

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO AGRO-VOLTAICO DENOMINATO

"SIGONELLA"

SITO NEI COMUNI DI
BEPASSO E RAMACCA (CT)

**RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICO-
IDROLOGICA**

COMMITTENTE:

CARRATOIS S.R.L.

Viale Santa Panagia, 141/D – 96100 – Siracusa (SR)

CODICE

MITEPUARELO15A0

REVISIONE:

00

DATA ELABORATO:

14/07/2022

INDICE

1	Premessa	2
2	Inquadramento territoriale e descrizione sintetica del progetto	2
3	Verifica di invarianza idraulica e idrologica	3
3.1	Premessa e stima del coefficiente di deflusso medio ponderato ante e post-operam	3
3.2	Valutazione dell'invarianza idrologico-idraulica delle aree oggetto di intervento (in accordo ai par. A2 e A4 della D.D.G. 102/2021).....	3
3.2.1	Identificazione schema di progetto e valutazioni idrologiche	3
3.2.2	Determinazione volumi di laminazione (rif., Allegato 2 – par. A.4).....	7
3.2.3	Verifiche idrauliche delle opere in progetto	11
4	Conclusioni.....	18

1 Premessa

La presente relazione fornisce un'analisi geomorfologica e idrogeologica del territorio su cui insiste l'impianto agro-fotovoltaico in progetto, finalizzata alla verifica dell'invarianza idraulica del settore analizzato in accordo al D.D.G. 102 del 23/6/2021. A seguito di un'analisi topografica, geologica e idrogeologica del settore oggetto di studio, scopo dell'elaborato sarà proprio il dimensionamento delle opere necessarie per garantire l'invarianza idrologica e idraulica dell'area interessata dall'intervento, secondo i vincoli e le prescrizioni fornite nel D.D.G. 102/2021. In particolare, è stata applicata la procedura descritta all'Allegato 2 "Indirizzi tecnici per la progettazione di misure di invarianza idraulica e idrologica" della norma sopra individuata.

2 Inquadramento territoriale e descrizione sintetica del progetto

L'impianto fotovoltaico denominato "Sigonella" interessa, in termini di area pannellabile, una superficie con estensione complessiva di poco più di 1 km², suddivisa in 5 distinti campi fotovoltaici distribuiti nella porzione della piana catanese soggetta alle esondazioni dei tre corsi d'acqua del reticolo idrografico principale Dittaino, Gornalunga e Simeto.

Si riporta, di seguito, l'inquadramento territoriale dei suddetti campi:



Figura 1. Ubicazione aree impianto Sigonella con relativa numerazione – Inquadramento territoriale su larga scala da Google Earth

Considerate le valutazioni analitiche rese necessarie per il dimensionamento delle opere di presidio idraulico che garantiranno, a regime, l'invarianza idrologico-idraulica dell'area pannellabile, in accordo alle indicazioni del D.D.G. 102 del 23/6/2021, nel seguito si fornisce una tabella riassuntiva della principali caratteristiche geometriche delle 5 sotto-aree sopra rappresentate.

Tabella 1. Sigonella – campi fotovoltaici – caratteristiche geometriche

Sigonella	Superficie	L_{perimetro}
[Id]	[m ²]	[m]
1	199.000	2.160
2	216.000	3.411
3	203.000	2.330
4	183.000	2.600
5	242.000	2.380

3 Verifica di invarianza idraulica e idrologica

3.1 Premessa e stima del coefficiente di deflusso medio ponderato ante e post-operam

Nel presente capitolo si descrivono le modalità con cui si garantirà l'invarianza idrologico-idraulica dell'area oggetto d'intervento, in accordo alle disposizioni e agli approcci specificati nella D.D.G. 102 del 23/6/2021.

Come si vedrà più approfonditamente nel seguito, per lo studio di invarianza idrologico-idraulica, secondo il D.D.G. 102 del 23/06/2021, è necessario definire il coefficiente di deflusso (Ψ), definito 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 o, più semplicemente, come rapporto tra la porzione impermeabile dell'area d'interesse e la superficie complessiva.

Ad assoluto vantaggio di sicurezza, è stato assunto che fra le condizioni ante e post-operam, intendendo come post-operam l'avvenuta realizzazione delle aree pannellate e delle relative connessioni impiantistiche, si passi, per l'intera area interessata dall'intervento, da un coefficiente di deflusso ante-operam pari a 0 (assoluta permeabilità del suolo) al valore di 0,3 nelle condizioni post-operam.

Tale assunzione risulta assolutamente avallata anche dai valori del coefficiente di deflusso forniti dalla Direttiva più volte citata, che si propongono nel seguito per pronta visione (rif., Allegato 2, paragrafo A.4 del DDG 102/2021):

Tabella 2. DDG 102/2021 – Allegato 2 – Sezione A.4 – coefficienti di deflusso per tipologia di area

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

3.2 Valutazione dell'invarianza idrologico-idraulica delle aree oggetto di intervento (in accordo ai par. A2 e A4 della D.D.G. 102/2021)

3.2.1 Identificazione schema di progetto e valutazioni idrologiche

Il D.D.G. 102/2021 prevede, per gli interventi con superficie maggiore di 10.000 m², la redazione di uno studio di invarianza idraulica e idrologica, con l'adozione dei metodi di trasformazione afflussi-deflussi per i casi di trasformazione del suolo con basso coefficiente di

deflusso post-operam, come nel caso in esame essendo il valore del coefficiente post-operam pari a 0,3, per la valutazione delle portate idrologiche. Il periodo di ritorno delle piogge da adoperare nel calcolo dei volumi di laminazione/infiltrazione, per garantire la necessaria invarianza, è pari a 30 anni, con l'adozione di un periodo di 50 anni per la verifica delle opere in condizioni limite. Per i calcoli idraulici, invece, lo studio dei corpi idrici superficiali e il dimensionamento dei canali di drenaggio potrà essere sviluppato in via semplificata adottando il moto uniforme nei casi più elementari, ovvero in presenza di coefficiente di deflusso minore di 0,5.

La stessa norma citata fornisce inoltre la seguente indicazione circa le soluzioni progettuali da perseguire: *“per l'applicazione del principio di invarianza idrologica e/o idraulica potranno essere progettate soluzioni di infiltrazione e/o laminazione dei deflussi meteorici e delle relative portate allo scarico”*. Nel caso in esame, fra i vari schemi progettuali consigliati dal D.D.G 102/2021 ai fini dell'invarianza idraulica (cfr., sezione C della norma) si è optato per l'adozione di un sistema di drenaggio con invarianza garantita dal sovradimensionamento della rete di drenaggio delle acque meteoriche.

Un siffatto sistema, descritto più dettagliatamente nel seguito, è stato selezionato in luogo di un sistema di infiltrazione (quali fasce filtranti, pozzi perdenti, trincee di infiltrazione etc.), principalmente per garantire la migliore e più efficace manutenibilità delle opere stesse, in quanto appare evidente che in occasione anche di eventi di piena (con conseguente esondazione) di modesta importanza le eventuali opere destinate a garantire la suddetta invarianza mediante processi d'infiltrazione rischierebbero di vedere compromessa la relativa capacità filtrante, a causa dell'intasamento dei vuoti del materiale drenante con i limi trasportati, in grandi quantità, dagli eventi di piena.

Entrando maggiormente nel merito del sistema di drenaggio e di laminazione, si garantirà il deflusso delle acque meteoriche dalle singole sotto-aree dell'impianto Sigonella verso il corpo idrico ricettore (CIR) più vicino, di volta in volta individuato, sfruttando:

- un sistema di canali interni alle singole sotto-aree, da dimensionarsi eventualmente, laddove ritenuti necessari, nella successiva fase progettuale, e da intendersi come elementi di drenaggio secondari delle aree stesse, al fine del convogliamento degli afflussi meteorici verso il canale di gronda descritto nel seguito;

- un canale di gronda che correrà in trincea perimetralmente alle singole sotto-aree nelle posizioni di volta in volta indicate, da intendersi come ricettore del sistema di drenaggio secondario di cui al punto precedente e come elemento di collettamento principale delle acque meteoriche all'interno del CIR individuato come recapito finale.

In base alle singole esigenze di ogni sotto-area, i canali che compongono il sistema di drenaggio suddetto saranno sovra-dimensionati per garantire la laminazione delle portate meteoriche in accordo a quanto richiesto all'Appendice C del D.D.G. 102/2021, in particolare sulla base dello schema riportato nella seguente immagine, fornito dalla normativa medesima nell'Appendice sopra indicata. A tal riguardo, si sottolinea che, anche considerata la morfologia sostanzialmente pianeggiante della piana catanese, nel caso di specie sarebbe poco perseguibile l'utilizzo di vasche/bacini di laminazione come sistemi di mitigazione delle portate in afflusso nel CIR. Infatti, la realizzazione di bacini di laminazione comporterebbe la necessità di prevedere idonei sistemi di sollevamento per consentire la restituzione delle acque meteoriche al CIR in accordo ai limiti imposti del D.D.G. 102/2021 (20 l/s/ha fuori dalle aree a pericolosità P3 e P4 e 10 l/s/ha all'interno delle stesse), a meno di non voler realizzare un manufatto sopraelevato rispetto al piano campagna che, quindi, consentirebbe il deflusso verso il CIR anche a gravità (tuttavia, una siffatta soluzione è da considerarsi proibitiva soprattutto in termini di compatibilità idraulica del manufatto).

In fase di scelta della tipologia di canale di drenaggio/laminazione, si è optato per l'adozione di canali in terra, non rivestiti, in modo da ridurre al minimo anche l'impatto ambientale e paesaggistico dei sistemi di invarianza idraulica in progetto.

In merito all'attuabilità di tale soluzione si è condotta un'analisi circa l'assetto idrogeologico dell'acquifero insistente nella vasta area di studio di progetto. Dovendo inquadrare tale aspetto

nell'ambito della vasta area interessata dagli impianti in progetto (che, si ricorda, occupano una superficie di più di 1 km²), si è fatto riferimento allo strumento di pianificazione vigente rappresentato dal PTA (Piano di Tutela delle Acque) della Regione Siciliana.

In particolare, nell'area di studio, l'acquifero in esame, denominato "Piana di Catania" (R19CT), risulta soggiacere ad una profondità tale da poter escludere o ritenere trascurabili le interferenze con i canali in progetto.

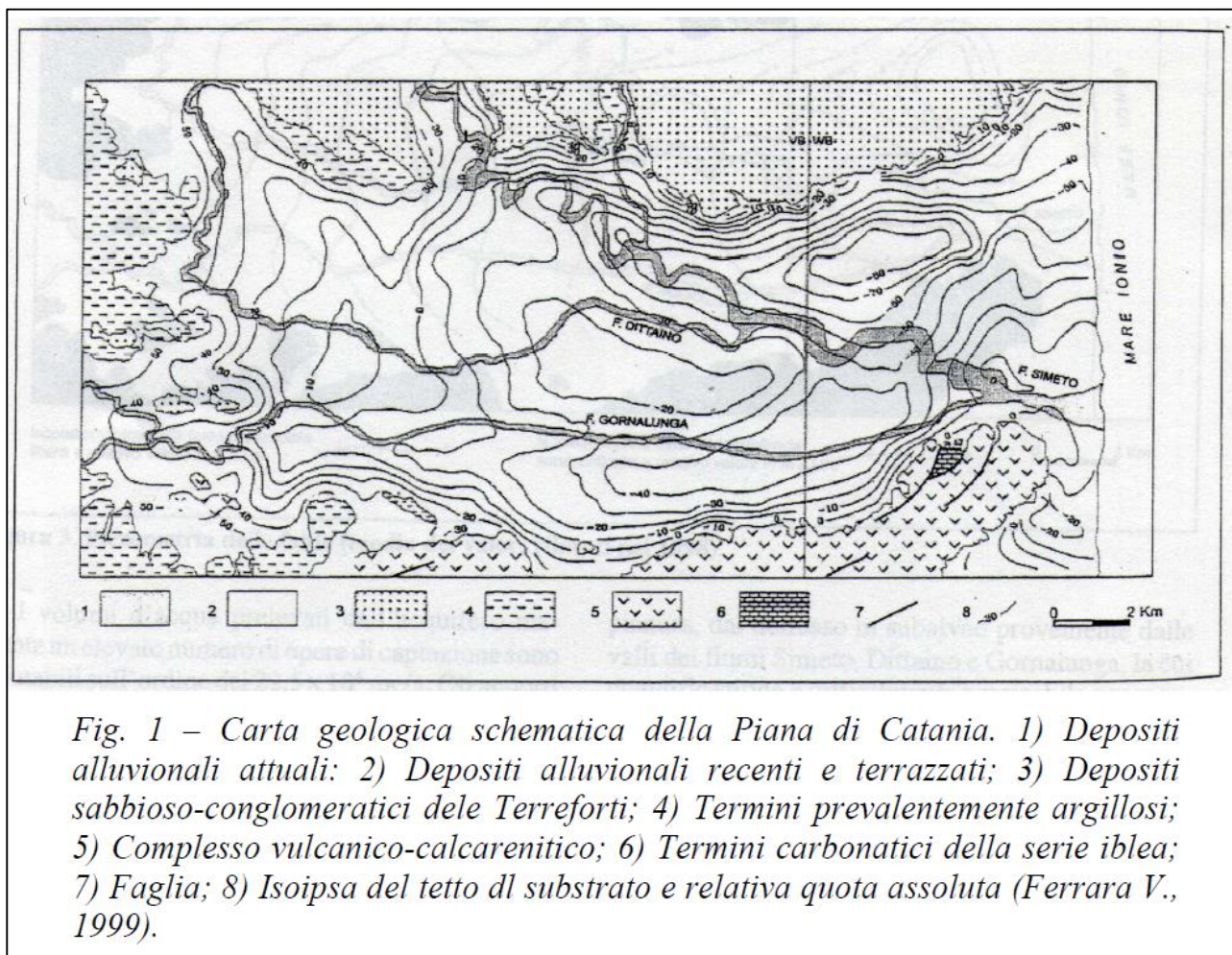


Figura 2. Stralcio del Piano di Tutela delle Acque della Regione Siciliana (elaborato D.2.2)

Tale caratteristica risulta analogamente confermata e descritta da più recenti pubblicazioni scientifiche, fra cui "Geostatistical Methods for Lithological Aquifer Characterization and Groundwater Flow Modeling of the Catania Plain Quaternary Aquifer (Italy)" (Guastaldi et. al 2014), da cui è stato possibile estrarre la seguente rappresentazione cartografica della quota di soggiacenza degli acquiferi superficiali nella porzione di area catanese interessata dalle aree pannellabili dell'impianto Sigonella, più chiara e facilmente leggibile rispetto alla precedente immagine estratta dal PTA della Regione Siciliana.

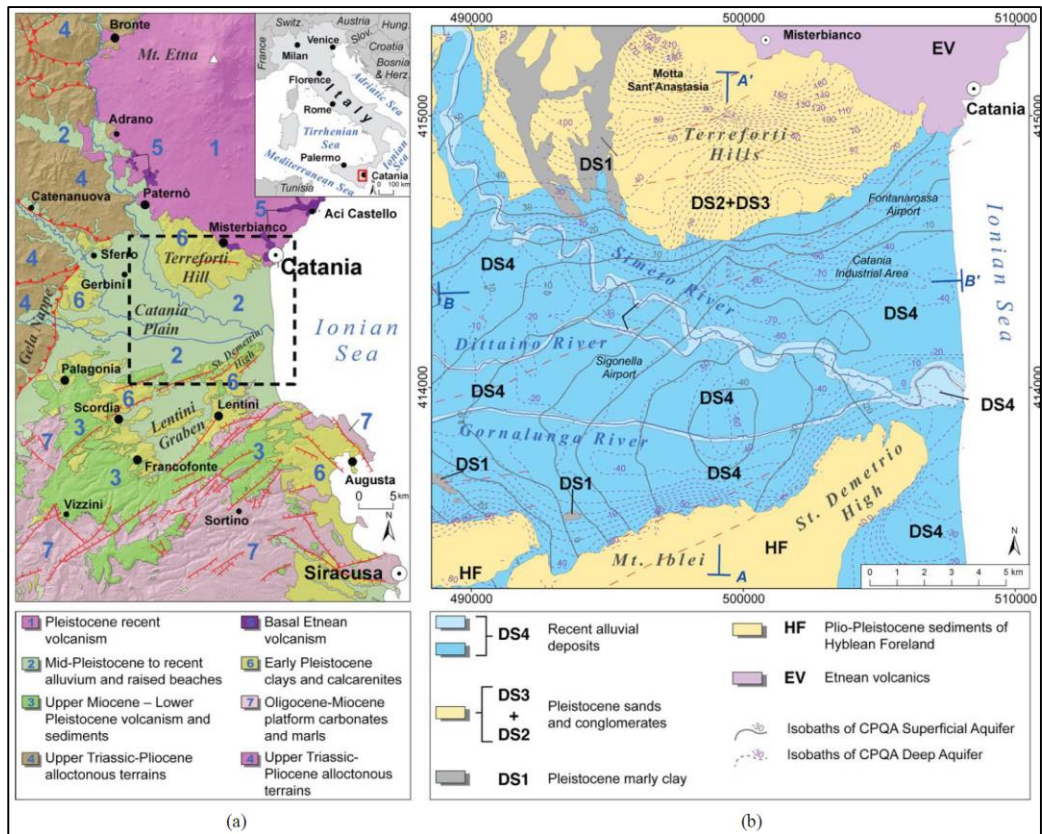


Figura 3. Immagine estratta dalla pubblicazione scientifica "Geostatistical Methods for Lithological Aquifer Characterization and Groundwater Flow Modeling of the Catania Plain Quaternary Aquifer (Italy)" (Guastaldi et. Al 2014)

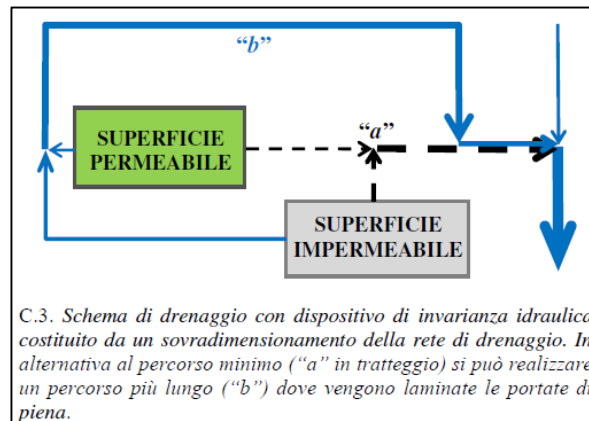


Figura 4. Schema di laminazione adottato in condizioni post-operam (da Appendice C della D.D.G. 102/2021)

Passando alle modalità di calcolo del volume di laminazione, secondo il par. A.4 del D.D.G. 102/2021, il calcolo del volume di invaso per la laminazione delle acque meteoriche può essere sviluppato in via semplificata per aree impermeabilizzate a basso coefficiente di deflusso medio ponderale (<50%) adottando il *metodo semplificato delle piogge*, secondo cui il volume di laminazione è espresso dalla relazione proposta nel seguito, in cui V_{max} è il volume di invaso necessario per non superare la portata limite allo scarico (espresso in m^3), S la superficie (in m^2) scolante a monte della vasca/invaso di laminazione, ϕ il coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area drenante (nel caso in esame pari a 0,30), a ed n parametri delle curve di possibilità pluviometrica e Q_{IMP} portata limite ammessa allo scarico (in m^3/s) corrispondente ad un coefficiente udometrico pari a 10-20 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata dall'intervento di urbanizzazione (in funzione delle caratteristiche di pericolosità idraulica dell'area dello scarico nel CIR):

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

Alla luce di quanto premesso, si determinerà, dunque, il volume del sistema di laminazione in progetto sopra descritto (canale di gronda perimetrale).

L'analisi regionale delle precipitazioni intense in Sicilia ha prodotto una base dati omogenea nel tempo e nello spazio, finalizzata alla stima delle precipitazioni di progetto. A partire da tale base dati è possibile, in funzione della durata di precipitazione \underline{d} e del periodo di ritorno \underline{T} dell'evento, determinare l'altezza di pioggia \underline{h} [mm] e l'intensità di precipitazione \underline{i} [mm/h] con la classica formulazione monomia:

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

$$i = a * t(h)^{n-1}$$

Dove a ed n sono i coefficienti di Gumbel associati all'area in esame, a espresso in mm/hⁿ e n adimensionale.

Si riportano di seguito i coefficienti a ed n di Gumbel associati alla stazione meteorologica del Simeto, per tempi di ritorno i 25, 50, 100, 200 e 300 anni:

Gumbel Simeto	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 300
a	78,10	90,40	102,50	114,60	121,70
n	0,290	0,290	0,290	0,280	0,280

Mediante regressione logaritmica è possibile individuare, con circa il 99% di affidabilità statistica, il valore del parametro a per periodo di ritorno di progetto (30 anni) che risulta pari a 81,4 mm/hⁿ, ovvero 0,081 m/hⁿ.

3.2.2 Determinazione volumi di laminazione (rif., Allegato 2 – par. A.4)

Nella seguente tabella si fornisce la valorizzazione dei volumi di laminazione da garantire alle singole aree oggetto d'intervento. Per definire i volumi, come si è detto in precedenza, è stato preventivamente necessario individuare la classificazione di pericolosità idraulica fornita dal PAI in corrispondenza dello scarico dai volumi di laminazione all'interno dei corpi idrici ricettori.

A tal uopo, quindi, nel seguito si forniscono le immagini rappresentative degli schemi di laminazione dimensionati per ogni sotto-area, con relativa individuazione:

- in rosso, dei canali opportunamente sovradimensionati per garantire l'effetto di laminazione, in accordo alla sopraindicata formulazione di norma (si sottolinea che il sistema di drenaggio considerato utile per la laminazione e il drenaggio delle aree d'interesse è stato individuato in modo tale da garantire un deflusso a gravità, senza necessità di sistema di sollevamento);

- in giallo, le direzioni di deflusso dei canali, anch'essi in progetto, facenti parte del sistema di drenaggio secondario, dunque non aventi funzione di laminazione e non dimensionati nell'ambito del presente studio, come si dirà più approfonditamente nel prosieguo;

- del CIR (corpo idrico ricettore), sulla base delle pendenze naturali dell'area nonché delle possibilità di realizzazione di canali in terra con pendenze anche lievemente opposte a quelle morfologiche dell'area, sempre garantendo la realizzazione di opere con profondità di scavo limitate.

La configurazione planimetrica dei sistemi di drenaggio/laminazione rappresentati nelle immagini seguenti, e dimensionati nel seguito del presente elaborato, dovrà essere debitamente verificata in occasione della successiva fase progettuale (progetto esecutivo), anche a seguito di eventuali rilievi topografici di dettaglio che dovessero rendersi necessari per consentire la precisa definizione delle caratteristiche plano-altimetriche dei sistemi di canali in argomento (che, in ogni caso, dovranno essere compatibili con la viabilità interna delle aree pannellabili, sia nell'eventualità

i cui quest'ultima dovesse essere riconfigurata in sede di progettazione esecutiva sia nel caso in cui dovesse essere confermata l'attuale configurazione).

Si sottolinea che soltanto nel caso dell'area Sigonella 1 lo scarico nel CIR avviene in area non interessata dal rischio di esondazione R3 ma minore. Per tutte le altre (Sigonella 2-3-4-5), invece, lo scarico avviene all'interno di un'area ad elevata pericolosità, per cui la portata limite ammessa allo scarico è pari a 10 l/s/ha, invece di 20 l/s/ha.

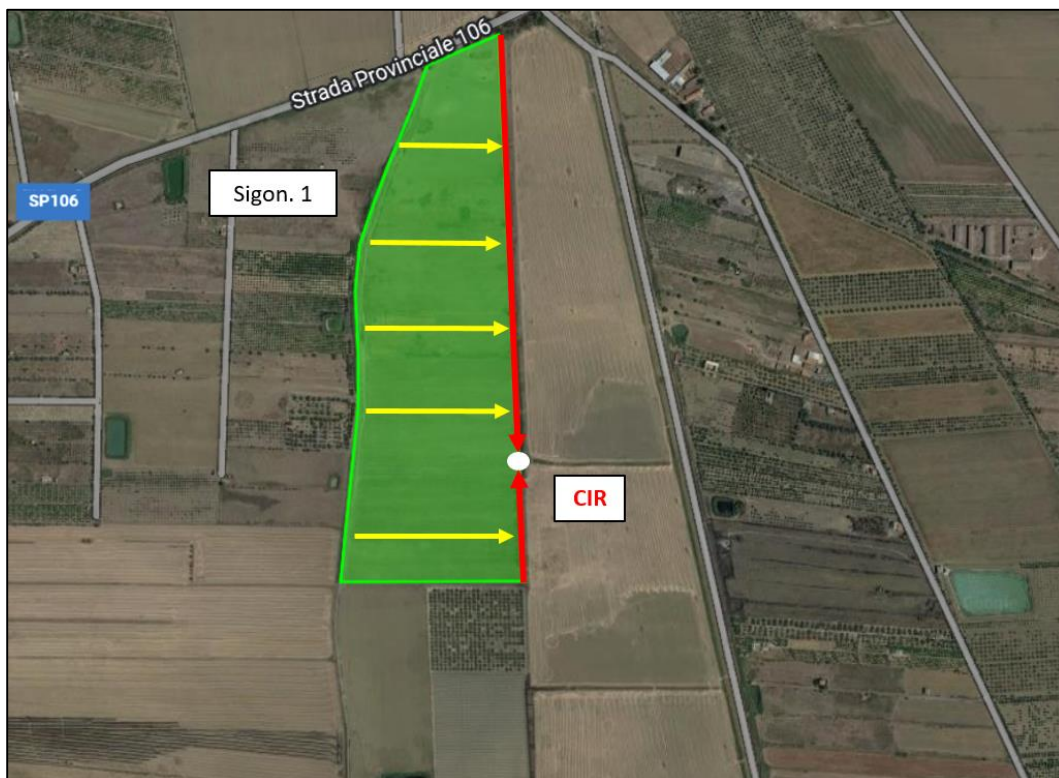


Figura 5. Campo Sigonella 1 – Individuazione sistema di laminazione (in rosso, elementi del sistema di laminazione; in giallo, direzioni di deflusso degli elementi di drenaggio non a scopo di laminazione)



Figura 6. Campo Sigonella 2 – Individuazione sistema di laminazione (in rosso, elementi del sistema di laminazione; in giallo, direzioni di deflusso degli elementi di drenaggio non a scopo di laminazione)



Figura 7. Campi Sigonella 3-4-5 – Individuazione sistema di laminazione (in rosso, elementi del sistema di laminazione; in giallo, direzioni di deflusso degli elementi di drenaggio non a scopo di laminazione)



Figura 8. Aree impianto Sigonella (in rosso) – Sovrapposizione con area pericolosità idraulica PAI P3 (in blu)

Alla luce di quanto sopra rappresentato, si è quindi proceduto alla stima dei volumi di laminazione necessari secondo la formulazione fornita dal DDG 102/2021, per ogni singola sotto-area dell'impianto Sigonella, con le ipotesi già individuate. I risultati sono sintetizzati nella seguente tabella.

Tabella 3. Volumi di laminazione (V_{max}) per singole sotto-aree dell'impianto (da "metodo semplificato delle piogge")

Sigonella	CIR R3-R4	Q_{IMP}	Q_{IMP}	Superficie	V_{max}
[Id]	[-]	[l/s/ha]	[m ³ /s]	[m ²]	[m ³]
1	NO	20	0,40	199.000	3.427
2	SI	10	0,22	216.000	4.937
3	SI	10	0,20	203.000	4.640
4	SI	10	0,18	183.000	4.183
5	SI	10	0,24	242.000	5.531

A tal punto, sono state dimensionate le opere di drenaggio, nel dettaglio i canali evidenziati in rosso nelle precedenti immagini, concepiti in terra, senza impermeabilizzazioni, a classica sezione trapezoidale le cui dimensioni sono state sintetizzate nella seguente tabella. Il principale intento del proponente è stato di cercare di ridurre al minimo l'altezza dell'opera di drenaggio per facilitare le future operazioni di manutenzione, soprattutto a seguito degli eventi di piena che, come probabile, potrebbero determinare un considerevole trasporto di materiale e, quindi, richiedere la pulizia delle opere di drenaggio e di laminazione. Inoltre, riducendo l'altezza dei canali sarà altresì possibile realizzarli, laddove necessario, in lieve contropendenza rispetto al naturale andamento altimetrico del terreno, per consentire il raggiungimento del CIR individuato in questa sede indipendentemente dalla morfologia dei luoghi esistente e senza determinare la realizzazione di opere di profondità eccessiva.

Nel dettaglio, è stata concepita un'unica tipologia di canale a sezione trapezia, con base minore (fondo) di 2 m, base maggiore (superficie) di 3 m e altezza massima pari a 1,5 m.

Tabella 4. Dimensioni canali di sezione trapezoidale con funzione di laminazione per singola sotto-area (rappresentati in rosso nelle immagini precedenti), con relativo volume di invaso (L, lunghezza totale sistema di laminazione; b, larghezza fondo; B, larghezza in superficie; h, altezza massima della sezione idrica σ ; V_{canale} , volume di laminazione)

Sigonella	L	b	B	h	σ	V_{canale}
[Id]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]
1	900	2,5	3,5	1,5	4,5	4.050
2	1.500	2	3	1,5	3,8	5.625
3	1.600	2	3	1,5	3,8	6.000
4	2.000	2	3	1,5	3,8	7.500
5	2.500	2	3	1,5	3,8	9.375

In totale, come evidente dalla precedente Tabella, sono state previste due tipologie di canali, adoperati in funzione delle necessità idrologico-idrauliche (in particolare, oltre che per garantire i volumi di laminazione determinati con il metodo semplificato precedentemente esposto, anche per soddisfare le verifiche idrauliche previste dal D.D.G. 102/2021 ed esposte nel seguito):

- tipo 1: base minore 2 m, base maggiore 3 m e altezza totale 1,5 m;
- tipo 2: base minore 2,5 m, base maggiore 3,5 m e altezza totale 1,5 m.

Confrontando le ultime colonne delle ultime due tabelle, si evince per tutte le aree dell'impianto Sigonella il volume del sistema di laminazione (canali in rosso delle precedenti immagini) risulta superiore al valore minimo ottenuto con il metodo semplificato proposto dalla DDG 102/2021.

Per quanto attiene ai canali della rete di drenaggio secondaria, rappresentati indicativamente in giallo negli schemi proposti nelle precedenti immagini, come già anticipato, si sottolinea che, in questa fase progettuale, non si ritiene necessario il loro dimensionamento alla luce della scarsa rilevanza delle specifiche caratteristiche degli elementi di drenaggio secondario rispetto all'obiettivo di garantire le condizioni di invarianza idrologico-idraulica descritte dal D.D.G. 102/2021. In particolare, si rimanda alla successiva fase progettuale (progetto esecutivo) l'individuazione del numero e dell'esatta posizione planimetrica di tali canali, dei relativi profili altimetrici e della sezione retta necessaria per convogliare le acque di drenaggio, anche a seguito dell'esecuzione di una campagna di rilievi topografici che dovesse, eventualmente, rendersi necessaria. Tuttavia, in questa sede, è possibile affermare che, stando alle ridotte estensioni dei bacini di riferimento dei singoli corpi idrici ricettori, in prima approssimazione, la capacità di drenaggio degli elementi della rete secondaria potrebbe essere abbondantemente garantita con canali di sezione trapezoidale con profondità di scavo pari a 1 m, larghezza del fondo di 0,50 m e larghezza in superficie di 1 m.

3.2.3 Verifiche idrauliche delle opere in progetto

In accordo al DDG 102/2021, le verifiche idrauliche delle opere in progetto sono state eseguite valutando la relativa capacità di convogliare la portata relativa ad un periodo di ritorno di 50 anni (par. A.2 dell'Allegato 2 della norma indicata).

Nella seguente tabella si forniscono i valori per il calcolo della portata massima affluente così calcolata e adottata per la verifica idraulica dei canali con periodo di ritorno sopra indicato e durata critica dell'evento meteorico assunto pari, a vantaggio di sicurezza, a 30 minuti¹. Si sottolinea, altresì, che è stata adottata la formulazione del metodo razionale per la stima delle portate cinquantennali.

¹ Le stime dei tempi di corrivazione per ogni area Sigonella sono state eseguite con le più note formulazioni disponibili in letteratura, fra cui Pezzoli, Ventura e Viparelli, e hanno restituito, mediamente, valori fra i 30 e i 60 minuti per le aree in progetto.

Tabella 5. Stima delle portate cinquantennali affluenti nei sistemi di laminazione di ogni campo fotovoltaico (metodo razionale)

$a_{T=50}$	n	$d=t_c$	$i(t_c)_{T=50}$	Ψ	Signonella	Superficie	$Q_{T=50}$
[m/h ⁿ]	[-]	[h]	[m/h]	[-]	[ld]	[m ²]	[m ³ /s]
0,090	0,29	0,50	0,15	0,30	1	199.000	2,45
					2	216.000	2,66
					3	203.000	2,50
					4	183.000	2,26
					5	242.000	2,98

Le verifiche idrauliche sono state condotte per ogni canale costruendo la relativa scala di deflusso (si veda la serie di immagini seguente), adottando la ben nota formula di Chezy valida per canali a pelo libero in moto uniforme, considerando un valore del coefficiente di Chezy-Bazin pari a 1,20 (adottato in genere per canali in terra in discrete condizioni manutentive) e una pendenza media del canale dello 0,1%.

È possibile immediatamente verificare, dalle scale di deflusso fornite nel seguito, che, nelle suddette condizioni, i canali dimensionati sono assolutamente in grado di convogliare le portate cinquantennali individuate, anche con adeguati franchi di sicurezza.

A mero titolo di esempio, infatti, prendendo a riferimento il canale di laminazione in progetto (tipo 1) per il campo fotovoltaico n.5, cui corrisponde il massimo valore di portata cinquantennale, il tirante idrico corrispondente ad una portata al colmo di 3 m³/s, fornita dalla Tabella precedente, risulta pari a circa 1,35 m, rispondendo, in tal modo, alla verifica richiesta al par. A.2 dell'Allegato 2 al DDG 102/2021. A tal riguardo, si sottolinea che la D.D.G. 102/2021 richiede che “*il tempo di ritorno di 50 anni dovrà essere utilizzato per la verifica delle opere in condizioni limite*”, condizioni in cui non si richiede un valore minimo di franco idraulico ma soltanto la verifica di capacità idraulica dei collettori.

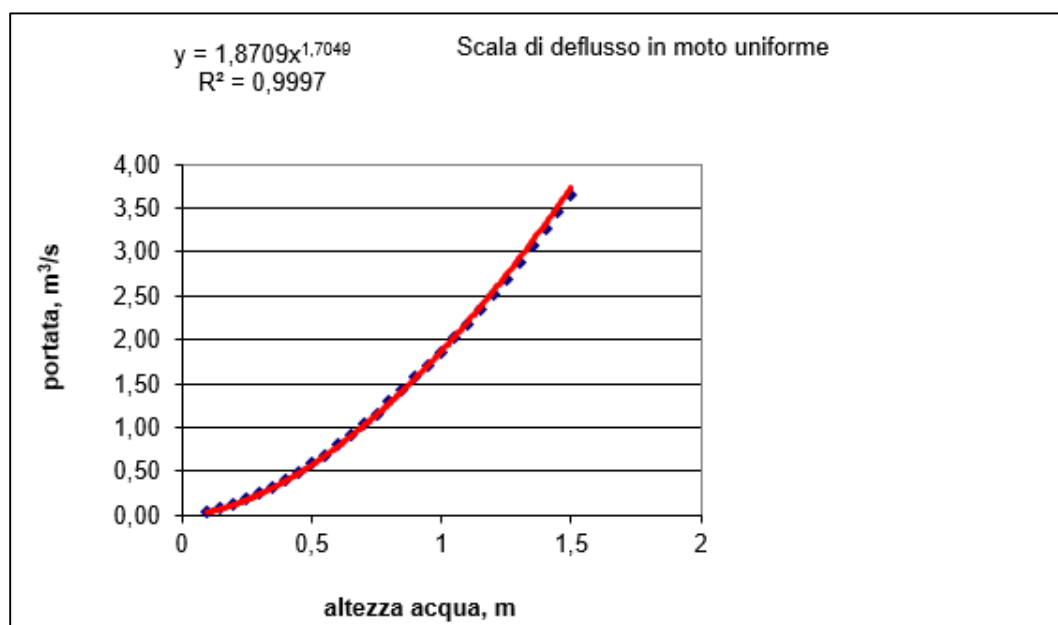


Figura 9. Canali di laminazione: scala di deflusso canale Tipo 1 (formula di Chezy, ipotesi descritte nel testo)

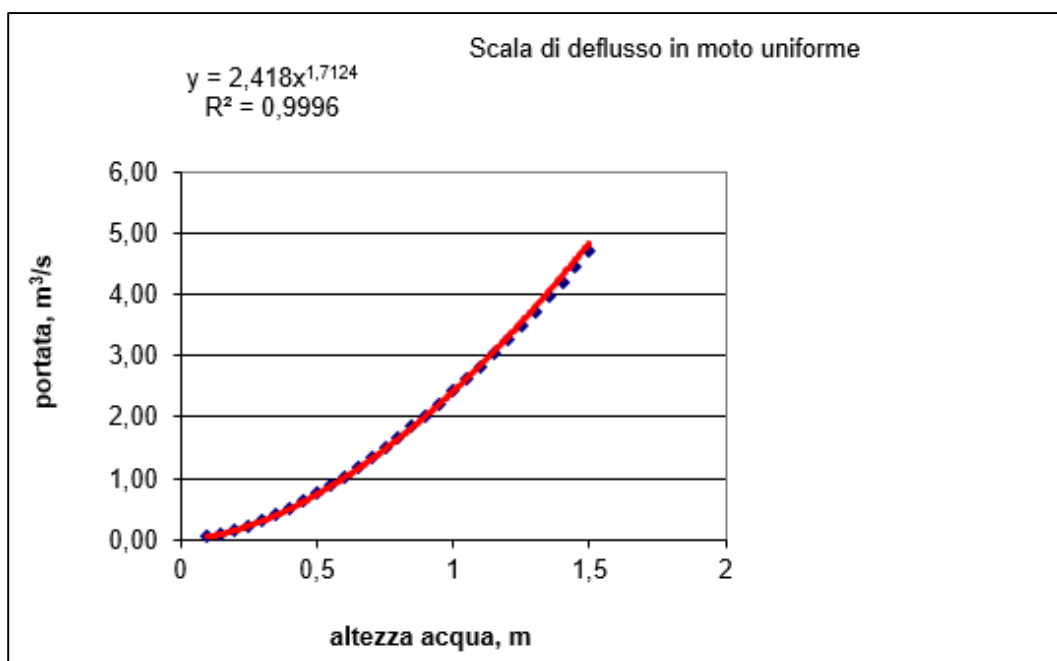


Figura 10. Canali di laminazione: scala di deflusso canale Tipo 2 (formula di Chezy, ipotesi descritte nel testo)

Infine, si fornisce l'esito dell'ultima verifica idraulica richiesta al par. A.4 del D.D.G. 102/2021, che cita testualmente: "... per qualsiasi valore del coefficiente di deflusso medio dell'area trasformata, dovrà essere altresì verificato che la portata scaricata dalla vasca o sistema di laminazione nel corpo idrico ricettore o nel collettore fognario, non ne pregiudichi la capacità di trasporto idraulico causandone l'esondazione..."

Il valore di portata con cui eseguire le valutazioni per ogni CIR è proprio il valore atteso in uscita dal sistema di laminazione che, in accordo alla formulazione del metodo semplificato delle piogge, è fornito in Tabella 6 per ogni area Sigonella.

A tal uopo, vale la pena sottolineare che, per garantire l'immissione all'interno dei CIR dei valori di portata Q_{IMP} , ottenuti nei precedenti paragrafi per ogni singolo sistema di drenaggio/laminazione, sarà necessario provvedere, nell'ambito della successiva fase progettuale, allo specifico dimensionamento del sistema di regolazione dei deflussi e raccordo idraulico in corrispondenza della confluenza dei tratti terminali dei canali di drenaggio nei corpi idrici ricettori, anche a seguito della disponibilità di idonei rilievi di dettaglio.

In particolare, tali elementi di raccordo dovranno essere opportunamente dimensionati in modo da garantire la limitazione della portata di efflusso dal sistema di drenaggio al valore massimo pari proprio alla corrispondente portata Q_{IMP} . In tal modo, infatti, sarà possibile sfruttare l'intero volume di laminazione offerto dai canali in progetto a servizio dei singoli campi fotovoltaici, consentendo l'invaso dei volumi ai fini dell'invarianza idrologica-idraulica.

Per fini puramente esemplificativi, ma assolutamente non esaustivi né vincolanti rispetto alla successiva fase progettuale, il raccordo idraulico fra sistema di laminazione e CIR potrebbe prevedersi mediante la predisposizione di un pozzetto interrato (preferibilmente prefabbricato in calcestruzzo o in materiale sintetico), che fungerebbe da nodo terminale del sistema di drenaggio/laminazione, collegato al CIR per mezzo di una tubazione (in calcestruzzo o in materiale sintetico) dimensionata in maniera tale da limitare il valore di portata in efflusso alla Q_{IMP} sopracitata (il tutto in accordo allo schema tipo 1 proposto nella seguente immagine).

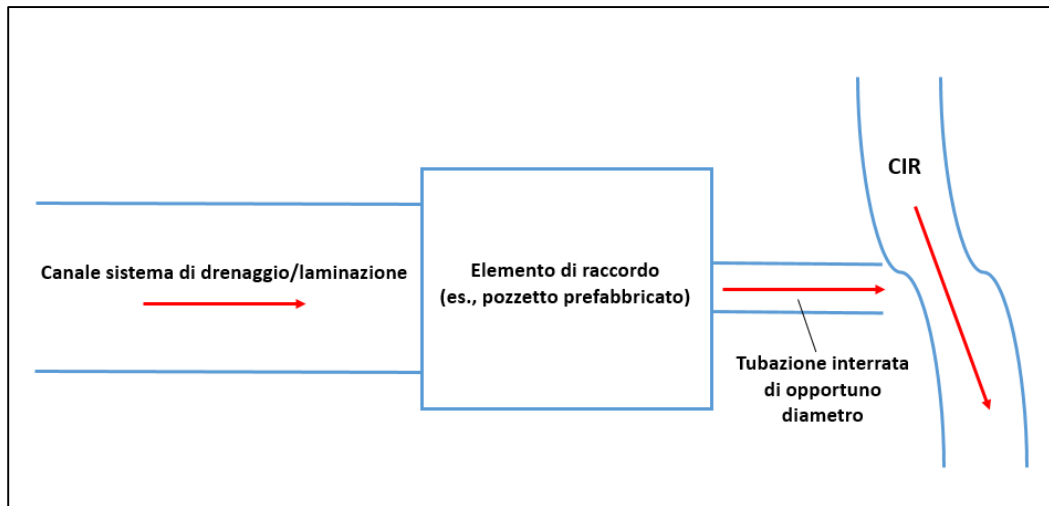


Figura 11. Collegamento fra sistema di drenaggio/laminazione e CIR – schema esemplificativo tipo 1 (vista planimetrica)

In alternativa, sempre a scopo puramente indicativo, in sede di progettazione esecutiva si potrebbe provvedere al dimensionamento di un sistema di immissione dotato di una bocca tarata, posizionata al termine del sistema di laminazione, da dimensionarsi in modo da garantire l'efflusso sotto battente di una portata idrica pari a Q_{IMP} e dotato altresì di uno scarico di troppo pieno in grado di garantire lo sfioro nel CIR per eventi superiori al periodo di ritorno di progetto di 30 anni (il tutto in accordo allo schema esemplificativo tipo 2 fornito nel seguito).

A tal riguardo, indipendentemente dalla soluzione che sarà individuata e implementata nel corso della successiva fase progettuale, il corretto funzionamento del sistema di drenaggio/laminazione dimensionato nell'ambito del presente studio di invarianza sarà subordinato alla costante manutenzione dei canali in progetto, delle opere di restituzione ai corpi idrici ricettori e di ogni altra opera che farà parte del sistema in argomento, la cui programmazione sarà da definirsi nell'ambito del Piano di Manutenzione sviluppato nella successiva fase progettuale.

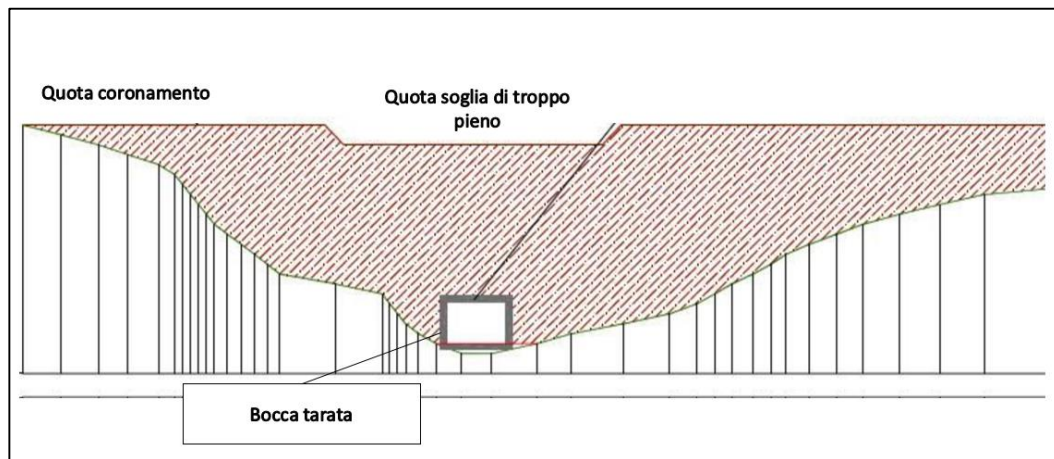


Figura 12. Collegamento fra sistema di drenaggio/laminazione e CIR – schema esemplificativo tipo 2 (vista in sezione)

Tornando alla verifica idraulica dei CIR individuati nella presente relazione, in accordo ai criteri indicati nel DDG 102/2021, è stata condotta un'analisi in moto uniforme sulle sezioni di scarico finale dei sistemi di drenaggio in progetto all'interno dei CIR individuati. La geometria di tali sezioni è stata estratta dal DTM LIDAR del MITE risoluzione 1x1 m ed è mostrata nelle immagini successive per i tre corpi idrici ricettori individuati (si ricorda, infatti, che le aree Sigonella 3-4-5 scaricano all'interno di un unico corpo ricettore). A tal uopo, sono state adottate ipotesi a vantaggio di sicurezza per la verifica in moto uniforme (condotta mediante software Hec-Ras) adottando un valore del coefficiente di Manning di $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$ e una pendenza longitudinale pari a 0.5%.

Nella tabella seguente, si fornisce un confronto, per ogni sub-area, fra la massima portata convogliabile nel CIR in assenza di esondazione (seconda colonna) e la portata scaricata nel CIR dal sistema di laminazione (terza colonna).

Tabella 6. Verifica dei corpi idrici ricettori per singola sub-area Sigonella

Area	Q_{max} CIR [m^3/s]	Q_{output} [m^3/s]
Sigonella 1	2,0	0,40
Sigonella 2	6,0	0,22
Sigonella 3	50,0	0,20
Sigonella 4	80,0	0,18
Sigonella 5	90,0	0,24

Dai risultati forniti risulta evidente come la portata in uscita dai sistemi di laminazione di ogni singola sotto-area non possa in alcun modo alterare, significativamente, la capacità di trasporto dei corpi idrici ricettori individuati caso per caso.

Per maggiore precisione, si riportano, nel seguito, le immagini delle sezioni di verifica dei corpi idrici individuati, a cui si riferiscono i valori di portata della seconda colonna della precedente Tabella.

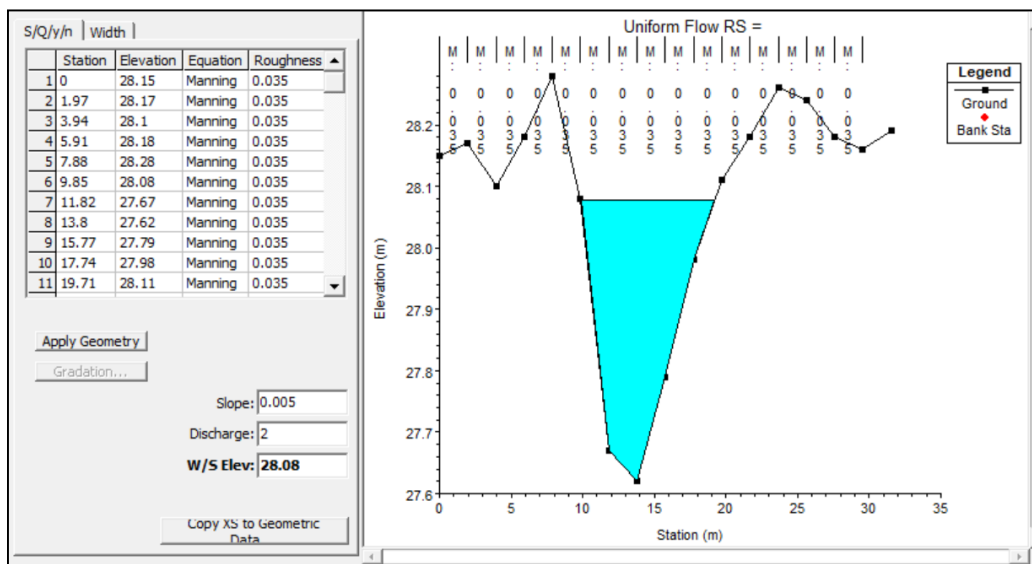


Figura 13 - Verifica idraulica recapito Sigonella 1 (massima capacità idraulica del CIR)

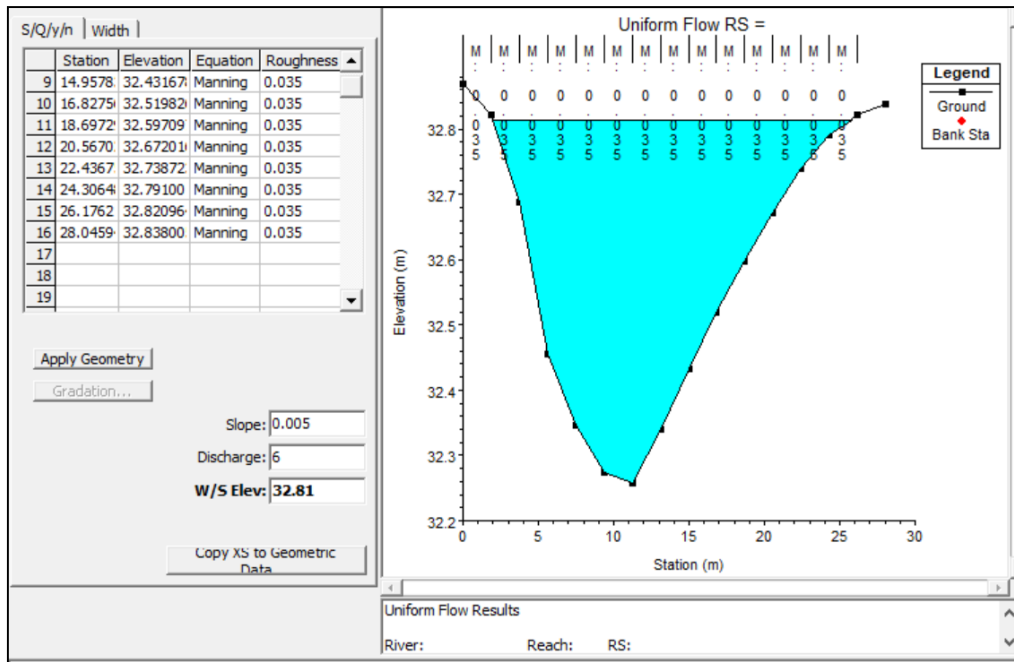


Figura 14 - Verifica idraulica recapito Sigonella 2 (massima capacità idraulica del CIR)

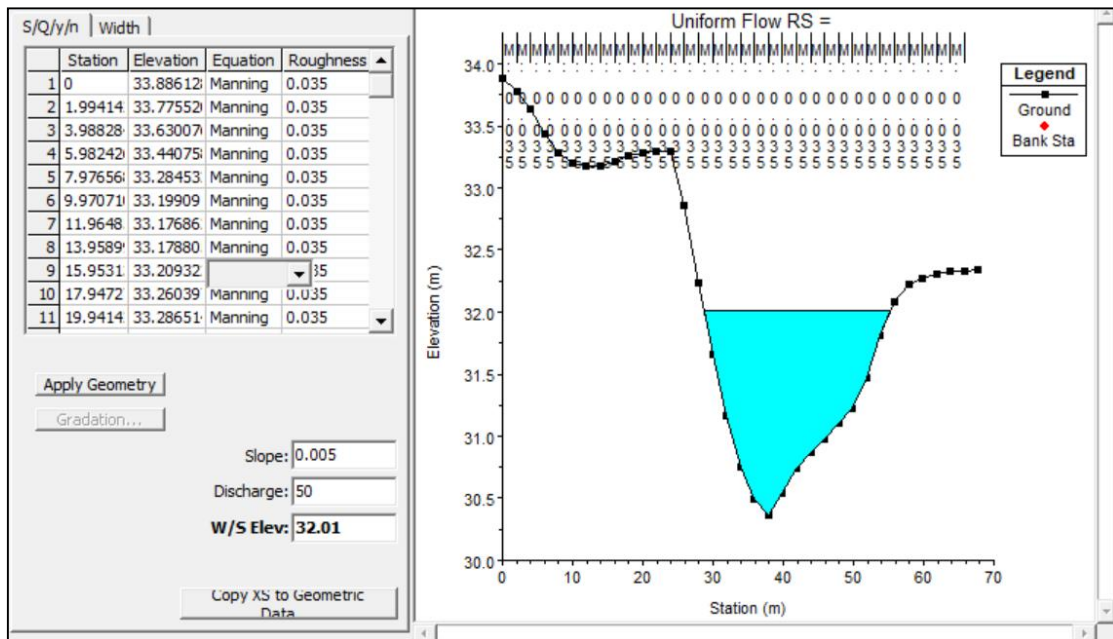


Figura 15 - Verifica idraulica recapito Sigonella 3 (massima capacità idraulica del CIR)

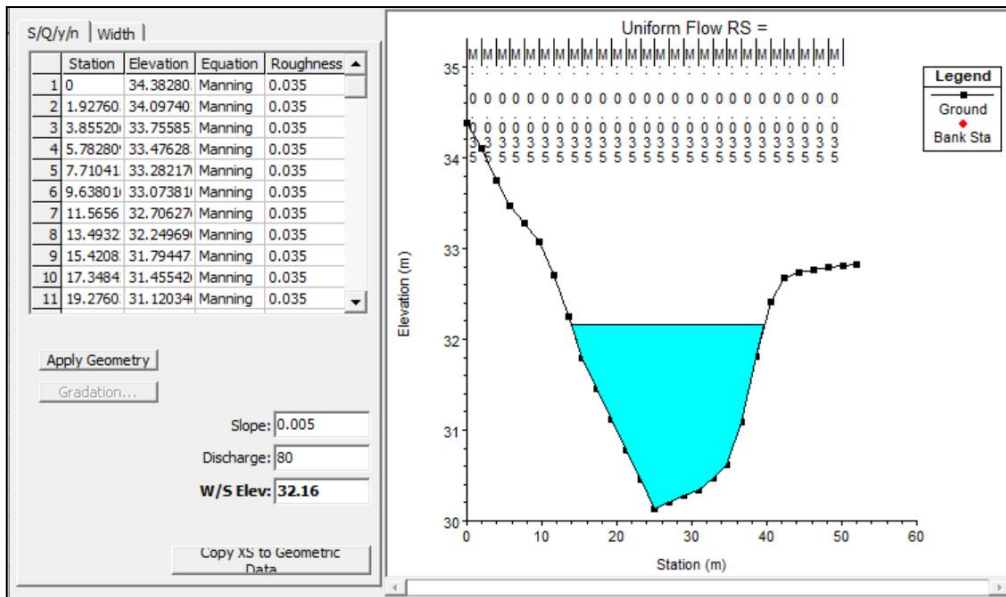


Figura 16 - Verifica idraulica recapito Sigonella 4 (massima capacità idraulica del CIR)

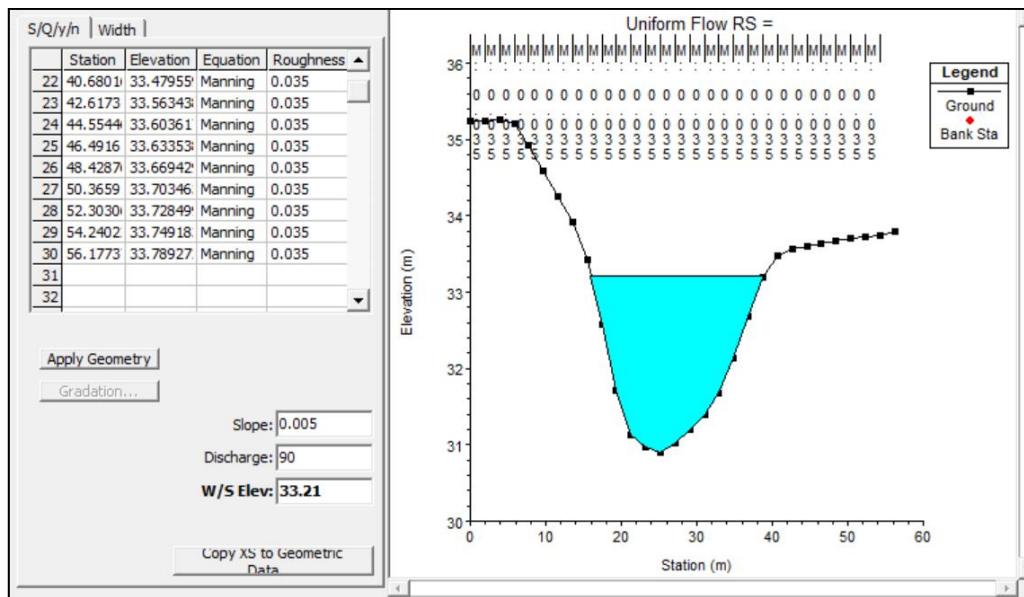


Figura 17 - Verifica idraulica recapito Sigonella 5 (massima capacità idraulica del CIR)

4 Conclusioni

La presente relazione è stata redatta per fornire evidenza dell'invarianza idrologico-idraulica garantita dalle opere di mitigazione in progetto rispetto alla realizzazione del parco agro-fotovoltaico denominato "Sigonella". Nel dettaglio, le valutazioni idrologico-idrauliche eseguite hanno consentito di individuare il volume di laminazione necessario per garantire l'invarianza idraulica dei singoli campi fotovoltaici, per un totale di circa 1 km².

I volumi di laminazione determinati sono stati ottenuti mediante il sovradimensionamento del sistema di drenaggio in progetto, composto dai canali perimetrali e interni all'area dei pannelli. È stata esclusa, per ragioni di manutenibilità, la realizzazione sia di vasche di laminazione sia di trincee di infiltrazione ed opere ad esse simili, preferendo invece un sistema di laminazione composto dai canali in progetto, per le ragioni ampiamente e dettagliatamente fornite nel testo della presente relazione.

Dimensionamento e verifiche sono stati eseguiti in accordo ai principi e ai limiti definiti nei paragrafi A.2 e A.4 dell'Allegato 2 del D.D.G. 102/2021, più volte richiamato nel testo.

In ordine a quanto previsto e descritto nella presente relazione, è quindi possibile affermare che:

- l'intervento in oggetto rispetta il principio dell'invarianza idrologica e idraulica, secondo i dettami della norma citata;

- tale intervento, vista la natura delle opere in progetto e l'entità delle lavorazioni connesse alla loro realizzazione (avendo previsto, in sede di progettazione definitiva, l'utilizzo di canali in terra non rivestiti, senza l'ausilio di sistemi di sollevamento), si inserisce adeguatamente nel contesto geomorfologico e idrogeologico del settore interessato, non modificando l'equilibrio idraulico del territorio in esame e consentendo il corretto smaltimento delle acque meteoriche.

Ing. Francesco Morlando
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
(Sez. A – n. 20111)

Ing. Davide Prato
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari
(Sez. A – n. 10083)