*), caratterizzate da differenti condizioni iniziali, da potenziale di infiltrazione massimo a minimo. Ad ognuna di tali classi è correlato un Curve Number: *CN-I, CN-II, CN-III*. I valori di CN riportati nelle tabelle si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC, ovvero *AMC-II*. Per definire i valori da attribuire alle altre due condizioni di saturazione del suolo è necessaria l'applicazione delle relazioni qui sotto riportate:

$$\begin{cases} CN - I = \frac{CN - II}{2.38 - 0.014CN - II} \\ CN - III = \frac{CN - II}{0.43 + 0.0057CN - II} \end{cases}$$

Per gli scopi del presente elaborato si è utilizzato il valore di CN-II dal momento che esso è rappresentativo della condizione di saturazione intermedia del suolo, che si verifica più frequentemente.

Per la stima del Curve Number dell'area di studio è necessario dapprima definire il tipo idrologico di suolo. Facendo riferimento alla relazione geologica redatta nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento, per descrivere l'idrogeologia del sito si afferma:

"[...] si possono formare soltanto sottili orizzonti saturi superficiali di terreno, a profondità max di 3÷4 m dal pc (e non veri e propri acquiferi) grazie alla presenza di terreni a minore permeabilità che si sovrappongono a quelli argillosi; questa circostanza si verifica generalmente al passaggio tra i depositi alluvionali terrazzati o le porzioni alterate/rimaneggiate della formazione di Base (FBA) ed i sottostanti litotipi a permeabilità minore (FB). [...] Il complesso dei terreni direttamente interessato dall'impianto fotovoltaico in progetto (costituiti in superficie da sedimenti prevalentemente pelitici) possiede un grado di permeabilità primario, per porosità, scarso che può ospitare livelli idrici, di tipo libero, di scarsa entità e continuità idraulica, in funzione della granulometria dei costituenti ed al loro spessore."

Sulla base di quanto appena esposto si è considerato un **suolo idrologico di tipo C**, ovvero un suolo con bassa infiltrabilità se saturo, caratterizzato da uno strato che impedisce il moto dell'acqua verso il basso.

Nella formulazione originaria del metodo del Curve Number il valore di CN dipende, come detto, esclusivamente dal tipo di suolo e dalla tipologia di uso del territorio, mentre non vengono considerati altri parametri caratteristici del bacino, quali ad esempio la pendenza dei versanti, l'organizzazione del reticolo idrografico, l'altitudine media, etc...

Recentemente sono tuttavia state proposte delle formulazioni in grado di tener conto anche della pendenza del bacino, che può giocare un ruolo importante nel ruscellamento superficiale e quindi nella valutazione delle perdite. Il campione di dati considerato per la taratura del metodo del Curve Number comprendeva bacini con pendenza media attorno al 5%, pertanto è lecito attendersi che con bacini di pendenza sensibilmente superiore anche il valore di CN sia superiore al valore tabulato.

Essendo il bacino in esame molto pendente, si ritiene più corretto fare riferimento a queste nuove formulazioni, in particolare quella di Ajmal et al, 2020 che tiene conto della pendenza media del bacino α che risulta dalla media pesata delle pendenze locali e che nel caso in esame è stata determinata dall'analisi del modello digitale del terreno ricostruito:

$$CN - II_{\alpha} = \left[\frac{CN - II \cdot (50 - 0.5CN - II)}{CN - II + 75.43} \right] \cdot [1 - e^{-7.125(\alpha - 0.05)}] + CN - II$$

Nel caso di studio la pendenza media α del bacino è assunta pari al 15%.

Applicando il metodo SCS-CN, si stima il coefficiente di deflusso dell'area, che il D.D.G. n.102 definisce come "il rapporto tra il volume defluito attraverso una assegnata sezione in un definito intervallo di tempo, e il volume meteorico totale precipitato nell'intervallo stesso", inserito successivamente nel codice di calcolo *URBIS 2003* quale parametro di depurazione delle piogge lorde.

Nel caso in esame si valutano tre differenti scenari:

- **scenario di pre-urbanizzazione**, che rappresenta la condizione attuale;
- **scenario di post-urbanizzazione**, il quale raffigura la situazione a seguito della trasformazione del suolo con installazione dell'impianto agrofotovoltaico e della viabilità sterrata connessa;
- **interventi migliorativi**: questa configurazione considera lo scenario di progetto, prevedendo interventi migliorativi della condizione del suolo su tutta l'area di intervento (creazione di prato stabile come meglio specificato in seguito).

9.4.1 Scenario di Pre-Urbanizzazione

Nell'assetto attuale, dalla carta dell'uso del suolo Corine Land Cover si riscontra nell'area la presenza di:

- seminativi semplici e colture erbacee estensive, per una copertura di circa 24 ha,
- vigneti con estensione di circa 63 ha,

i quali definiscono un Curve Number medio del sito pari a 79, come riportato in Tabella 12.



Figura 24 - Uso del suolo dell'area di intervento (perimetrata dalla linea in nero) secondo il Corine Land Cover (fonte: Geoportale Regione Sicilia)

	Superficie (ha)	CN-II (-)
<i>Seminativi semplici e colture erbacee estensive</i>	24.35	86
<i>Vigneti</i>	63.40	77
CN-II medio (-)	87.75	79

Tabella 12 - Valori di Curve Number pre-urbanizzazione nell'area in esame

Applicando il metodo SCS-CN, con gli opportuni correttivi definiti per tenere conto della pendenza dell'area, si stima il coefficiente di deflusso del sito nella condizione di pre-urbanizzazione.

PRE - URBANIZZAZIONE				
P	CN-II	CN-II α	P _e	ϕ
(mm)	(-)	(-)	(mm)	(-)
50.91	79	82	16.55	0.33

Tabella 13 - Coefficiente di deflusso pre-urbanizzazione dell'area di futuro intervento

9.4.2 Scenario di Post-Urbanizzazione

L'area su cui si prevede la costruzione dell'impianto agrifotovoltaico si estende per circa 88 ha, di cui effettivamente solamente circa 23 ha verranno modificati per l'introduzione di pannelli fotovoltaici, viabilità sterrata e edifici necessari. Sulla restante area non trasformata si mantiene valido in CN medio precedentemente calcolato, pari a 79.

	Superficie (ha)	CN-II (-)
<i>Aree non trasformate</i>	65.16	79
<i>Pannelli fotovoltaici</i>	18.31	100
<i>Strade sterrate</i>	4.28	90
CN-II medio (-)	87.75	84

Tabella 14 - Valori di Curve Number post-urbanizzazione nell'area in esame

Applicando anche in questo scenario il metodo SCS-CN, si stima il coefficiente di deflusso dell'area nella condizione di post-urbanizzazione.

POST - URBANIZZAZIONE				
P	CN-II	CN-II α	P _e	ϕ
(mm)	(-)	(-)	(mm)	(-)
50.91	84	86	21.65	0.43

Tabella 15 - Coefficiente di deflusso post-urbanizzazione dell'area di futuro intervento

9.4.3 Interventi migliorativi

Il terzo scenario valutato corrisponde alla configurazione di progetto con introduzione di interventi migliorati nell'intera area di futuro intervento. Nello specifico, questi interventi prevedono il mantenimento del suolo in ottime condizioni idrologiche con la realizzazione di un prato stabile che consente attività agricola. Si precisa che, essendo i pannelli sopraelevati rispetto al suolo, anche l'area ad essi sottostante sarà rinverditata così da ottenere un ripristino diffuso della copertura verde e incrementare il controllo del ruscellamento e il grado di infiltrazione del terreno.

In conformità con la normativa vigente, per rispettare i principi di invarianza idrologica e idraulica si è deciso di adottare le **Misure di Ritenzione Naturale delle Acque (Natural Water Retention Measures – NWRM)**, le quali consentono un basso impatto ambientale nella laminazione e nell'infiltrazione nel suolo dei volumi di precipitazione. Il loro interesse risiede nei numerosi vantaggi che esse possono potenzialmente fornire e nelle loro capacità di contribuire contemporaneamente al raggiungimento di obiettivi introdotti da differenti politiche dell'Unione Europea, fra cui la direttiva quadro sulle acque (Direttiva 2000/60/CE), la direttiva sulle alluvioni (Direttiva 2007/60/CE) e la strategia dell'UE sulla biodiversità.

Le NWRM sono misure multifunzionali che mirano a proteggere e gestire le risorse idriche attraverso mezzi e processi naturali e costruendo quindi un'infrastruttura naturale, ad esempio, modificando come nel caso di studio l'utilizzo dei terreni. Inoltre, sono in grado al contempo di offrire numerosi benefici all'ecosistema, quali il miglioramento della capacità di conservazione degli acquiferi, del suolo e degli ecosistemi acquatici, il miglioramento dello stato quantitativo dei corpi d'acqua, la riduzione della vulnerabilità ad alluvioni e siccità, influenzando anche positivamente sullo stato chimico ed ecologico dei corpi d'acqua.

Al fine di migliorare lo scenario di progetto si prevede l'introduzione di **sistemi NWRM tipo "Coperture verdi"** (Codice A8– Agricoltura), di cui si allega la cosiddetta "carta d'identità". Le coperture verdi sono in grado di proteggere il suolo, che altrimenti rimarrebbe nudo durante l'inverno, dall'erosione eolica e idrica. In generale, esse aumentano l'evaporazione e la traspirazione rispetto al suolo nudo con una conseguente

riduzione del ruscellamento sino all'80%. Infine, forniscono habitat e consentono il mantenimento di buone condizioni per ulteriori coltivazioni, contribuendo così ad un'agricoltura sostenibile.



Figura 25 - Esempio di coperture verdi secondo le NWRM

Questa configurazione conduce a miglioramenti delle condizioni non solo rispetto allo scenario di post-urbanizzazione, ma anche nei confronti della situazione attuale del sito di intervento.

Una quota parte di terreno al di sotto dei pannelli, occupata dal plinto e dal palo di sostegno del pannello, rimane a superficie impermeabile.

	Superficie (ha)	CN-II (-)
<i>Aree trasformate a prato stabile</i>	82.12	71
<i>Plinti di pannelli fotovoltaici</i>	1.36	100
<i>Strade sterrate</i>	4.28	90
CN-II medio (-)	87.75	72

Tabella 16 - Valori di Curve Number con interventi migliorativi nell'area in esame

Infine, tramite applicazione del metodo SCS-CN, con gli opportuni correttivi per i terreni acclivi, si stima il coefficiente di deflusso dell'area nello scenario con interventi migliorativi.

INTERVENTI MIGLIORATIVI				
P	CN-II	CN-II α	P_e	ϕ
(mm)	(-)	(-)	(mm)	(-)
50.91	72	75	9.73	0.19

Tabella 17 - Coefficiente di deflusso con interventi migliorativi dell'area di futuro intervento

Il coefficiente di deflusso ottenuto, migliorativo anche rispetto alla condizione pre intervento, è in linea

con quanto delineato all'interno della scheda dedicata alle "Coperture verdi" dei sistemi NWRM, secondo cui per tali coperture si ottiene una riduzione del ruscellamento rispetto al suolo nudo sino all'80% (corrispondente a un $\varphi = 0.2$).

9.5 Parametri del modello di Nash

Per il calcolo dell'IUH si è scelto di adottare il modello di Nash, che descrive il bacino come una cascata di n serbatoi uguali in serie. I parametri utilizzati in questo ambito sono quelli di default previsti dal codice di calcolo, ovvero:

$$\left\{ \begin{array}{l} k = \frac{t_p}{n-1} = \frac{0.5 \cdot t_c}{n-1} \\ n = 3 \end{array} \right.$$

essendo t_c il tempo di corrivazione del bacino considerato (paragrafo 9.2 - *Stima del tempo di corrivazione*). Segue il valore della costante k pari a $0.083 h$.

10 VERIFICA DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Nel capitolo corrente si confrontano, mediante il codice di calcolo *URBIS 2003*, gli idrogrammi generati dall'evento trentennale in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini considerati (Figura 26), ubicate sul confine nord dell'area di progetto, nei tre scenari considerati, qui ribaditi:

- scenario di pre-urbanizzazione: $\varphi = 0.33$
- scenario di post-urbanizzazione: $\varphi = 0.43$
- interventi migliorativi: $\varphi = 0.19$.

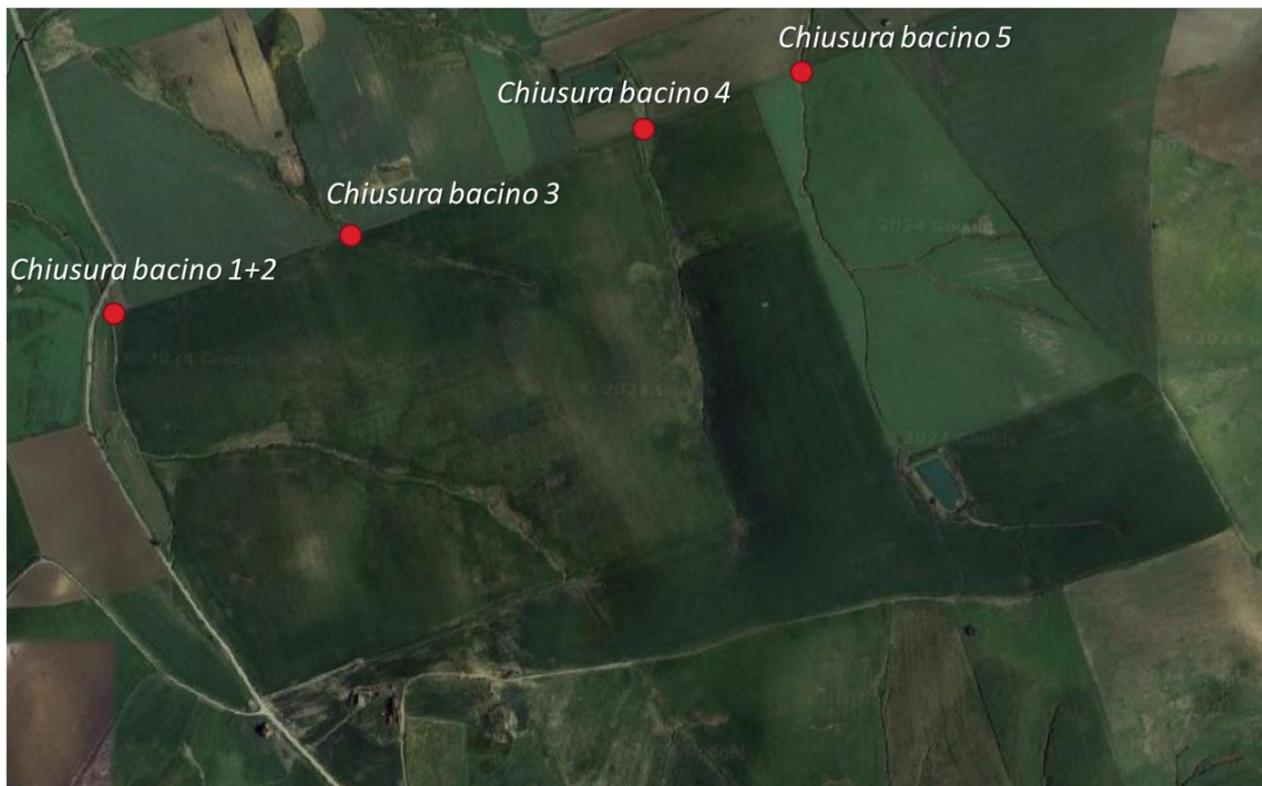


Figura 26 - Sezioni di chiusura dei bacini dell'analisi idraulica

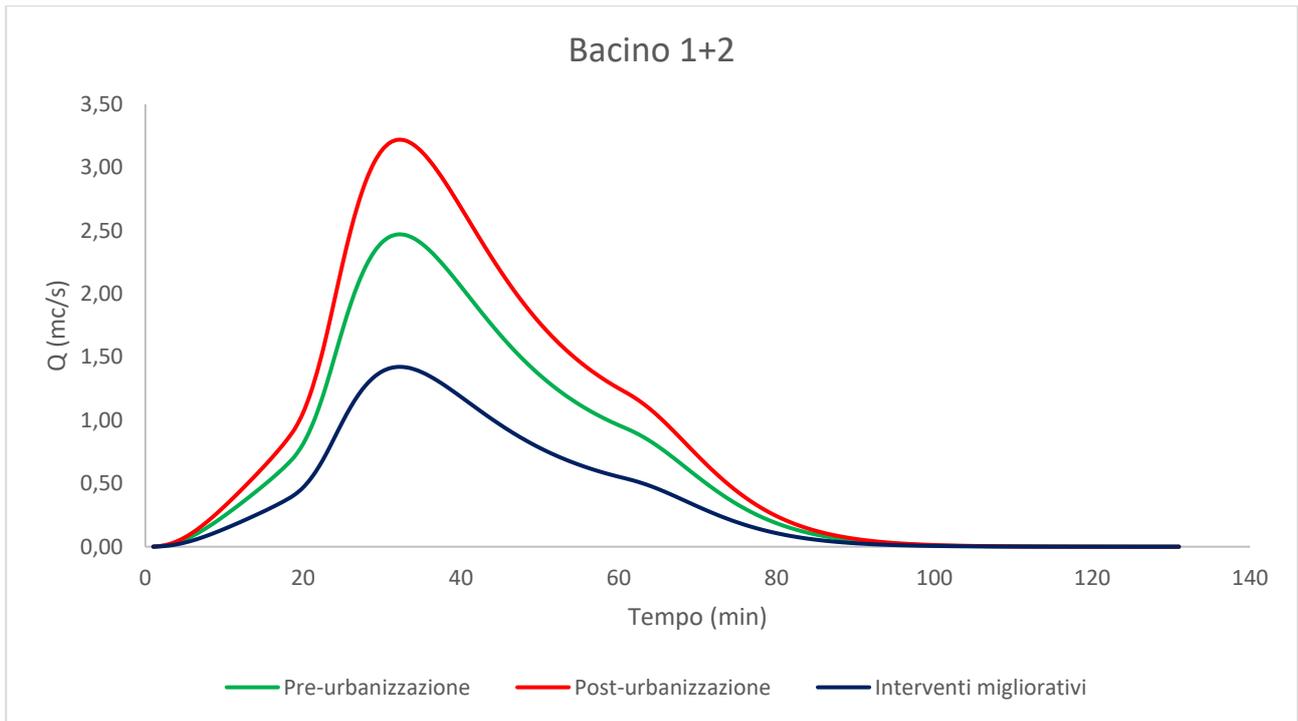


Figura 27 - Idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 1+2

	<i>Pre-urbanizzazione</i>	<i>Post-urbanizzazione</i>	<i>Interventi migliorativi</i>
Q_{max} (mc/s)	2.47	3.22	1.42

Tabella 18 - Portata al colmo nei tre scenari per il bacino 1+2

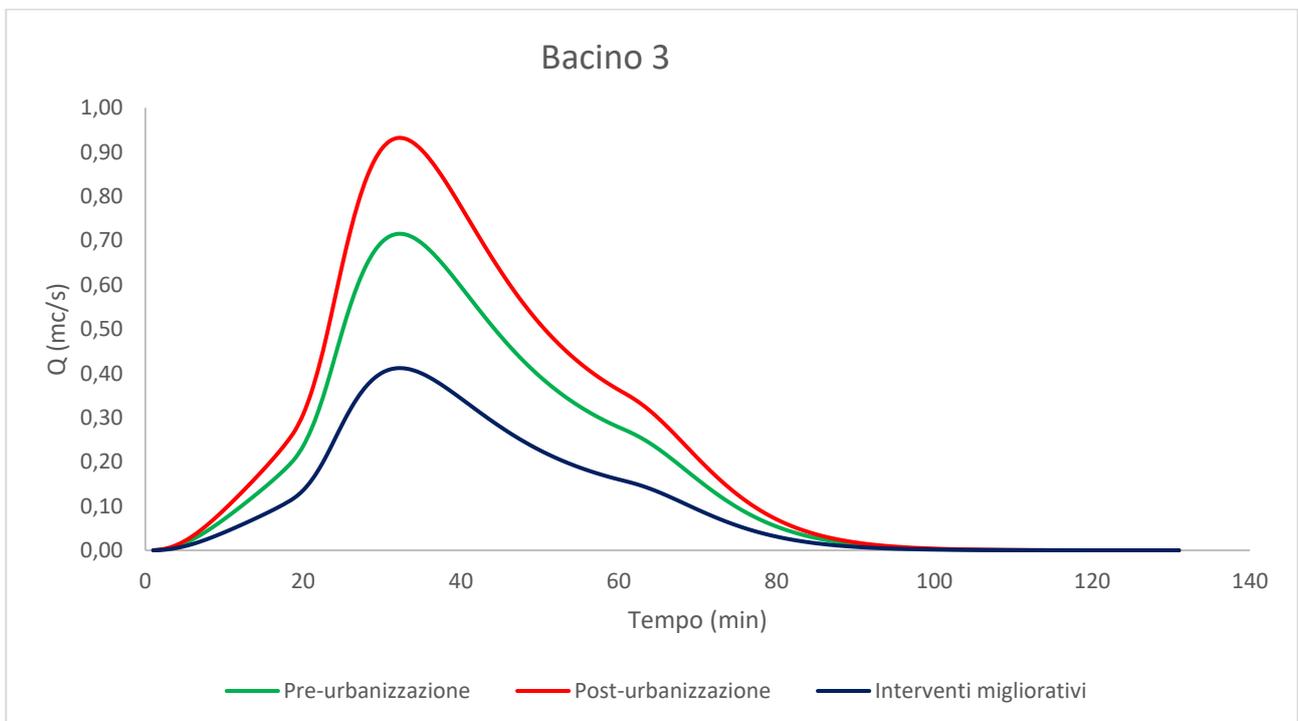


Figura 28 - Idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 3

	<i>Pre-urbanizzazione</i>	<i>Post-urbanizzazione</i>	<i>Interventi migliorativi</i>
Q_{max} (mc/s)	0.72	0.93	0.41

Tabella 19 - Portata al colmo nei tre scenari per il bacino 3

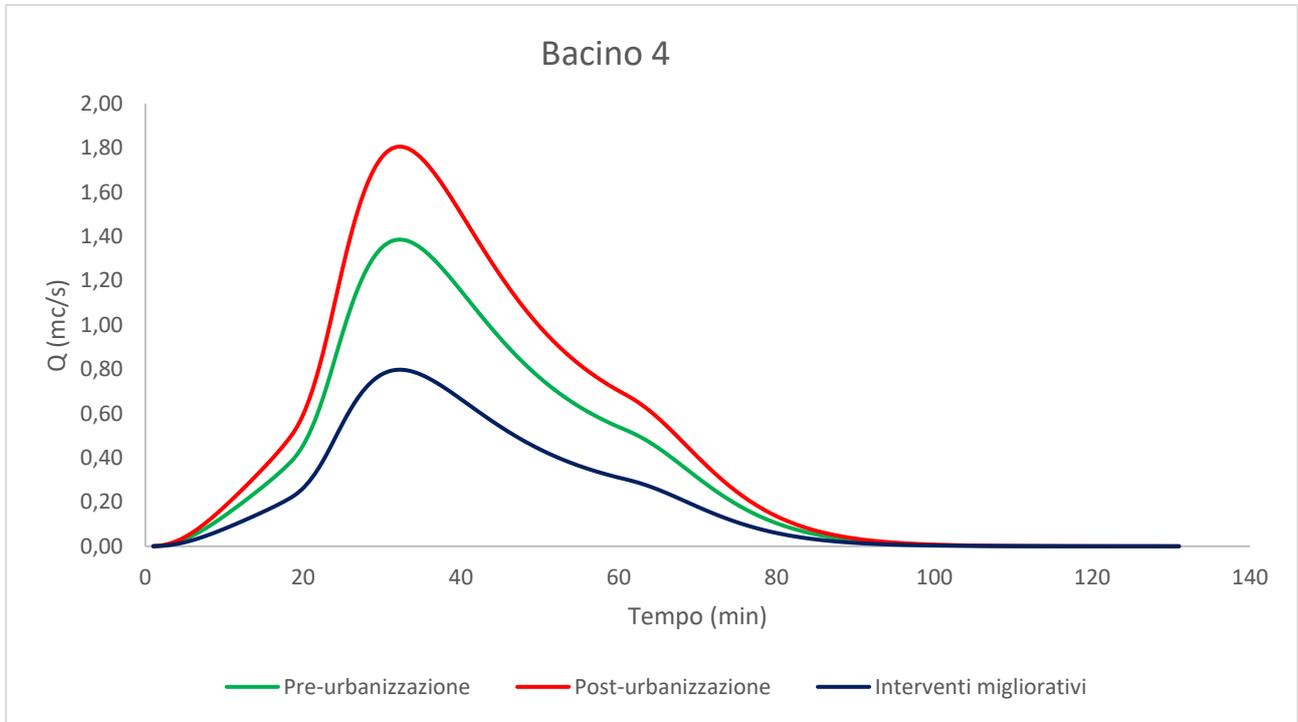


Figura 29 - Idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 4

	<i>Pre-urbanizzazione</i>	<i>Post-urbanizzazione</i>	<i>Interventi migliorativi</i>
Q_{max} (mc/s)	1.39	1.81	0.80

Tabella 20 - Portata al colmo nei tre scenari per il bacino 4

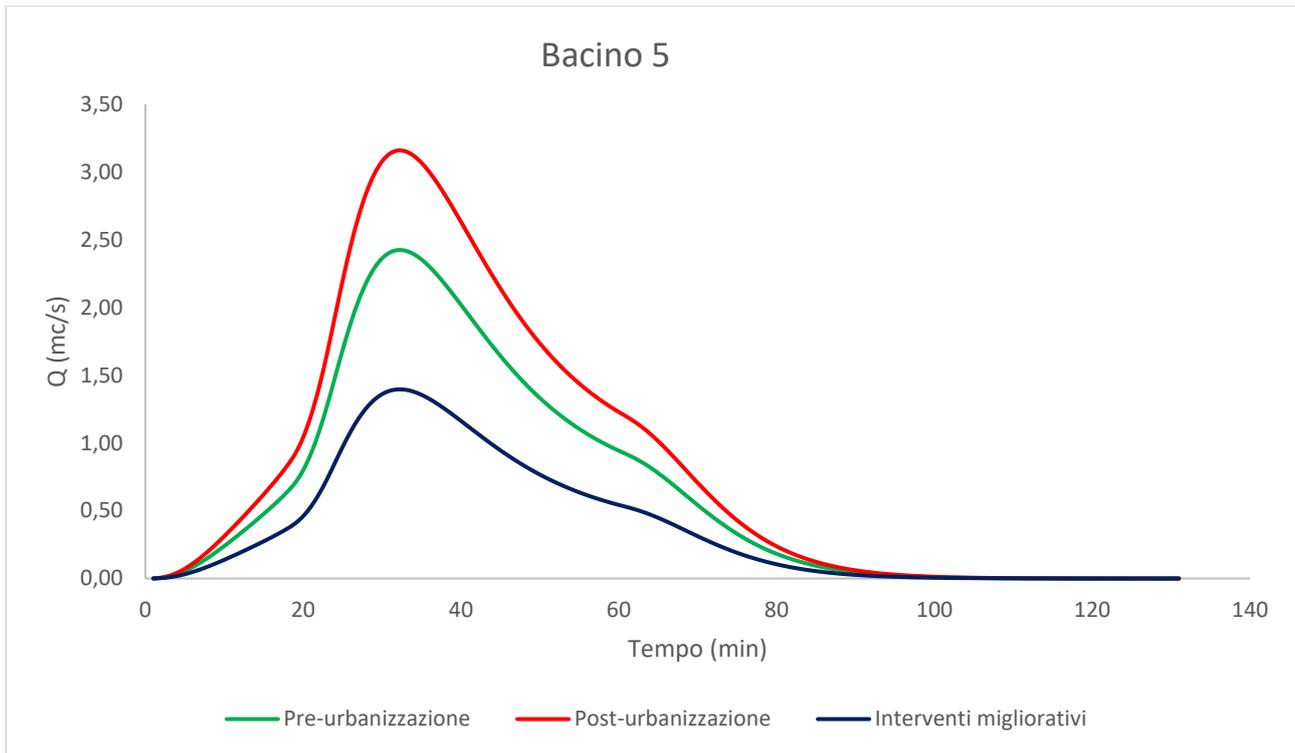


Figura 30 - Idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 5

	<i>Pre-urbanizzazione</i>	<i>Post-urbanizzazione</i>	<i>Interventi migliorativi</i>
Q_{max} (mc/s)	2.42	3.16	1.40

Tabella 21 - Portata al colmo nei tre scenari per il bacino 5

Gli scenari simulati rappresentano tre condizioni differenti di uso del suolo. La condizione di pre-urbanizzazione, rappresentata dagli idrogrammi verdi nei grafici sopra riportati, raffigura la situazione attuale dell'area di intervento. In particolare, si rileva la presenza di seminativi e vigneti che garantiscono al terreno un buon grado di infiltrazione indicato da un basso coefficiente di deflusso, pari a 0.33. La realizzazione dell'impianto agrifotovoltaico e dei servizi ad esso connessi (edifici e viabilità) implica un aumento dell'impermeabilità del terreno, che si osserva nel conseguente aumento della portata in uscita dal sito di progetto (idrogrammi in rosso), oppure, in altri termini, nell'aumento dei volumi d'acqua in uscita dalle sezioni di chiusura rispetto allo scenario di pre-urbanizzazione.

L'introduzione delle Misure di Ritenzione Naturale delle Acque (NWRM) conduce a miglioramenti delle condizioni non solo rispetto allo scenario di post-urbanizzazione, ma anche nei confronti della situazione attuale del sito di intervento. Difatti, come si osserva dagli idrogrammi (in blu) in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini, si rileva una riduzione del picco della portata, a cui corrispondono volumi d'acqua in uscita inferiori sia rispetto alla pre-urbanizzazione che alla post-urbanizzazione.

11 DEFINIZIONE DEI VOLUMI DI INVARIANZA IDRAULICA

Come si è mostrato nel capitolo precedente, la soluzione progettuale con l'introduzione di interventi migliorativi comporta un complessivo miglioramento delle condizioni di deflusso dell'area di intervento. In particolare, si ha una diminuzione delle portate scaricate dovuta ad un incremento del controllo di ruscellamento e del grado di infiltrazione del terreno grazie alla formazione di un prato stabile.

Ciò nonostante, per apportare un ulteriore beneficio complessivo al sito di intervento e in ottemperanza al regolamento regionale (D.D.G. n.102/2021), si ritiene di prevedere una aggiuntiva laminazione applicata alle sole aree oggetto di trasformazione.

L'introduzione dell'impianto agrifotovoltaico e dei servizi ad esso connesso prevede una modifica delle condizioni attuali del suolo per una superficie complessiva di circa 23 ha, suddivisi come riportato nella tabella seguente.

	Superficie (ha)
Pannelli	18.31
Viabilità	4.28
Totale	22.59

Tabella 22 - Superficie interessata dalle opere

Si espone nel seguito la metodologia adottata per il calcolo dei volumi necessari alla laminazione secondo il D.D.G. n.102 del 2021.

11.1 Determinazione della portata limite allo scarico

La perdita di suolo permeabile concorre all'incremento del coefficiente di deflusso delle acque, con conseguente aumento del coefficiente udometrico delle aree trasformate. Per contrastare tale fenomeno, secondo normativa le trasformazioni urbanistiche o edilizie che prevedono una modifica del grado di permeabilità del suolo devono prevedere interventi mitigativi in grado di mantenere costante il coefficiente udometrico pre-urbanizzazione. L'articolo 2 del D.D.G. n.102 del 2021 riporta:

"[...] La presente norma assume, in sede di prima applicazione, un coefficiente udometrico preesistente alle aree di nuova urbanizzazione pari a 20 l/s ha (valore dimezzato per lo scarico in aree a pericolosità P3 e P4 del PAI), che individua il valore limite da non superare allo scarico nel ricettore finale (corpo idrico superficiale). L'obiettivo dell'invarianza idraulica e idrologica è, dunque, quello di garantire che il valore del coefficiente udometrico, nella situazione post operam, rimanga immutato rispetto alla situazione ante operam".

Dunque, secondo la normativa vigente in ambito di invarianza idraulica, nel caso in esame si richiede di considerare un coefficiente udometrico $u = 20 \frac{l}{s} ha_{imp}$ per ettaro di superficie impermeabilizzata

dall'intervento di urbanizzazione in essere, ovvero l'installazione di pannelli fotovoltaici, la costruzione di edifici a servizio dell'impianto stesso e la realizzazione della viabilità necessaria.

La portata scaricata è calcolabile con la seguente formulazione:

$$Q_{lim} = u \cdot A_{imp} = u \cdot A \cdot \varphi$$

Per determinare il coefficiente di deflusso si riapplicano le metodologie già espresse nel paragrafo 8.3 - *Depurazione dalle perdite* limitatamente alle superfici ora oggetto di trattazione.

La portata limite scaricabile è determinata nello scenario di post-urbanizzazione.

	Superficie (ha)	CN-II (-)
<i>Pannelli fotovoltaici</i>	18.31	100
<i>Strade sterrate</i>	4.28	90
CN-II medio (-)	22.59	98

Tabella 23 - Valori di Curve Number post-urbanizzazione dell'area oggetto di trasformazione

Applicando il metodo SCS-CN alle aree oggetto di trasformazione, si stima il coefficiente di deflusso dell'area trasformata nella condizione post-urbanizzazione, risultante pari a 0.89 come mostrato nella tabella sotto riportata.

POST – URBANIZZAZIONE (AREE TRASFORMATE)				
P	CN-II	CN-II α	P _e	φ
(mm)	(-)	(-)	(mm)	(-)
50.91	98	98	45.18	0.89

Tabella 24 - Coefficiente di deflusso post-urbanizzazione dell'area oggetto di trasformazione

Definito quindi il coefficiente di deflusso del sito oggetto di trasformazione nello scenario di post-urbanizzazione ($\varphi = 0.89$), è possibile determinare per ogni bacino la portata limite scaricabile.

Bacino	Superficie oggetto di trasformazione (ha)	Q_{lim} (l/s)
1+2	7.19	127.58
3	1.73	30.77
4	4.91	87.19
5	8.76	155.39

Tabella 25 - Portata limite allo scarico

11.2 Volumi di laminazione

Per il contenimento delle portate scaricate il primo e più efficace intervento è il già descritto miglioramento delle condizioni del suolo tramite realizzazione di un prato stabile nell'intera area di progetto, il quale permette di ridurre il coefficiente di deflusso delle stesse aree trasformate, anche rispetto alla configurazione attuale del sito.

In riferimento alle sole aree oggetto di futura trasformazione, l'introduzione degli interventi migliorativi in progetto comportano una riduzione del Curve Number rispetto allo scenario di post-urbanizzazione: difatti, come mostrato nella tabella sottostante, si ha un CN delle aree trasformate pari a 75, inferiore al 98 senza tali interventi (Tabella 23).

	Superficie (ha)	CN-II (-)
<i>Aree a prato stabile</i>	18.31	71
<i>Strade sterrate</i>	4.28	90
CN-II medio (-)	22.59	75

Tabella 26 - Valori di Curve Number – interventi migliorativi dell'area oggetto di trasformazione

Dunque, tramite applicazione del metodo SCS-CN si definisce il coefficiente di deflusso relativo alle aree di futura trasformazione con l'applicazione degli interventi migliorativi:

INTERVENTI MIGLIORATIVI (AREE TRASFORMATE)

P (mm)	CN-II (-)	CN-II α (-)	P _e (mm)	ϕ (-)
50.91	75	78	12.37	0.24

Tabella 27 - Coefficiente di deflusso – interventi migliorativi dell'area oggetto di trasformazione

Per il raggiungimento della portata limite, in ottemperanza al regolamento, è necessario prevedere dei volumi di laminazione. Il dimensionamento e la verifica delle opere di laminazione sono stati condotti secondo quanto previsto al punto A.4. dell'Allegato 2 del D.D.G. n.102 del 2021 e secondo il punto C.5.4 dell'Appendice C delle NTA del PAI della Regione Siciliana. Nello specifico, si prevede il dimensionamento dell'invaso considerando un tempo di ritorno pari a 30 anni e garantendo un massimo riempimento pari al 70%, verificato poi per 50 anni adottando un riempimento massimo del 90% (franco del 10%).

Nei grafici successivi si riportano per ogni bacino in verde gli idrogrammi in ingresso all'opera di laminazione, mentre in rosso quelli in uscita, calcolati con il codice di calcolo *URBIS*: la differenza tra i due idrogrammi rappresenta il volume da laminare.

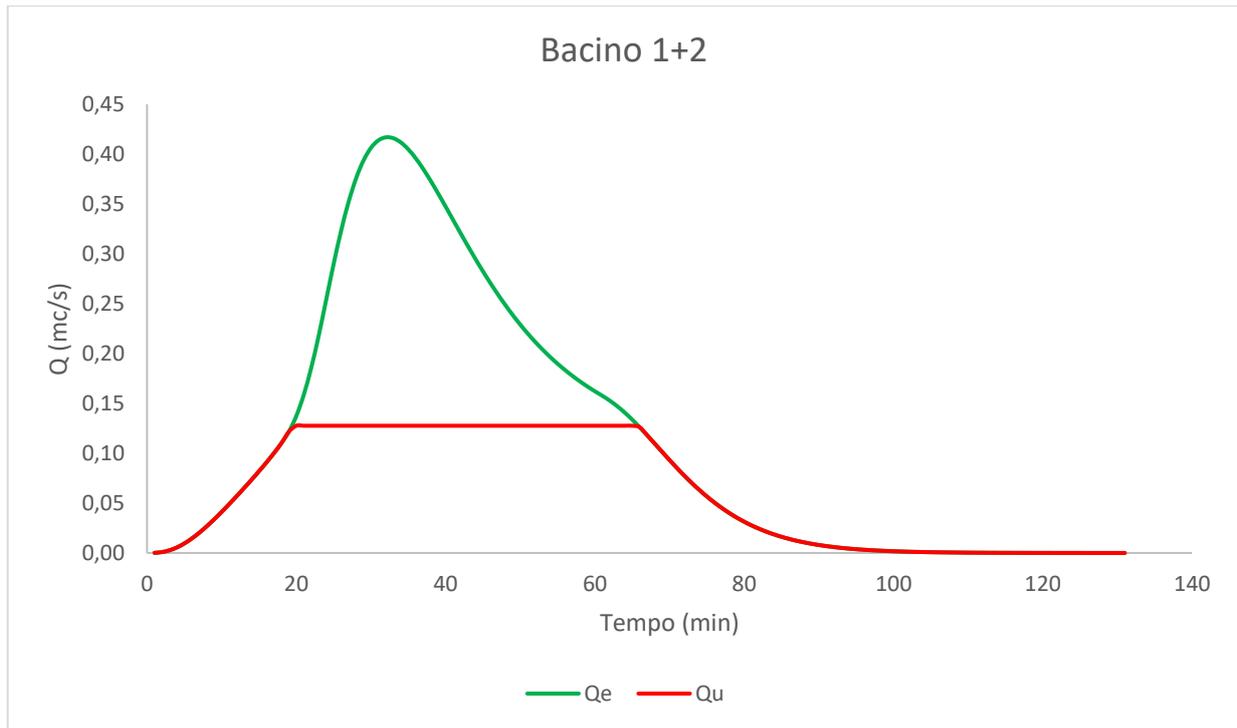


Figura 31 – $T = 30$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 1+2

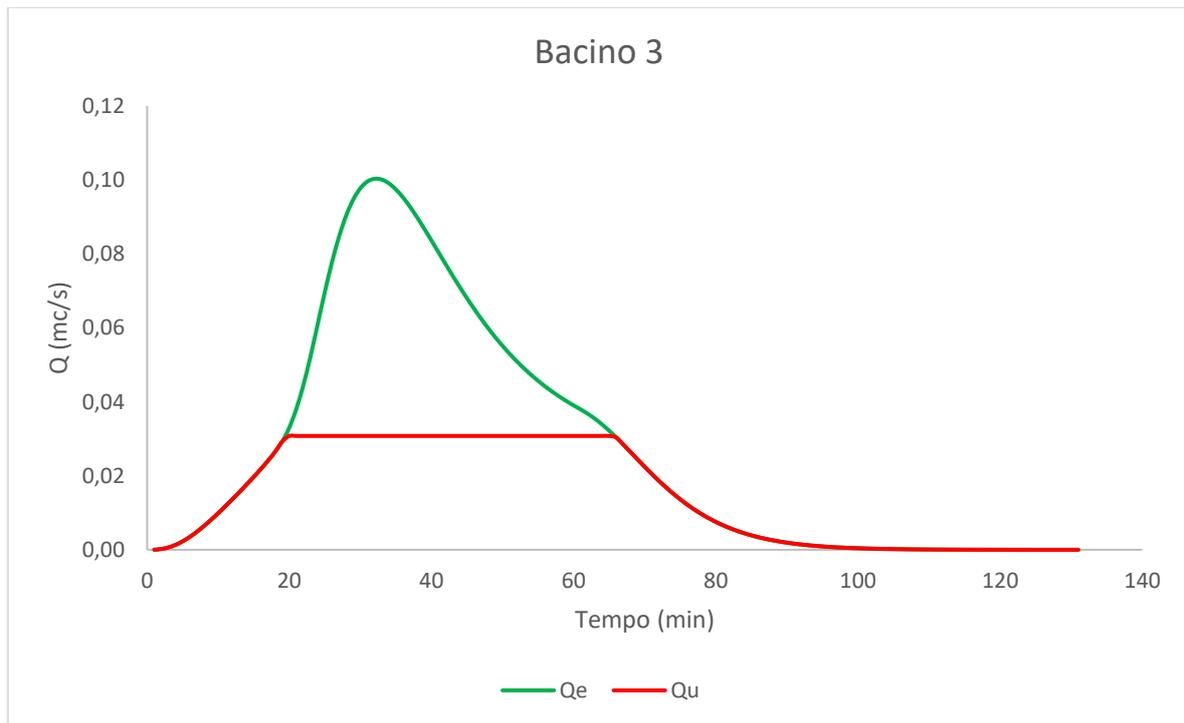


Figura 32 – $T = 30$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 3

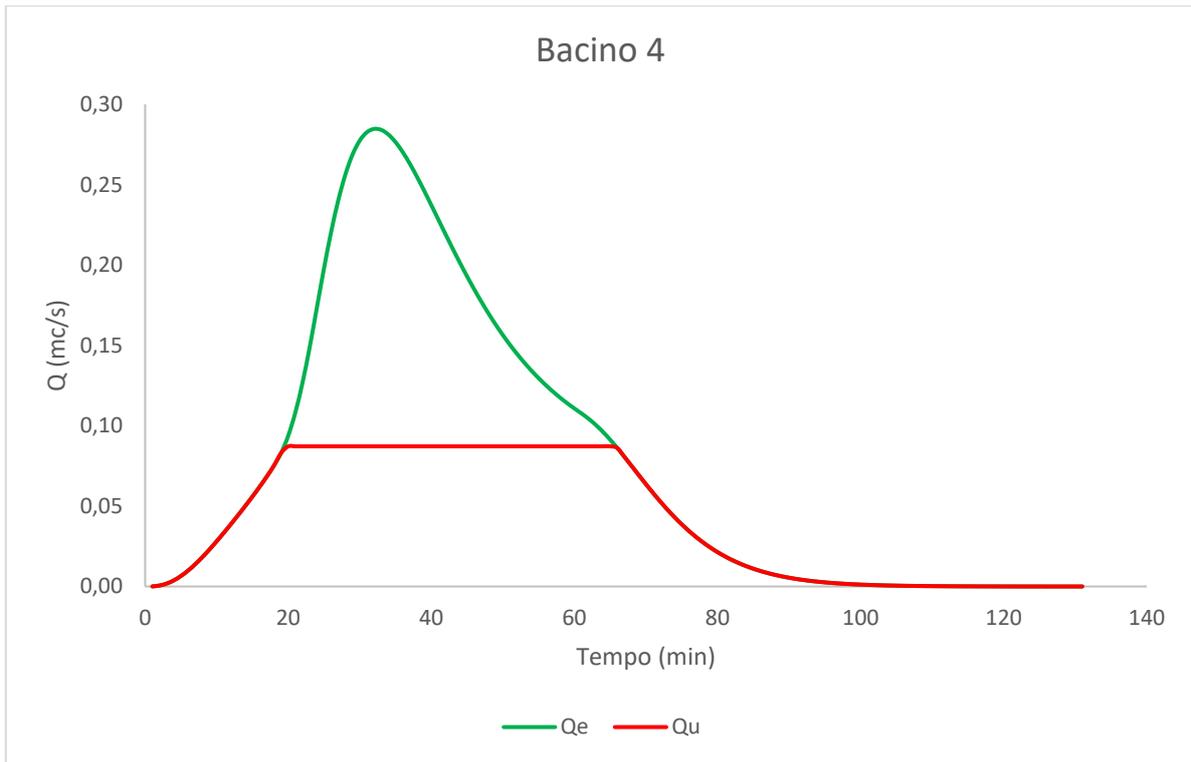


Figura 33 – $T = 30$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 4

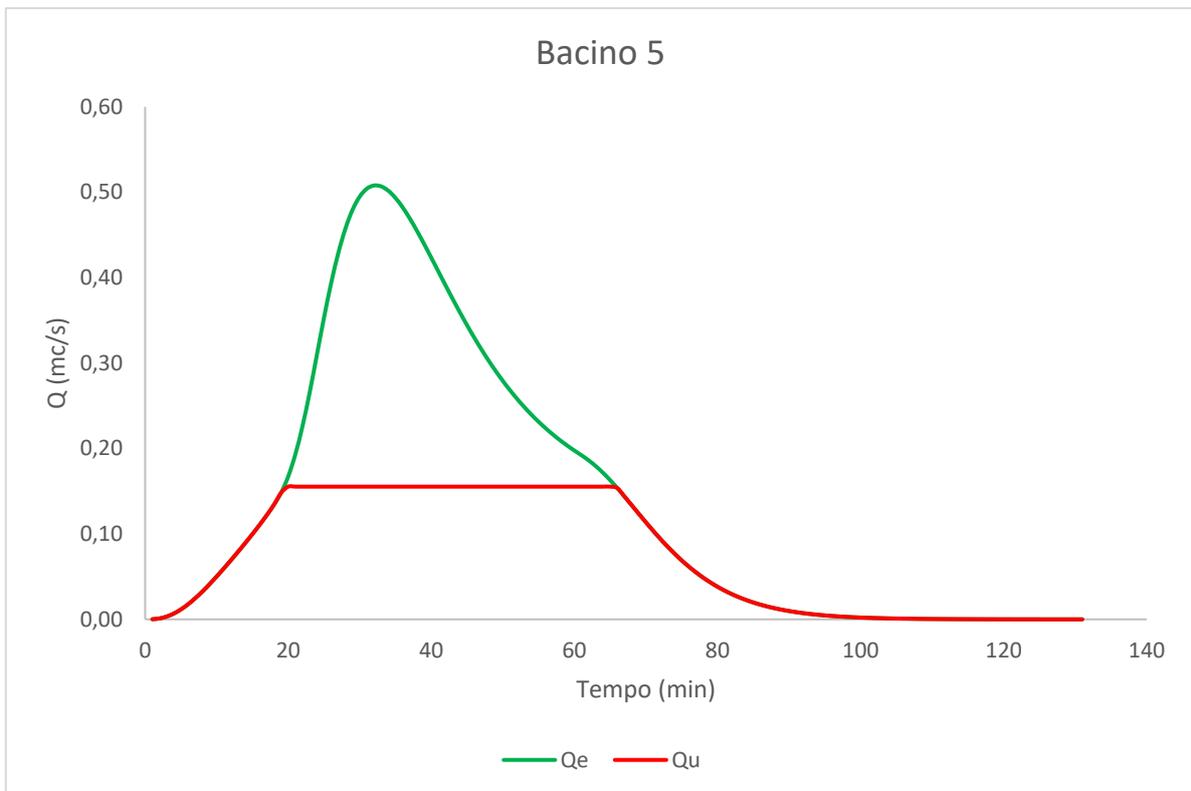


Figura 34 – $T = 30$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 5

Lo stesso procedimento è stato applicato considerando il tempo di ritorno di 50 anni al fine di stimare i volumi corrispondenti. Si riportano di seguito gli idrogrammi che caratterizzano la stessa condizione.

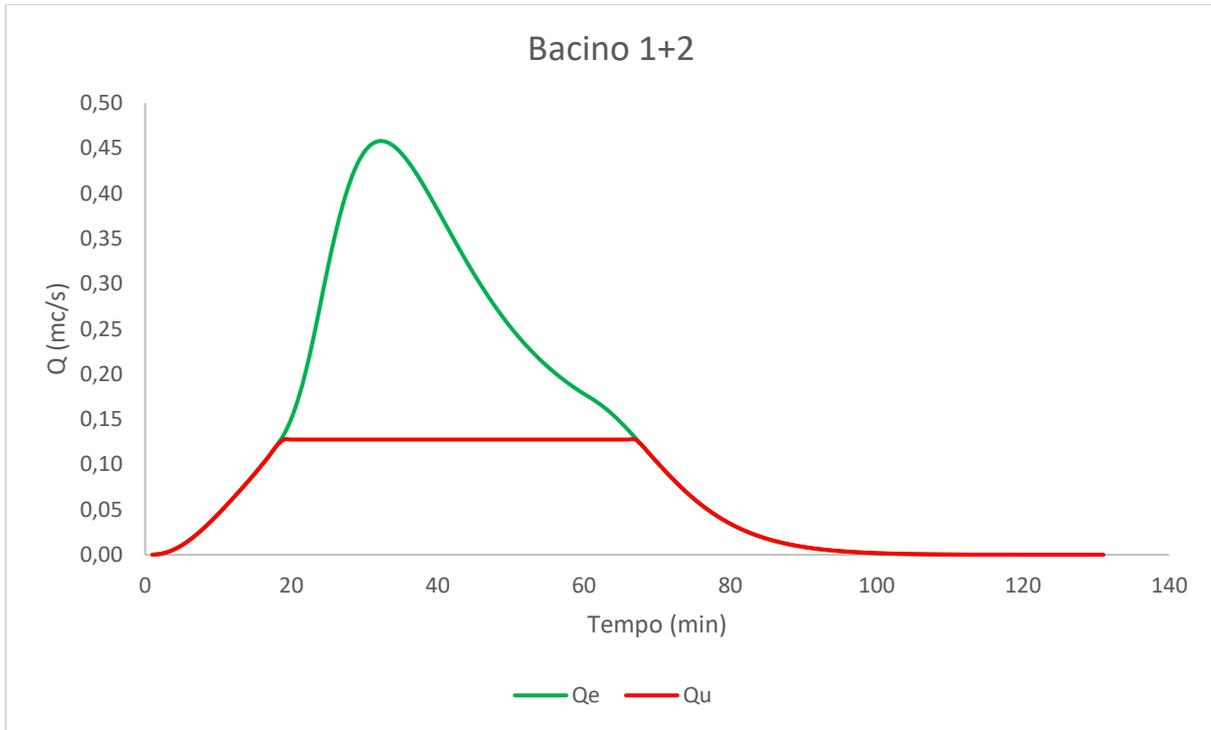


Figura 35 – $T = 50$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 1+2

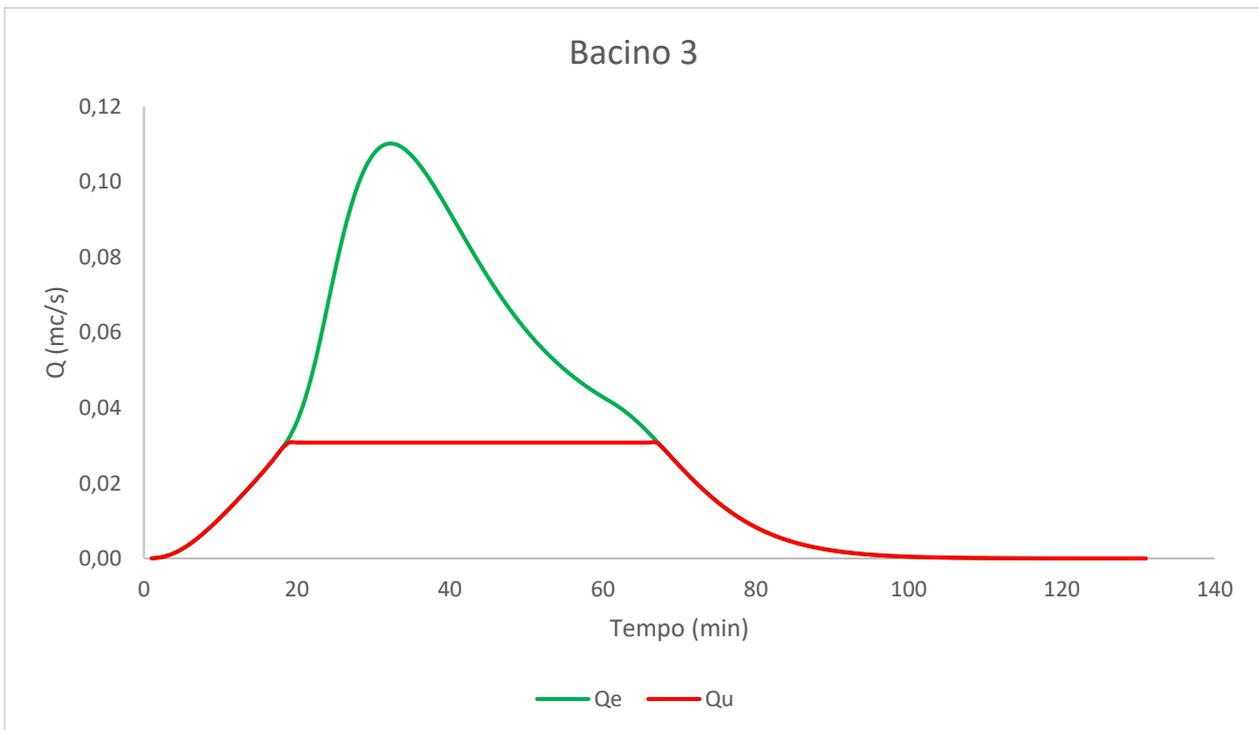


Figura 36 – $T = 50$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 3

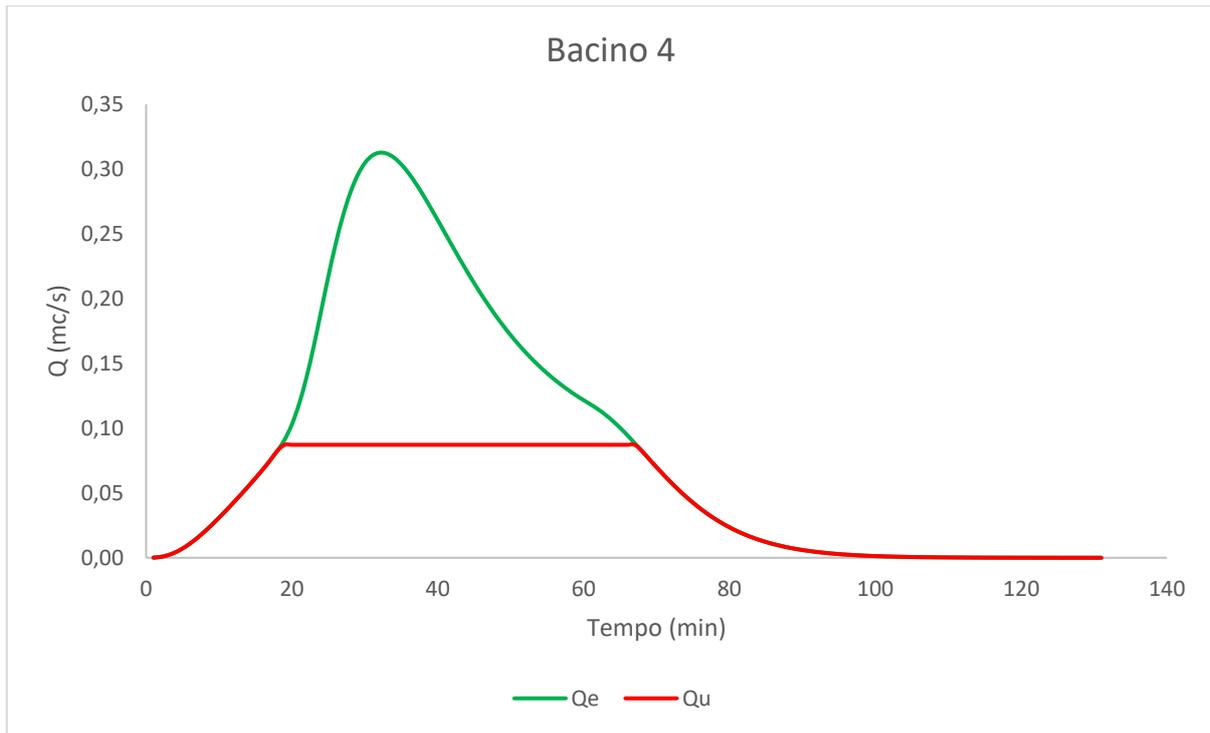


Figura 37 – $T = 50$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 4

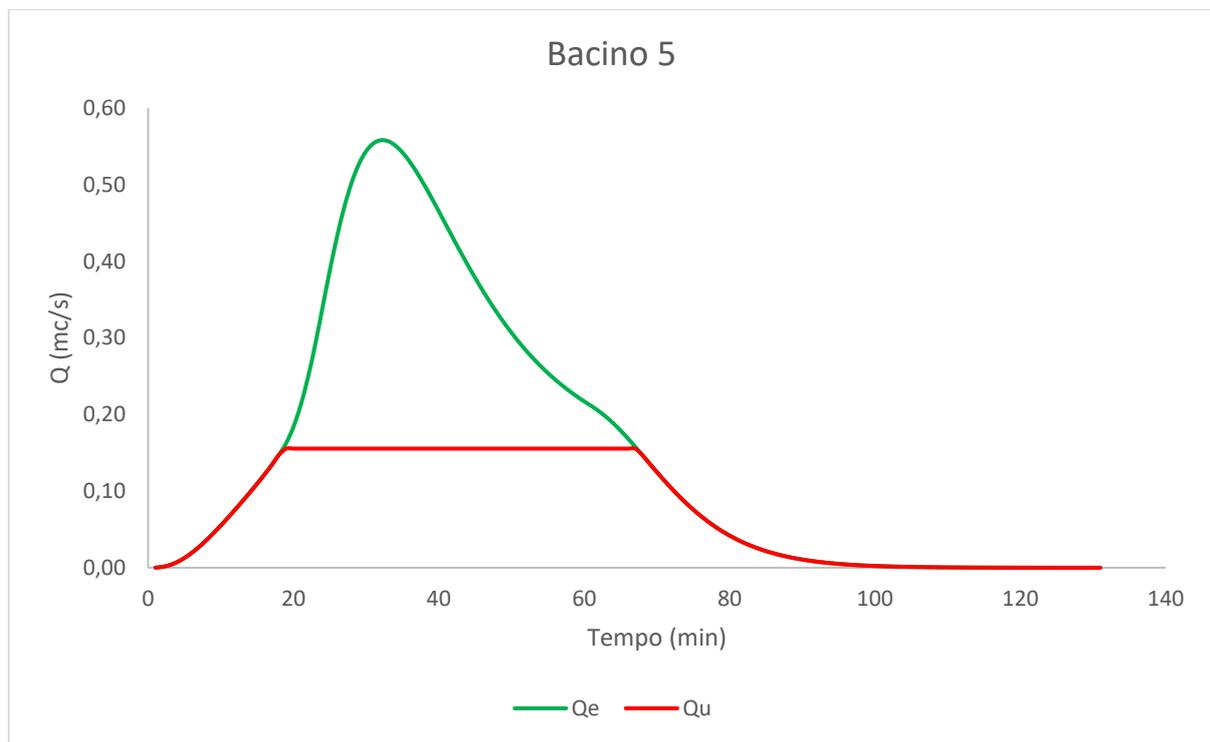


Figura 38 – $T = 50$ anni: idrogrammi alla sezione di chiusura del bacino 5

I volumi per entrambi i tempi di ritorno sono riportati in Tabella 28.

Bacini	V (T=30 anni) (mc)	V (T=50 anni) (mc)
1+2	405.32	476.96
3	97.22	114.45
4	276.59	325.51
5	494.02	581.31

Tabella 28 - Volumi di laminazione

Le opere di laminazione dovranno garantire il contenimento dei volumi calcolati con il grado di riempimento previsto dalla normativa (70% rispetto al volume trentennale e il 90% rispetto a quello cinquantennale).

12 CONCLUSIONI

L'analisi condotta è stata finalizzata alla valutazione della invarianza idrologica e idraulica dell'intervento riguardante la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico da realizzarsi nel territorio comunale di Monreale (PA) nel rispetto del principio di invarianza di cui al D.D.G. n.102 del 23/06/2021.

Al fine di verificare il principio di invarianza idraulica si sono analizzati tre differenti scenari:

- lo scenario di pre-urbanizzazione rappresenta la condizione attuale del sito oggetto di intervento, dove il terreno si caratterizza per la presenza di seminativi semplici, colture erbacee estensive e vigneti, i quali definiscono un coefficiente di deflusso pari a 0.33.
- lo scenario di post-urbanizzazione corrisponde alla configurazione del sito successiva alla realizzazione dell'impianto agrofotovoltaico nel suo complesso (pannelli, edifici, viabilità). In questo caso, l'introduzione di queste opere contribuisce ad una diminuzione del grado di permeabilità del suolo, con conseguente aumento del ruscellamento. Per tale motivo, il coefficiente di deflusso subirebbe un incremento, passando da 0.33 al valore di 0.43.
- l'ultimo scenario, denominato "*interventi migliorativi*", introduce un miglioramento della configurazione progettuale tramite la formazione di un prato stabile sull'intera area di intervento, anche nell'area coperta dai pannelli stessi. In questo caso, dunque, si prevede il mantenimento del suolo in ottime condizioni idrologiche e un incremento del controllo di ruscellamento. In tale scenario, il coefficiente di deflusso stimato si riduce a 0.19, valore inferiore sia alla configurazione di pre-urbanizzazione sia allo scenario di post-urbanizzazione.

55
57

Dunque, per il contenimento delle portate scaricate dai corsi d'acqua presenti, **il primo e più efficace intervento consiste nel miglioramento delle condizioni del suolo, ottenuto tramite realizzazione di un prato stabile nell'intera area di progetto**, miglioramento che come già ribadito permette di ottenere benefici non solo in riferimento alla configurazione di post-urbanizzazione, ma anche rispetto alla situazione attuale del sito di intervento.

Sebbene lo scenario con presenza di interventi migliorativi garantisca un significativo beneficio, per garantirne uno ulteriore e in ottemperanza al regolamento regionale concernente l'invarianza idrologica e idraulica, si è prevista una laminazione applicata alle sole aree oggetto di trasformazione.

L'introduzione dell'impianto agrofotovoltaico e dei servizi ad esso connesso prevedono una modifica delle condizioni d'uso del suolo per una superficie complessi di circa 23 ha, di cui circa 18 per l'installazione dei pannelli e la restante per la viabilità necessaria.

In ottemperanza al regolamento, è necessario prevedere delle opere di laminazione, da dimensionare per un tempo di ritorno di 30 anni, garantendo un franco del 30% sul grado di riempimento, e da verificare per $T = 50$ anni con franco del 10% sul grado di riempimento. Nel caso di studio, a seguito di un coefficiente

udometrico dell'area oggetto di trasformazione pari a 20 l/s ha di superficie impermeabile, si riassumono nella tabella sottostante le portate limite da rispettare e i risultanti i volumi di laminazione da garantire.

Bacino	Q lim (l/s)	V (T= 30 anni) (mc)	V (T= 50 anni) (mc)
1+2	127.58	405.32	476.96
3	30.77	97.22	114.45
4	87.19	276.59	325.51
5	155.39	494.02	581.31

Tabella 29 - Risultati dei volumi per l'invarianza idraulica

13 ALLEGATI

13.1 Carta d'identità della NWRM A8 – Coperture verdi



A8 - Coperture verdi

Le coperture verdi (incluse le colture di copertura o le colture di raccolta) fanno riferimento a colture seminate su terreni arabili, per **proteggere il suolo**, che altrimenti rimarrebbe nudo durante l'**inverno**, dall'erosione eolica e idrica. Le coperture verdi possono essere seminate insieme alla coltura primaria (raccolta) o successivamente alla sua raccolta. Le coperture verdi non vengono raccolte ma vengono arate nuovamente nel suolo. Questo contribuisce a migliorare la struttura del suolo, diversifica il sistema di colture e mitiga la perdita di nutrienti solubili.

SUPERFICIE PERTINENTE ALL'APPLICAZIONE

Superficie artificiale



Terreno agricolo



Foreste e aree semi-naturali



Aree umide



Le coperture verdi possono essere implementate su qualsiasi campo e sotto coperture arboree.

SCALA

Le coperture verdi si applicano su scala di campo.

COSTI FINANZIARI

(DI CAPITALE, DI ESERCIZIO E DI MANUTENZIONE)

I costi delle sementi sono i più importanti nell'implementazione delle coperture verdi e raggiungono da €18 a 36€/ha. Anche la piantumazione e distruzione creano dei costi. I costi di capitale totali variano da €40 a 140/ha, inclusa la frantumazione, l'aratura delle stoppie e l'utilizzo di rulli, mentre i costi di manutenzione variano da €52 a 63/ha.

PROGETTAZIONE

Le coperture verdi possono essere introdotte nella rotazione delle colture o come parte delle strisce coltivate. Una combinazione di misure relative alle **pratiche di conservazione del suolo** consente il miglioramento dello stato di qualità delle acque e la riduzione del rischio di alluvione. Le coperture verdi devono essere **seminate precocemente** per trarre beneficio dall'acqua e dal sole (questo può essere un limite nei paesi settentrionali), devono essere composte da specie adattate alle esigenze, come i legumi, e devono presentare una densità di semina adatta agli obiettivi di resa.



© Gambler



A8 - Coperture verdi

EFFETTI BIOFISICI POTENZIALI

Ruscellamento	●
Riduzione dell'inquinamento	●
Conservazione del suolo	●
Habitat	○
Cambiamenti climatici	●

SERVIZI DEGLI ECOSISTEMI FORNITI

Approvvigionamento	●
Regolazione e manutenzione	●
Culturale	○
Abiotico	○

CONTRIBUTO AGLI OBIETTIVI DELLE POLITICHE

Direttiva quadro sulle acque	●
Direttiva sulle alluvioni	●
Direttiva sugli uccelli e sugli habitat	○
Strategia sulla biodiversità 2020	●

Le coperture verdi in genere **aumentano l'evaporazione-traspirazione** rispetto al suolo nudo, con una conseguente **riduzione del ruscellamento** (fino all'80% o 50 mm). In alcuni casi possono ridurre l'evaporazione-traspirazione, aumentando pertanto la ritenzione dell'acqua nel suolo, il che migliora la ricarica delle acque di falda. Rallentando e riducendo il ruscellamento, le coperture verdi contribuiscono a minori rischi di alluvione, minore erosione (fino al 50%) e minori perdite di sedimenti (fino al 4,2%). In associazione con l'assenza di aratura, comportano **risparmi idrici** dal 12 al 46%.

Grazie all'assorbimento dal suolo, le coperture verdi **riducono i residui di inquinanti** (da 10 a 46 kgN/ha) e la concentrazione nell'acqua di drenaggio (dal 23 all'85% per NO₃⁻). Pertanto contribuiscono a prevenire il deterioramento delle acque di superficie riducendo sia l'infiltrazione di inquinanti che la perdita di sedimenti. La migliore ricarica delle acque di falda può aiutare a mantenere un buono stato delle acque di falda stesse.

Le coperture verdi possono acquisire da 300 kgC/ha a 0,38 tN/ha (colture di cattura) e rendere disponibili i nutrienti, migliorando la **fertilità del suolo**. Grazie all'assorbimento del carbonio, le coperture verdi giocano un ruolo nella mitigazione dei cambiamenti climatici.

Le coperture verdi forniscono **habitat** e consentono il mantenimento di buone condizioni per ulteriori coltivazioni, contribuendo pertanto a un'agricoltura sostenibile. Infine, possono avere un impatto positivo sulla **resa** delle colture seguenti (da +1 a +75% per le coperture di legumi).