

Regione Lazio

Provincia di Latina

Comune di Sezze



Studio idraulico e di invarianza idraulica LT_SEZ-PD17

Art.27 bis del d.Lgs 152/2006

Committente

MARSEGLIA AMARANTO GREEN SRL.

Via Orti, 1/A
37050 – San Pietro di Morubio (VR)
tel. + 39 0874 67618 - fax + 39 0874 1862021
P. Iva e C.F. 11046820962

Realizzazione ed esercizio di un impianto su serre agrivoltaiche
della potenza di 46,16 MWp e delle opere di connessione
Comune di Sezze (LT),
località Via Migliara, 48 sx
Coordinate geografiche:
41°27'13.5"N 13°05'52.2"E / 41.453746N, 13.097829E

Ing. Giulia Arcangeli



Collaborazione Agr. Ettore Arcangeletti

Studio idraulico e di invarianza idraulica

Analisi Idrologica e verifiche idrauliche

Sommario

1	Premessa.....	2
2	Localizzazione, inquadramento cartografico	3
3	Caratterizzazione del reticolo idrografico dell'area	7
3.1	Caratterizzazione dei bacini scolanti	10
3.1.1	Tempo di corrivazione	14
3.1.2	Altezza di pioggia	16
3.1.3	Coeff. di deflusso.....	17
3.1.4	Portate ed idrogrammi di piena.....	25
4	Verifiche di invarianza idraulica ed interventi proposti.....	33
5	Conclusioni.....	51

1 Premessa

La società Marseglia Amaranto Green Lazio s.r.l. intende realizzare un impianto di serre agrivoltaiche della potenza complessiva di 46,16 MWp in comune di Sezze in Provincia di Latina.

La presente relazione tecnica idraulica, redatta dalla sottoscritta ing. Giulia Arcangeli iscritta all'Ordine degli ingegneri della Provincia di Viterbo al n. 568 in qualità di tecnico incaricato, valuta l'inserimento delle opere nel contesto idrologico ed idraulico dell'area, con particolare riferimento agli aspetti relativi alla modificazione dell'uso dei suoli e il possibile aumento delle portate riversate sul reticolo scolante.

Saranno infatti esposte alcune soluzioni di mitigazione idraulica delle maggiori portate prevedibili secondo il principio di invarianza idraulica, anche in riferimento alle "*Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali*" di cui alla Deliberazione 24 marzo 2020, n. 117.

Le opere in progetto sono inserite in un contesto territoriale particolarmente sensibile alle dinamiche idrauliche, in quanto previste nell'ambito di una piana agricola ubicata ad una quota media di ca. -1.50mt slm, il cui drenaggio è assicurato da un'articolata rete di canali che afferiscono all'impianto idrovoro consortile di "Mazzocchio", essendo peraltro quest'area di "attenzione idraulica" ai sensi degli artt. 9 e 27 delle N.d.A. del PSAI dell'ex Autorità dei Bacini Regionali del Lazio.

Tuttavia è bene da subito mettere in evidenza che l'interferenza del progetto con le dinamiche idrauliche della zona è fondamentalmente trascurabile (fatti salvi i dovuti interventi per garantire l'invarianza idraulica come appresso descritti); i pannelli sono infatti installati sulle coperture di serre, che sono realizzate con una struttura reticolare in acciaio zincato; i pannelli sono montati sulla falda esposta sudovest, mentre l'altra falda costituisce la copertura della serra realizzata da un film plastico ottenuto in coestrusione di polietilene a bassa densità: la struttura è quindi rialzata da terra (l'altezza dei montanti è di ca. 2.8mt) e non vi sono elementi di chiusura delle pareti che possano provocare ostacolo all'eventuale espansione e deflusso delle portate di piena: sono quindi strutture "trasparenti" nei confronti del deflusso delle piene.

La presenza delle serre inoltre non provoca aumento del carico urbanistico dell'area, in quanto le attività che si potranno esercitare nelle serre, sono esattamente le medesime (agricole) di quelle attuali: non viene quindi modificata la vocazione agricola dell'area, quindi il rischio idraulico della stessa nella configurazione post operam non aumenta.

2 Localizzazione, inquadramento cartografico

Si rimanda alle tavole cartografiche per i dettagli; nella presente relazione vengono postati degli stralci, per utilità di esposizione.

L'area di intervento è ubicata in una piana agricola in comune di Sezze, in provincia di Latina, loc. Migliara, ed esattamente tra le strade *via Migliara 47* e *via Migliara 48*.

Catastalmente è compresa nei fogli n° 146-147-148 del comune di Sezze.

Ai sensi dei vincoli del PAI ricade in area di "attenzione idraulica" ai sensi degli artt. 9 e 27 delle N.d.A. del PSAI dell'ex Autorità dei Bacini Regionali del Lazio. Tale area deriva dalla possibile esondazione delle acque che defluiscono nella complessa serie di canali scolanti, essendo la zona fondamentalmente depressa, con quote anche inferiori allo 0 slm e che afferiscono all'impianto idrovoro consortile di "Mazzocchio"; il principale fiume di questo territorio, ossia il fiume Ufente, è invece arginato.

Figura 2-1. Stralcio foglio catastale n° 146 Comune Sezze



Figura 2-2. Stralcio CTR cartografia 1:5.000.

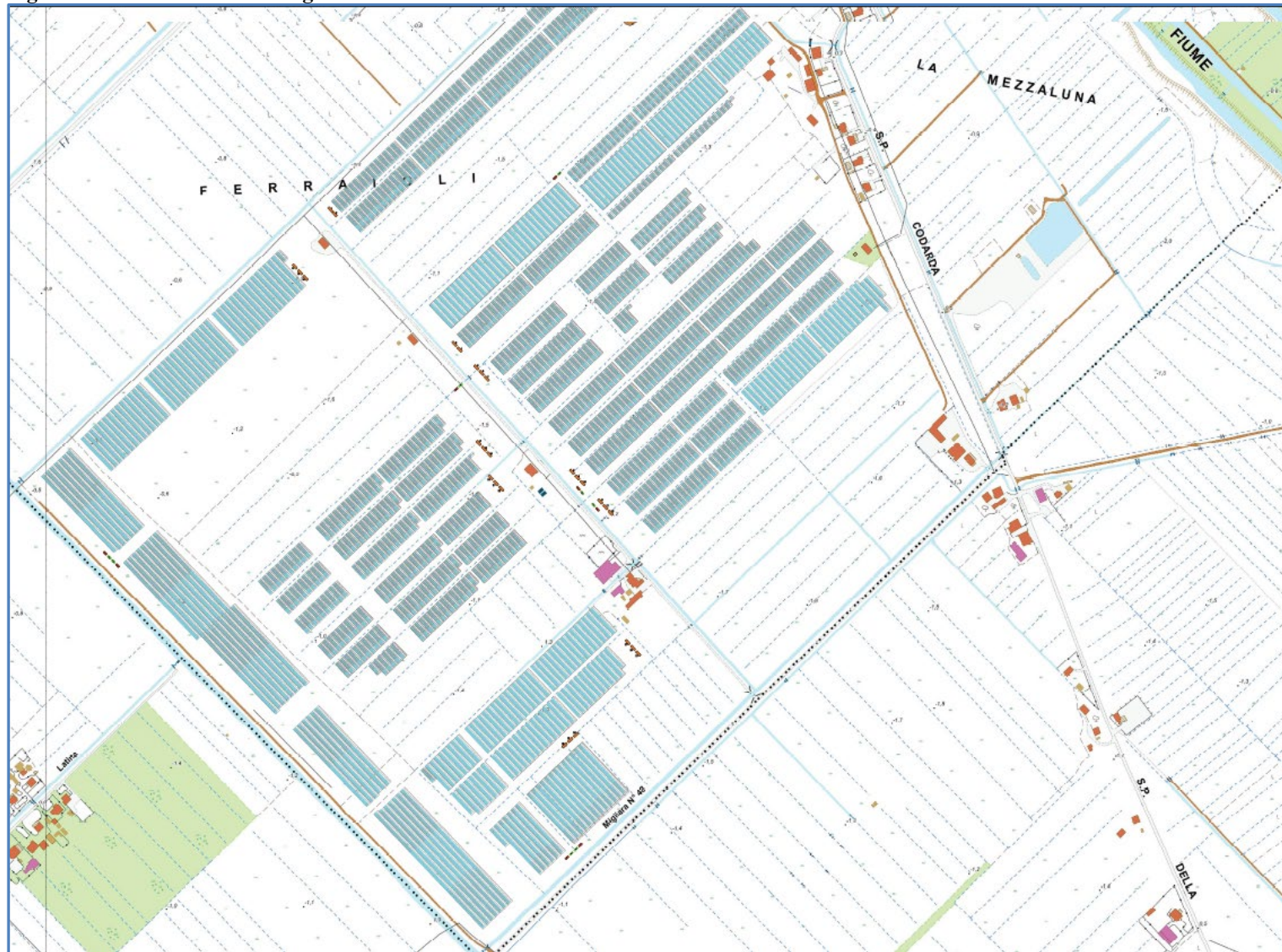
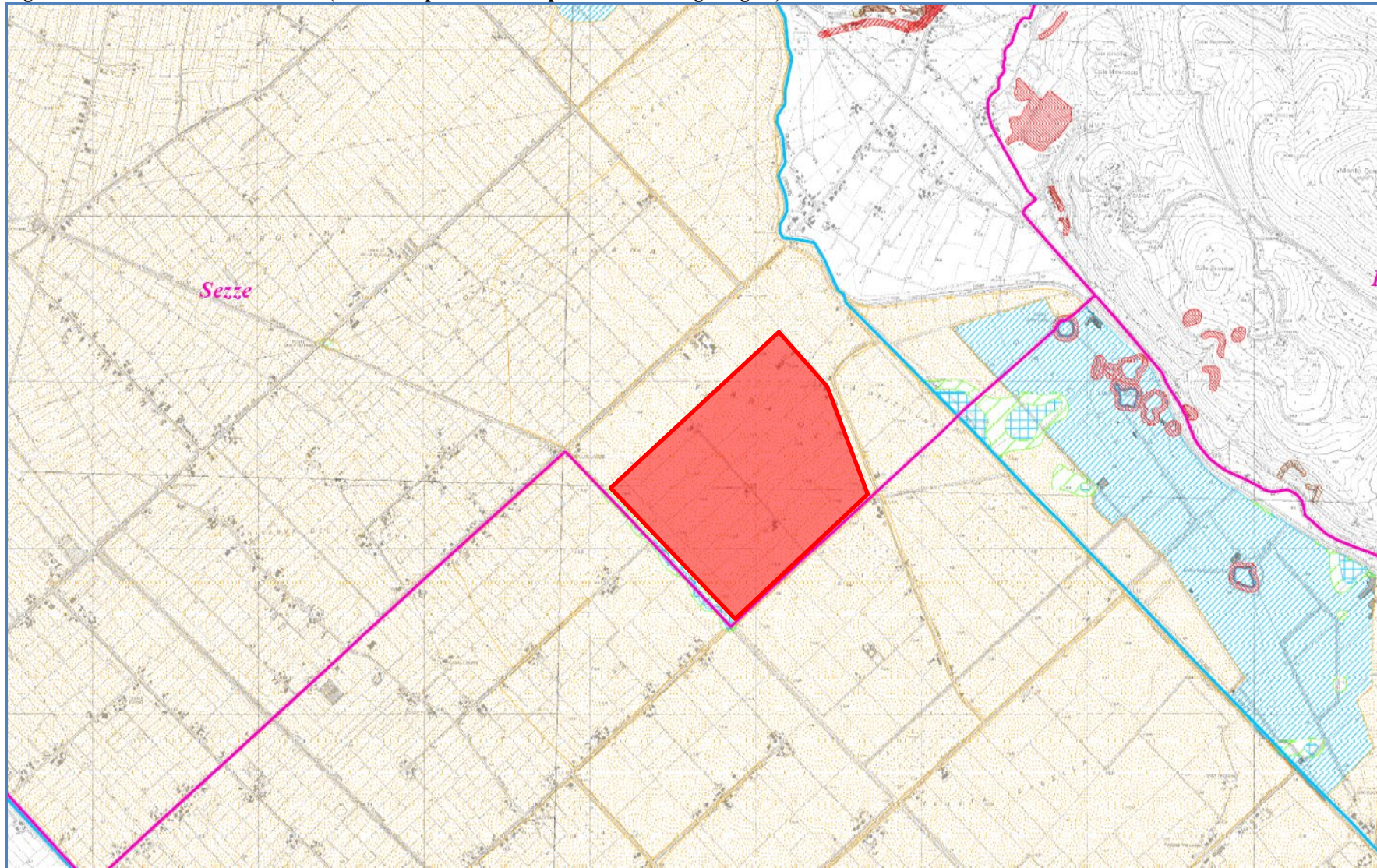


Figura 2-3. Stralcio Tav. 8S del PAI (Aree sottoposte a tutela per dissesto idrogeologico)



3 Caratterizzazione del reticolo idrografico dell'area

Come detto la zona di intervento è una piana agricola irrigua il cui drenaggio e smaltimento delle acque meteoriche è assicurato da una fitta ed articolata rete di canalini e canali che afferiscono all'impianto idrovoro di "Mazzocchio".

Il canale principale della zona è il "**canale nuovo Selcella**", il cui bacino di riferimento (in codice BAD-SEL) ha una superficie complessiva di 10084,24ha (vedi Figura 3-2).

L'area di intervento, indicata in retino rosso in figura, è ubicata in sx. idraulica del canale, ed ha una superficie di ca. 1.3ha, anche se non completamente occupata dalle serre.

L'area di intervento, nonostante sia adiacente al canale principale, non drena direttamente verso di esso, ma lo fanno attraverso una rete articolata di canali secondari e canalini di scolo:

Figura 3-1. reticolo canali di scolo zona di intervento (da web-gis provincia di Latina)

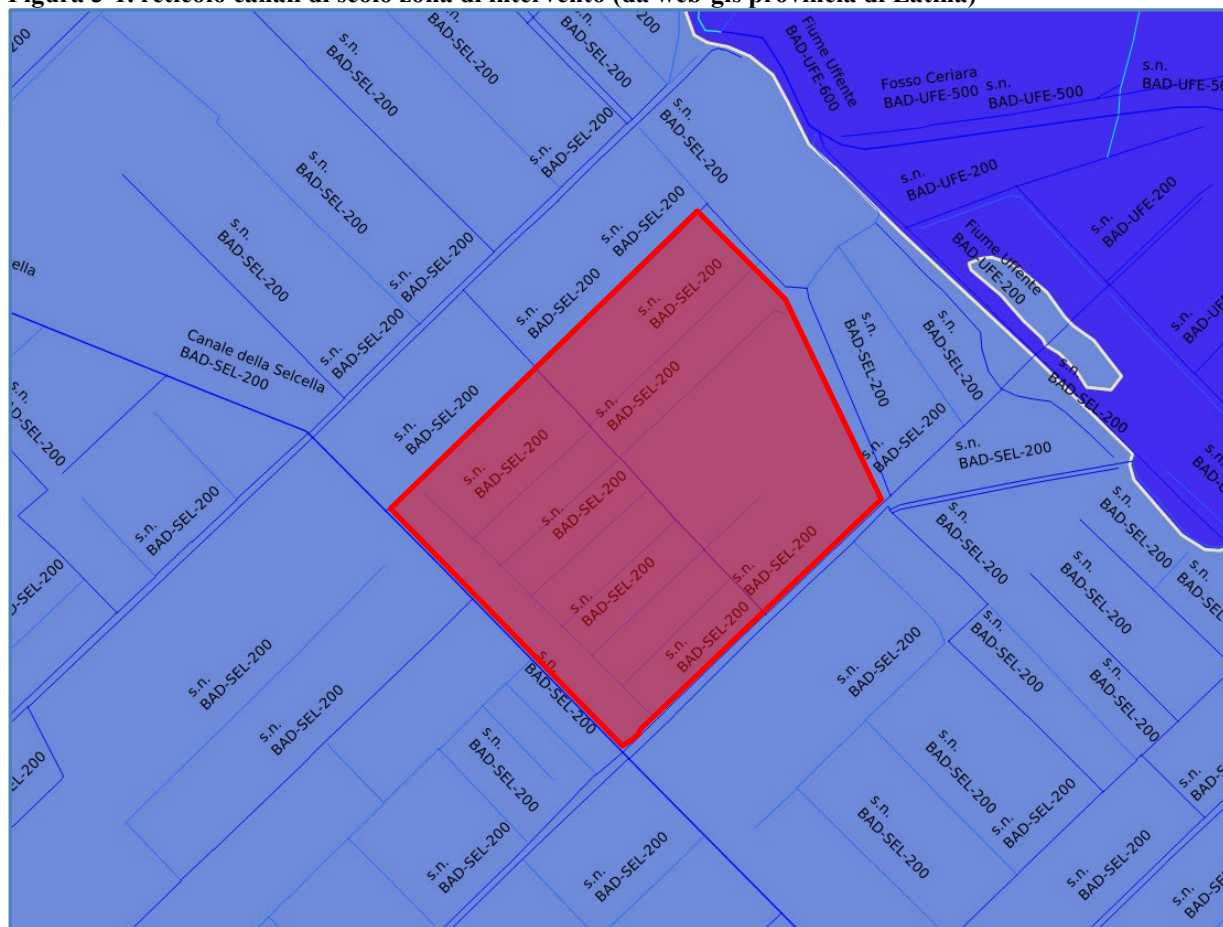
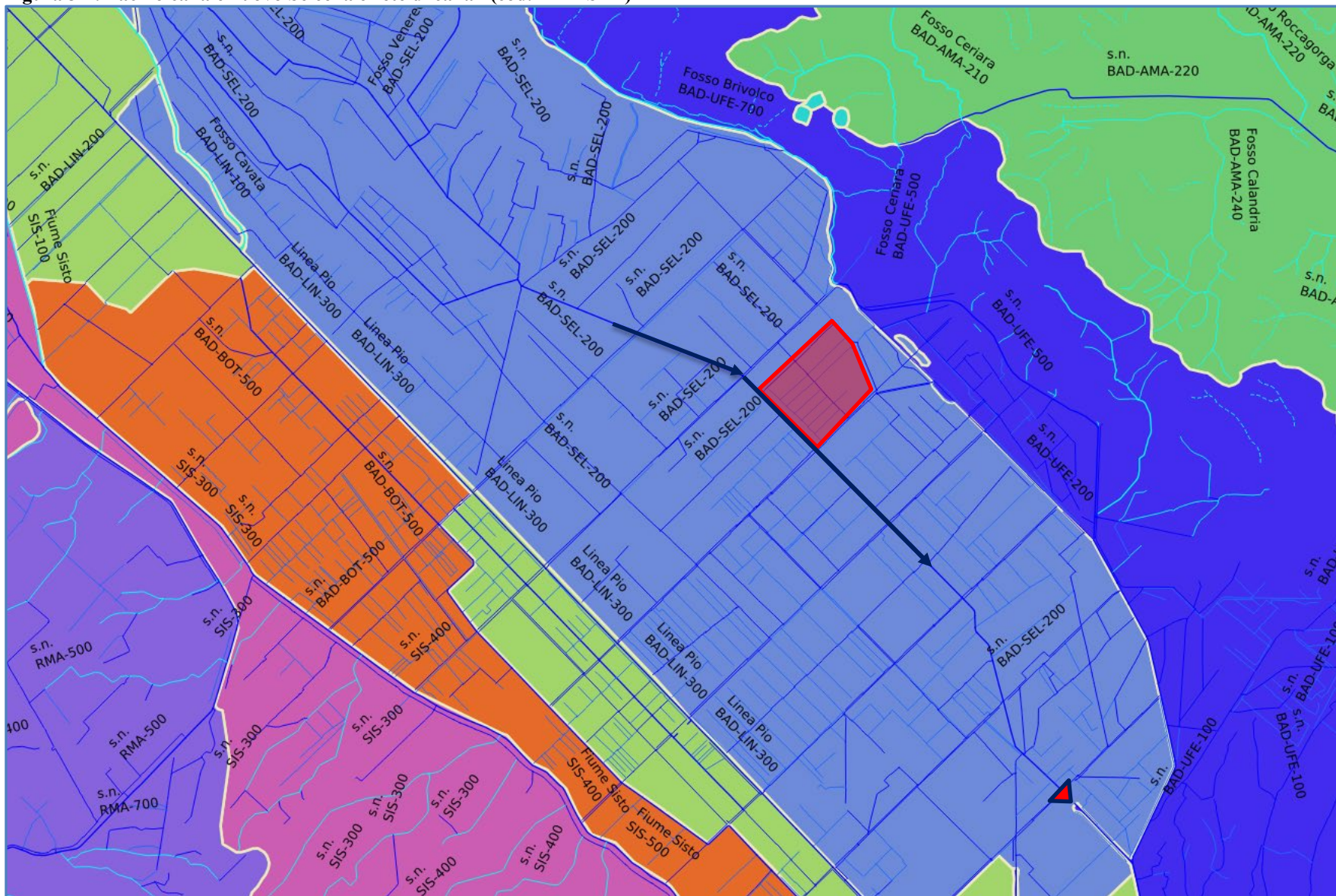


Figura 3-2. Bacino canale nuovo Selcella e rete di canali (cod. BAD-SEL)



Il primo canale secondario dell'area è il "Migliara 48" che corre a nord adiacente all'omonima via e delimita a sud-est l'area di intervento, si immette ortogonalmente al canale Selcella. Verso il Migliara 48 confluisce il canale secondario detto "Diversivo Trombone", che grosso modo taglia a metà l'area di intervento. Verso il Diversivo Trombone affluiscono quindi una serie di canalini più piccoli, che rappresentano i canali di scolo veri e propri dell'area irrigua.

L'area di intervento si inserisce in questo articolato reticolo di canali, ed i progettisti hanno correttamente rispettato la presenza di ciascun canale di scolo, avendo cura di posizionare ciascuna porzione di serre tra i canalini, senza interromperne lo schema.

3.1 Caratterizzazione dei bacini scolanti

La rete di canali e canalini, che, come detto, condiziona il layout dell'impianto, consente di individuare i singoli bacini scolanti che sono rappresentati nello stralcio di Figura 3-5 e nella Figura 3-6 con rappresentazione su foto aerea e su planimetria catastale.

Un rilievo planoaltimetrico dell'area (almeno nelle porzioni ove sono previste le serre) è stato eseguito, ed offre un'ottima coerenza sia con la rappresentazione cartografica della CTR 1:5.000 che con la foto aerea (vedi figure appresso).

Appresso vengono presentati i dati caratteristici dei sottobacini, da cui se ne ricavano i parametri necessari per lo studio idrologico ai fini del calcolo delle portate di piena.

Figura 3-3. Sovrapposizione rilievo-ctr

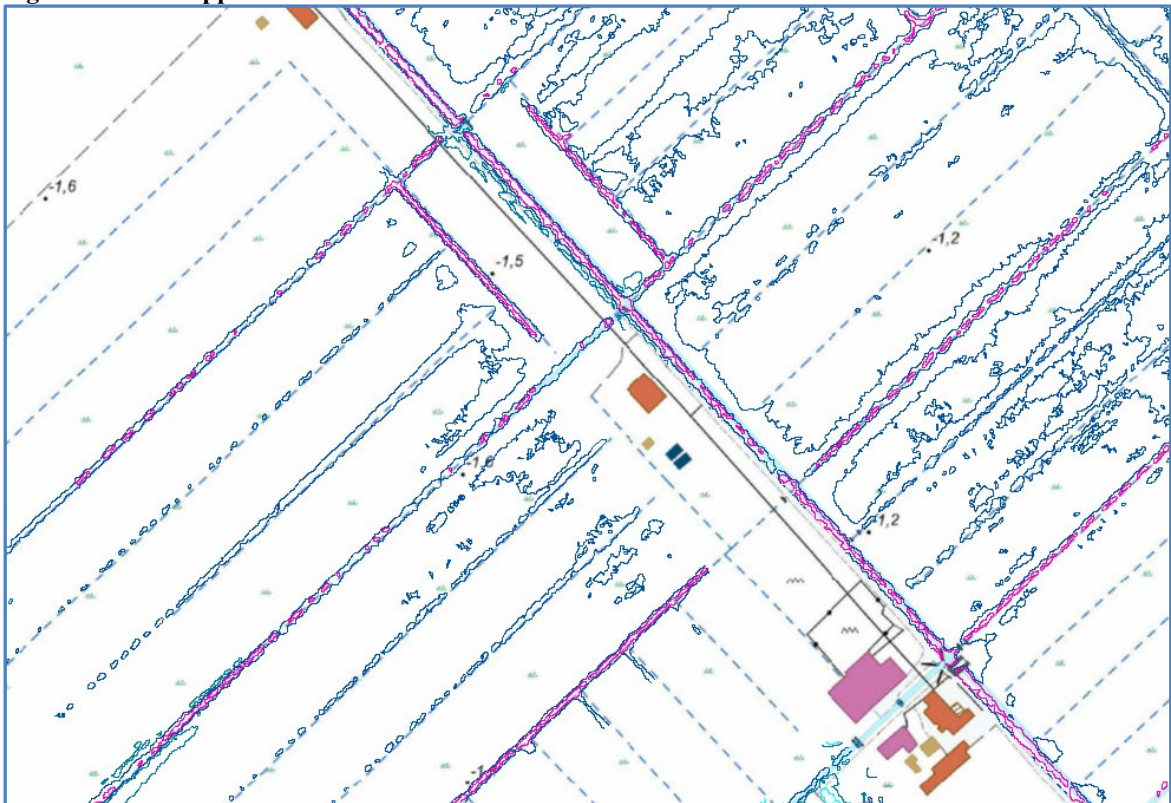


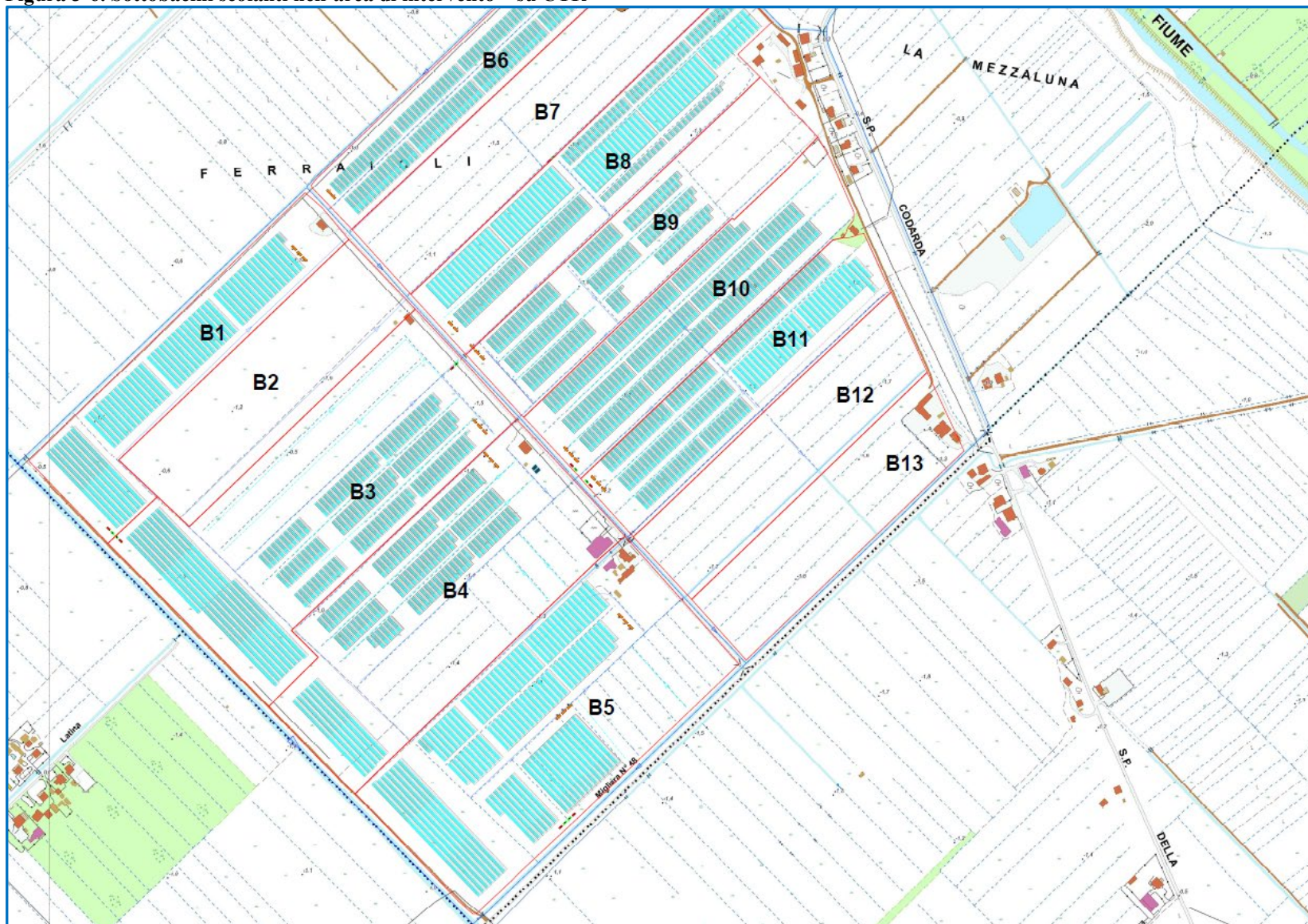
Figura 3-4. Sovrapposizione rilievo - foto aerea



Figura 3-5. SottoBacini scolanti nell'area di intervento (su foto aerea)



Figura 3-6. Sottobacini scolanti nell'area di intervento – su CTR



3.1.1 Tempo di corrivazione

I calcoli sono stati eseguiti con formulazioni solitamente utilizzate per bacini di estensione medio piccola, come quello in esame: *Kirpich*, *Pasini* e *Ventura* (il valore ricavato con il metodo di *Giandotti* viene presentato, ma non se ne tiene conto, in quanto, come noto, rappresentativo di bacini caratterizzati da superfici molto maggiori di quelle in esame):

Le tabelle indicano i valori del “*t_c adottato*”, sulla base del confronto con le formulazioni idrologiche, ma anche con dei valori di calcolo diretti ricavati conoscendo le lunghezze delle aste e le velocità presunte; come visto sopra la rete di canalini scolanti ha una geometria riconoscibile, sia come dislocamento planoaltimetrico che come sezioni. Nel confronto per la definizione delle velocità nei canali può quindi essere utilizzata la consueta formulazione del moto uniforme di Chezy in base alla geometria del canalino scolante che, per ciascun sottobacino rappresenta, di fatto, l'asta principale.

Le sezioni dei canalini scolanti sono assimilabili a trapezoidali con larghezza di fondo canale variabile da ca. 0.50mt per i più piccoli, fino a ca. 2.5mt per i maggiori; le altezze variano da pochi decimetri rimanendo comunque inferiori al mt. Il canale mediano (“Trombone”) ed il canale Migliara 48 che raccolgono le acque di tutti i sottobacini attraverso i canalini (aste principali degli stessi) hanno larghezze maggiori, comprese tra 5 e 10mt.

La pendenza dei canalini è ovviamente molto contenuta (<0.2%). Le velocità che ne derivano sono quindi molto basse, di pochi dm/s, pertanto i tempi di corrivazione sono piuttosto elevati rispetto all'estensione del bacino, in coerenza con le pendenze molto basse.

I parametri sono riepilogati nella tabella di Figura 3-7.

Figura 3-7. Sottobacini scolanti. Riepilogo dei parametri morfologici ed idrologici

		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
t _{asta} , vm = 0.25 m/s	min	106.7	35.3	43.3	43.3	50.0	39.3	48.3	48.3	55.0	43.3	42.0	40.0	36.7	33.3
t _{asta} , vm = 0.50 m/s	min	53.3	17.7	21.7	21.7	25.0	19.7	24.2	24.2	27.5	21.7	21.0	20.0	18.3	16.7
t _{asta} , vm = 0.75 m/s	min	35.6	11.8	14.4	14.4	16.7	13.1	16.1	16.1	18.3	14.4	14.0	13.3	12.2	11.1
ta	min	15	7.5	10	10	10	10	7.5	7.5	10	10	10	10	10	10
tc, vm = 0.25m/s	min	121.7	42.8	53.3	53.3	60.0	49.3	55.8	55.8	65.0	53.3	52.0	50.0	46.7	43.3
tc, vm = 0.50m/s	min	68.3	25.2	31.7	31.7	35.0	29.7	31.7	31.7	37.5	31.7	31.0	30.0	28.3	26.7
tc, vm = 0.75m/s	min	50.6	19.3	24.4	24.4	26.7	23.1	23.6	23.6	28.3	24.4	24.0	23.3	22.2	21.1
tc(medio K, V, P)	h	<u>2.85</u>	<u>0.81</u>	<u>0.64</u>	<u>0.97</u>	<u>1.14</u>	<u>0.96</u>	<u>0.89</u>	<u>0.95</u>	<u>1.09</u>	<u>0.92</u>	<u>0.87</u>	<u>0.79</u>	<u>0.83</u>	<u>0.69</u>
tcG	h	8.30	3.69	1.70	3.22	3.19	2.94	2.84	2.74	3.41	3.20	2.94	2.60	2.66	2.48
tcV	h	4.58	1.08	0.39	1.67	1.62	1.70	1.13	1.32	1.28	1.24	1.23	1.13	1.14	1.08
tcP	h	2.78	0.87	1.09	0.80	1.26	0.79	1.02	1.07	1.34	0.99	0.94	0.83	0.92	0.71
tcK	h	1.19	0.50	0.44	0.45	0.53	0.40	0.52	0.45	0.64	0.52	0.43	0.39	0.42	0.28
<u>tc, adottato</u>	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
	min	150.0	45.0	30.0	51.0	60.0	51.0	48.0	51.0	57.0	51.0	45.0	42.0	45.0	36.0
V _{media}	m/s	0.18	0.20	0.36	0.21	0.21	0.19	0.25	0.24	0.24	0.21	0.23	0.24	0.20	0.23
V _{media asta}		0.20	0.24	0.54	0.26	0.25	0.24	0.30	0.28	0.29	0.26	0.30	0.31	0.26	0.32
L	km	1.60	0.530	0.650	0.650	0.750	0.590	0.725	0.725	0.825	0.650	0.630	0.600	0.550	0.500
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
iv (Versanti)	%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
H ₀	mt	-2.5	-1.25	-2.20	-2.20	-2.30	-2.40	-2.20	-2.20	-2.25	-2.30	-2.35	-2.35	-2.40	-2.45
H _{medio aritm}	mt	-1.35	-0.85	-1.2	-1.25	-1.35	-1.4	-1.3	-0.9	-1.475	-1.65	-1.375	-1.28	-1.7	-0.98
H _{medio}	mt	-1.4	-0.85	-1.20	-1.15	-1.15	-1.20	-1.25	-1.00	-1.40	-1.55	-1.50	-1.40	-1.55	-1.60
H _{max asta}	mt	-0.9	-0.65	-1.50	-0.90	-1.50	-1.40	-1.10	-1.20	-1.30	-1.45	-1.50	-1.40	-1.80	-1.70
H _{max}	mt	-0.2	-0.45	-0.20	-0.30	-0.40	-0.40	-0.40	0.40	-0.70	-1.00	-0.40	-0.20	-1.00	0.50

3.1.2 Altezza di pioggia

Utilizzato il metodo VAPI/TCEV con il quale sono state proposte leggi di regionalizzazione delle piogge intense di breve durata nell'Italia centro settentrionale; rimandando alla bibliografia per gli aspetti teorici del metodo, si riassume riportando l'equazione di distribuzione dell'intensità di pioggia:

$$P(i_t) = e^{-\Lambda_I} e^{-\left[\frac{i_t}{\mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+i}{b}\right)^m\right]} - \Lambda_* \Lambda_I^{1/\Theta_*} e^{-\left[\frac{i_t}{\Theta_* \mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+i}{b}\right)^m\right]}$$

L'intensità di pioggia fornita dall'equazione "a 3 parametri":

$$i_t(T) = a(T)/(b+t)^m$$

La località via Migliara 47/48 appartiene alla zona omogenea A, sottozona 6; la quota di calcolo posta pari a 0mt slm. I valori dei coeff. che consentono di determinare l'intensità e l'altezza di pioggia sono i seguenti:

TCEV					
$r = [(b+1)/(b+0,0833)]^m$		(Roma Macao)		r	3.336
				m	0.6955
$b = (1-0.0833 r^{1/m})/(r^{1/m} - 1)$				b	0.1137
Λ_*	0.174	Θ_*	3.49	Λ_1	29.314
				β	4.48
quota stazione		mt slm		Z	0.00
$\mu_{i0}/mi24$	41.50	d	66.00	c	0.13518
REGIONE		A	SOTTOZONA		6
				μ_{i0z}	131.244

Nella Figura 3-8 si può vedere che l'area ricade in realtà al confine tra la sottozona A6 e la sottozona B27: si può verificare che i parametri caratteristici per la sottozona B27 restituiscono, a parità di bacino e precipitazione, valori inferiori di altezze di pioggia rispetto alla sottozona A6: l'assunzione di sottozona A6 costituisce quindi un'evidente impostazione conservativa.

Figura 3-8. Localizzazione dell'area di intervento rispetto alle sottozone "Vapi" (Regionalizzazione TCEV – Studi per l'aggiornamento del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – ex Autorità dei Bacini Regionali del Lazio)



Per i vari tempi di ritorno si ottiene (TCEV):

ai(5) = 35,2	i(tc=2,5; Tr=5)= 20.94mm/h	h(tc=2,5; Tr=5)=41,89
ai(30) = 60,5	i(tc=2,5; Tr=30)= 35.92mm/h	h(tc=2,5; Tr=30)= 71,84
ai(50) = 70,9	i(tc=2,5; Tr=50)= 42.14mm/h	h(tc=2,5; Tr=50)=84,28
ai(100) = 86.2	i(tc=2,5; Tr=100)= 51.22mm/h	h(tc=2,5; Tr=100)=102,44
ai(200) = 101,8	i(tc=2,5; Tr=200)= 60,48mm/h	h(tc=0,6; Tr=200)= 120,96

3.1.3 Coeff. di deflusso

Viene utilizzato il metodo "CN" "Curve Number" del *Soil Conservation Service*.

Tale metodo assume che, in un evento di piena, il volume specifico di deflusso superficiale, P , sia proporzionale a quello precipitato, I , in ragione del rapporto tra il volume specifico infiltrato ($F=P-I$) e un volume specifico S , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno.

Tenendo in considerazione la depurazione dall'assorbimento iniziale I_a , si ottiene:

$$F/S = P / (I - I_a)$$

Dal bilancio di massa ($F = I - I_a - P$) si ottiene la relazione:

$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

che definisce la stima del volume defluente noto quello di pioggia ed i parametri I_a ed S . La massima ritenzione potenziale S , viene posta in relazione ad un parametro adimensionale **CN**, secondo la relazione:

$$S = S_0 (100/CN - 1)$$

CN varia da 0 a 100 in funzione della natura del terreno e dall'uso del suolo; S_0 è una costante di scala (254 per valori di precipitazione misurati in mm).

L'assorbimento iniziale viene assunto proporzionale al valore di S :

$$I_a = c I$$

In effetti la stima di c non è agevole; convenzionalmente si adotta $c = 0,2$; più prudente sembra essere un valore di 0,15.

Come detto i valori di CN sono posti in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di CN in funzione dell'uso del suolo, raggruppati secondo 4 gruppi di tipologia di terreno, in ragione della loro permeabilità:

Figura 3-9. Capacità di deflusso dei terreni

A: Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili
B: Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte le capacità all'infiltrazione anche alla saturazione.
C: Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Scarsa capacità di infiltrazione alla saturazione.
D: Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Figura 3-10. Valori di CN per condizioni standard di umidità dei suoli. Valori bibliografici

N°	Valori di CN per tipo di suolo e copertura	A	B	C	D
1	Terreno coltivato senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
2	Terreno coltivato con interventi di conservazione	62	71	78	81
3	Terreno da Pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
4	Terreno da Pascolo in buone condizioni	39	61	74	80
5	Praterie in buone condizioni	30	58	71	78
6	Terreni boscosi o forestali; terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
7	Terreni boscosi o forestali; sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77

8	Spazi aperti, prati rasati, parchi; buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
9	Spazi aperti: condizioni normali con copertura erbosa attorno al 50%	49	69	79	84
10	Aree commerciali (imp. 85%)	89	92	94	95
11	Distretti industriali (imp 72%)	81	88	91	93
12	Aree residenziali: imp. Media 68%	77	85	90	92
13	Aree residenziali: imp. Media 38%	61	75	83	87
14	Aree residenziali: imp. Media 30%	57	72	81	86
15	Aree residenziali: imp. Media 25%	54	70	80	85
16	Aree residenziali: imp. Media 20%	51	68	79	84
17	Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
18	Strade: pavimentazioni con cordoli e fognature	98	98	98	98
19	Strade: inghiaiate o inselciate con buche	76	85	89	91
20	Piazzali o Strade in terra battuta, non asfaltate	72	82	87	89

La determinazione delle classi più appropriate, visti i bacini non particolarmente estesi, viene effettuata, oltre che utilizzando le classi di uso del suolo, anche per semplice sovrapposizione delle foto aeree, oltre che ovviamente, grazie alle informazioni ricavate dai sopralluoghi diretti.

Nel caso in esame nella configurazione Ante Operam la maggior parte dell'area è ricoperta da terreni irrigui: per questi si può adottare un valore medio tra quelli della voce 2 (*Terreno coltivato con interventi di conservazione*) e quelli della voce 5 (*praterie in buone condizioni*): questa adozione è più cautelativa in particolare quando verranno eseguite le verifiche per l'invarianza idraulica, restituendo valori del coeff. di deflusso nelle condizioni ante operam inferiore (infatti l'analogo valore ricavato utilizzando solo la voce 2 restituisce valori medi del coeff. di deflusso per i terreni irrigui che sarebbe eccessivamente superiore al valore di 0.20 che per consuetudine viene utilizzato per le superficie permeabili nelle verifiche dei volumi di laminazione).

Sono presenti nell'area anche strade sterrate, oltre che alcuni piazzali sterrati (corti di alcuni casolari), per i quali si può utilizzare la voce 20 (*Piazzali o strade in terra battuta, non asfaltate*).

Per i tetti e piazzali con pavimentazioni impermeabili viene utilizzata la voce 17.

Nella configurazione di progetto, oltre a qualche altra strada interna, sempre sterrata (per la quale può utilizzarsi sempre la voce 20, abbiamo alcuni locali cabine (Enel, sottostazioni utenze, cabine di campo etc), che evidentemente hanno una copertura impermeabile, per cui può utilizzarsi ancora la voce 17.

Considerazioni decisamente specifiche devono essere fatte per le serre agri fotovoltaiche.

Come noto questo tipo di installazioni, al pari dei campi di pannelli fotovoltaici classici, non altera la classe d'uso del suolo: in questo caso al di sotto delle serre il terreno, come detto in premessa, mantiene esattamente l'utilizzazione agricola presente nelle condizioni Ante Operam.

Tuttavia è bene valutare con prudenza, pur mantenendosi lo stesso uso del suolo, se il coefficiente di deflusso può subire delle modificazioni a seguito dell'installazione delle serre.

Non esistono in vero dati bibliografici specifici; la maggior parte dei progettisti adotta per i campi fotovoltaici classici, coefficienti di deflusso post operam identici a quelli ante operam, o al massimo assume valori $C_{d,post}$ di pochi punti percentuali superiori a $C_{d,ante}$.

Il motivo del possibile aumento del deflusso è che l'acqua meteorica che colpisce i pannelli, pur scivolando nel medesimo terreno (irriguo nella fattispecie) delle condizioni ante operam, lo fa in modo concentrato (lungo la linea di gocciolamento dello spigolo basso del pannello) anziché in modo diffuso su tutta la proiezione orizzontale del pannello stesso: in occasione degli eventi meteorici di maggiore intensità, e/o in caso di terreni particolarmente imbibiti, questa dinamica potrebbe favorire il ruscellamento, quindi in sintesi, aumentare il coeff. di deflusso a parità di precipitazioni.

Questo fenomeno certamente può essere maggiore con la serre agrifotovoltaiche come quelle in progetto, che sono dei tunnel di lunghezza variabile e larghezza (proiezione in pianta) di 9.6mt; i tunnel sono affiancati tra loro, con ripetizione fino ad un massimo di 15 nel caso del layout del presente progetto.



Si crea quindi una sorta di copertura continua, anche se, ai fini del deflusso, non è corretto considerarle del tutto analoghe alle coperture impermeabili, in quanto:

- Le acque meteoriche dalle coperture delle serre riversano al suolo tramite pluviali che intercettano l'acqua raccolta dai canali di gronda (che fanno da giunzione tra i moduli): i pluviali, specie per le serre di maggiore lunghezza, andranno posizionati anche all'interno del modulo, quindi parte delle acque riversa nei canalini realizzati all'interno delle serre, su suolo agricolo.
- I pluviali sui terminali dei canali di gronda ai margini delle serre, riversano anch'essi le acque su terreno agricolo, e non su superfici impermeabili o semi-impermeabili o direttamente verso una rete di collettamento e smaltimento, come usualmente avviene con le coperture delle fabbricati.

Si comprende come il coefficiente di deflusso per queste strutture dipenda principalmente da come le acque raccolte dai pluviali vengono raccordate al reticolo scolante dell'area (o meglio del singolo sottobacino).

Nel capitolo successivo, relativo alle verifiche di invarianza idraulica ed i relativi interventi di mitigazione suggeriti, verrà spiegato che è possibile ridurre a valori molto bassi i valori delle portate di pioggia provenienti dalle coperture delle serre, confinando quanto più possibile queste acque rispetto al reticolo dei canalini di scolo dei terreni irrigui circostanti, ottenendo quindi valori medi del coefficiente di deflusso perfino inferiori a quelli ante operam.

Nella configurazione di progetto, ma senza interventi di compensazione ai fini dell'invarianza, si adotteranno valori cautelativi del coefficiente di deflusso delle serre agrifotovoltaiche, che sono adeguatamente superiori al valore caratteristico dei terreni irrigui (valore delle condizioni ante operam).

Un criterio possibile di valutazione è quello di considerare la compensazione che si ottiene per la sola presenza dei pluviali, che rallentano in parte i picchi di pioggia che cadono sulla copertura provocando lieve rialzo delle altezze idriche nei canali di gronda (vedi seguito): anche senza ricorrere a particolari riduzioni del diametro consueto dei pluviali, si può verificare una contrazione della portata di picco dell'ordine del 20% ($C_{d, Serre}=0.80$).

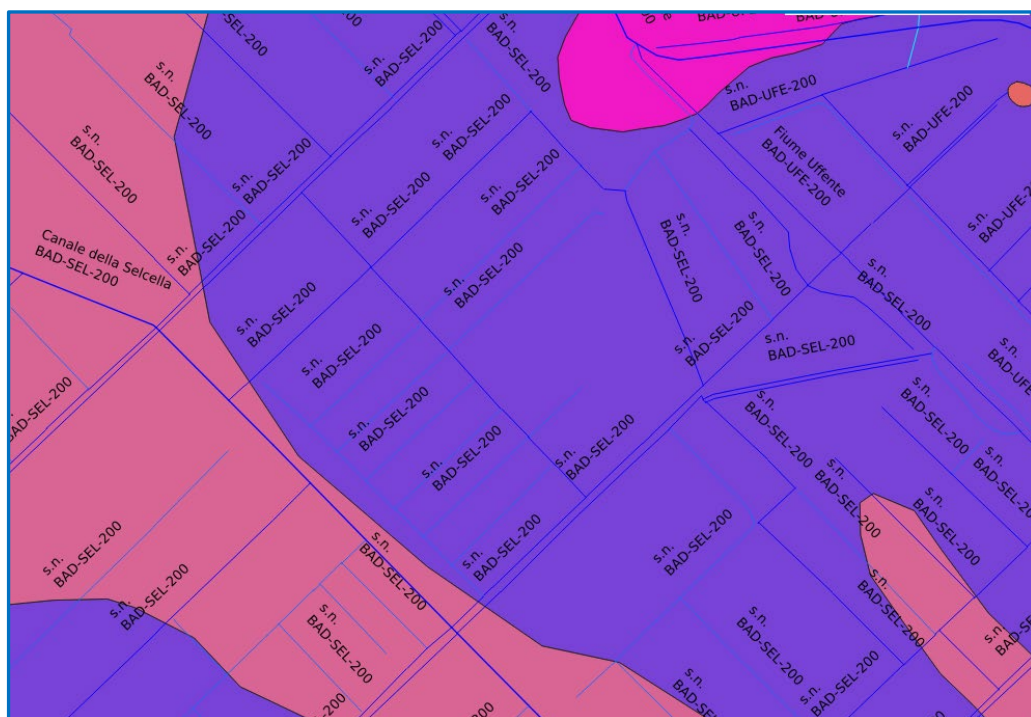
Per i corrispondenti valori da utilizzare ai fini del metodo CN si adottano valori ricavati pesando al 75% i valori caratteristici delle coperture e per il 25% quelli caratteristici dei terreni irrigui: questa adozione restituisce valori di coeff. di deflusso confrontabili con il valore $C_{d, Serre}$ scelto, ed è anche abbastanza coerente con le considerazioni sopra effettuate (precipitazione che ricade sulle coperture, ma scarico sul suolo sui terreni irrigui permeabili che circondano le coperture stesse).

Riepilogando:

VALORI DI CN ADOTTATI

	A	B	C	D
Terreni irrigui	62	71	78	81
Piazzali o Strade in terra battuta, non asfaltate	72	82	87	89
Tetti ed altre superfici impermeabilizzate	98	98	98	98
Serre Agrifotovoltaiche	89	91.25	93	93.75
Cabine di campo, Enel, SU	98	98	98	98
Nuove strade sterrate interne di progetto	72	82	87	89

Nelle tabelle successive sono riepilogati i parametri di CN. Il valore adottato è quello relativo alla classe C (potenzialità di deflusso moderatamente alta): questo è dovuto alle caratteristiche idrogeologiche dei suoli, (Terre nere di ambiente lacuale e palustre (Olocene), caratterizzate da bassa permeabilità:



Si è inoltre adottato prudenzialmente un valore di imbibizione dei terreni intermedio (“2.5” nelle tabelle) tra quello “normale” (AMCII) e quello dei terreni fortemente imbibiti (AMCIII).

Figura 3-11. Ripartizione d'uso del suolo e valori di CN - Ante Operam

USO SUOLO - ANTE		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Terreni irrigui	km ²	1.266	0.071	0.008	0.171	0.152	0.165	0.073	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.066
	%	96.9%	99.0%	88.8%	99.1%	93.7%	92.3%	92.3%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	90.3%
Piazzali o Strade in terra battuta, non asfaltate	km ²	0.035	0.001	0.001	0.002	0.009	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
	%	2.7%	0.8%	11.2%	0.9%	5.5%	6.5%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%
Tetti ed altre superfici impermeabilizzate	km ²	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	%	0.43%	0.24%	0.00%	0.00%	0.74%	1.12%	1.39%	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.38%
Serre Agrifotovoltaiche	km ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Cabine di campo, Enel, SU	km ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Nuove strade sterrate interne di progetto	km ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

1.307	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

CLASS E	BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
	A	50.0	70.3	48.9	60.5	58.2	66.1	67.4	46.0	72.6	57.4	65.5	68.5	46.0
B	68.2	80.2	66.5	73.9	72.4	77.5	78.4	64.5	81.7	71.9	77.1	79.0	64.5	66.4
C	78.0	85.5	75.9	81.1	80.1	83.6	84.3	74.5	86.6	79.7	83.3	84.7	74.5	75.9
D	82.9	88.2	80.6	84.7	83.9	86.7	87.2	79.5	89.0	83.6	86.4	87.5	79.5	80.5

Classe scelta

C	78.0	74.6	75.9	74.6	75.4	75.6	75.6	74.5	74.5	74.5	74.5	74.5	74.5	74.5	75.9
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Condizione imbibimento

2.5	83.6	81.0	81.9	80.9	81.5	81.7	81.7	80.8	80.9	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	81.9
------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Figura 3-12. Ripartizione d'uso dei suoli e valori di CN - post operam

USO SUOLO - POST		BTO T	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Terreni irrigui	km ²	0.790	0.025	0.008	0.106	0.107	0.081	0.032	0.108	0.030	0.067	0.046	0.032	0.081	0.066
	%	60.5%	34.7%	88.8%	61.3%	66.2%	45.4%	40.6%	100.0%	29.6%	70.2%	48.9%	40.5%	100.0%	90.3%
Piazzali o Strade in terra battuta, non asfaltate	km ²	0.035	0.001	0.001	0.002	0.009	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
	%	2.7%	0.8%	11.2%	0.9%	5.5%	6.5%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%
Tetti ed altre superfici impermeabilizzate	km ²	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	%	0.43%	0.24%	0.00%	0.00%	0.74%	1.12%	1.39%	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.38%
Serre Agrifotovoltaiche	km ²	0.427	0.040	0.000	0.059	0.040	0.076	0.034	0.000	0.065	0.027	0.044	0.043	0.000	0.000
	%	32.7%	55.2%	0.0%	33.9%	24.5%	42.7%	42.9%	0.0%	63.9%	28.2%	47.1%	53.8%	0.0%	0.0%
Cabine di campo, Enel, SU	km ²	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	%	0.1%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%
Nuove strade sterrate interne di progetto	km ²	0.048	0.006	0.000	0.007	0.005	0.007	0.007	0.000	0.006	0.001	0.004	0.004	0.000	0.000
	%	3.7%	8.9%	0.0%	3.8%	3.0%	4.1%	8.7%	0.0%	6.3%	1.5%	3.9%	5.5%	0.0%	0.0%
		1.307 100.0 %	0.072 100.0%	0.009 100.0%	0.173 100.0%	0.162 100.0%	0.179 100.0%	0.079 100.0%	0.108 100.0%	0.102 100.0%	0.096 100.0%	0.093 100.0%	0.080 100.0%	0.081 100.0%	0.073 100.0%
CLASSE	BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	
A	63.8	70.3	48.9	60.5	58.2	66.1	67.4	46.0	72.6	57.4	65.5	68.5	46.0	48.9	
B	77.1	80.2	66.5	73.9	72.4	77.5	78.4	64.5	81.7	71.9	77.1	79.0	64.5	66.4	
C	84.3	85.5	75.9	81.1	80.1	83.6	84.3	74.5	86.6	79.7	83.3	84.7	74.5	75.9	
D	87.8	88.2	80.6	84.7	83.9	86.7	87.2	79.5	89.0	83.6	86.4	87.5	79.5	80.5	
Classe scelta	C	84.3	85.5	75.9	81.1	80.1	83.6	84.3	74.5	86.6	79.7	83.3	84.7	74.5	75.9
Condizione imbibimento	2.5	88.4	89.4	81.9	86.0	85.2	87.9	88.4	80.8	90.2	84.9	87.7	88.8	80.8	81.9

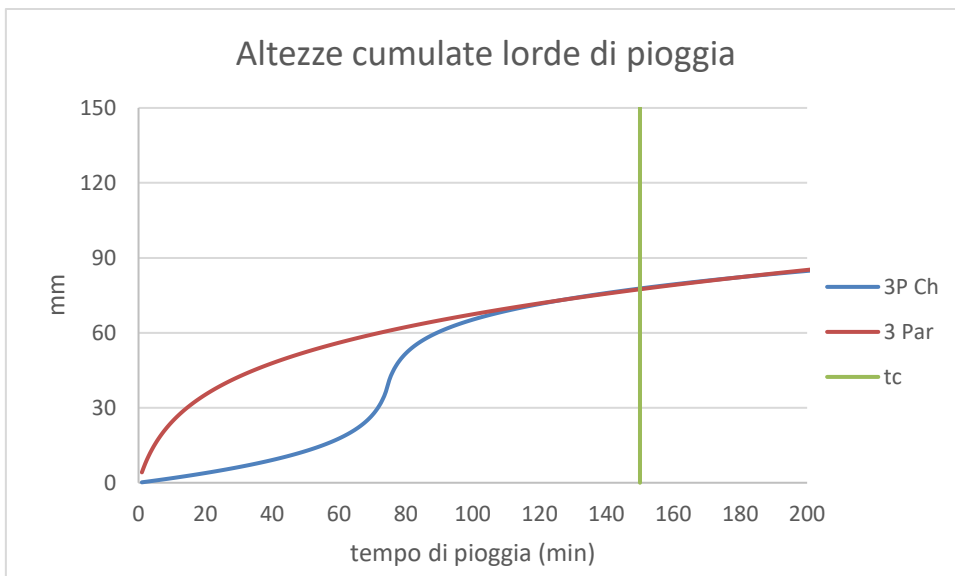
3.1.4 Portate ed idrogrammi di piena

Per la costruzione dell'idrogramma, assunto che il valore dell'altezza di pioggia lorda cumulata è stato calcolato con il metodo sopra descritto (VAPI/TCEV), si adotta lo ietogramma di pioggia tipo **“Chicago”**, che prevede la presenza di un picco di intensità di precipitazione ad un tempo $t_p = r t_c$ (con r pari a 0.50 nel nostro caso); questa forma dell'intensità di precipitazione permette di ovviare ai limiti dell'utilizzo di una equazione di intensità di pioggia asintotica al tempo zero.

L'intensità di pioggia per l'equazione “a 3 parametri” è data da:

$$i(t) = \begin{cases} a \frac{b + (1-m) \frac{t_r - t}{r}}{\left(b + \frac{t_r - t}{r}\right)^{m+1}} & \text{per } t \leq t_r \\ a \frac{b + (1-m) \frac{t - t_r}{1-r}}{\left(b + \frac{t - t_r}{1-r}\right)^{m+1}} & \text{per } t > t_r \end{cases}$$

Il valore della cumulata di pioggia calcolata al tempo t_c ($h(t_c, T_r)$) corrisponde chiaramente al valore della precipitazione di progetto sopra determinata (sotto la curva per le precipitazioni associate al tempo di ritorno $T_r=30$ e tempo di pioggia $t=2.5$ h).



Per la costruzione vera e propria degli idrogrammi viene utilizzato il metodo dell'invaso.

$$Q_{ti} = S \times (h_n)_{ti} \times (1 - e^{-t/k}) + Q_{ti-1} e^{-t/k}$$

Gli idrogrammi di alcuni bacini e sottobacini sono rappresentati nella Figura 3-13; i dati riepilogati nella tabella di Figura 3-15 e le tabelle successive.

Figura 3-13. Idrogrammi di piena. Tr=30 eTr200. Ante Operam

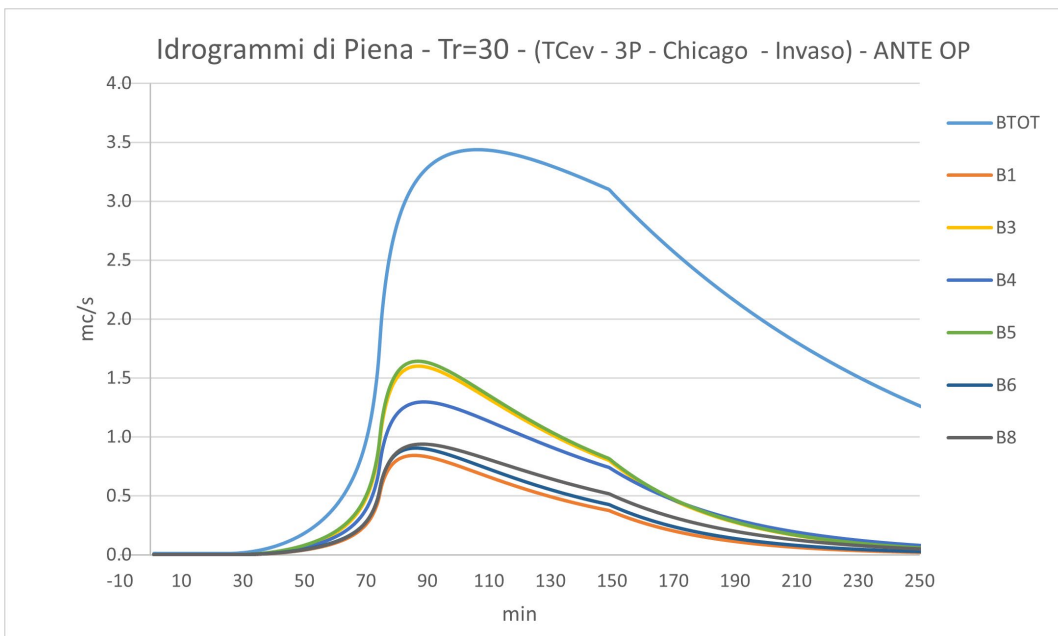
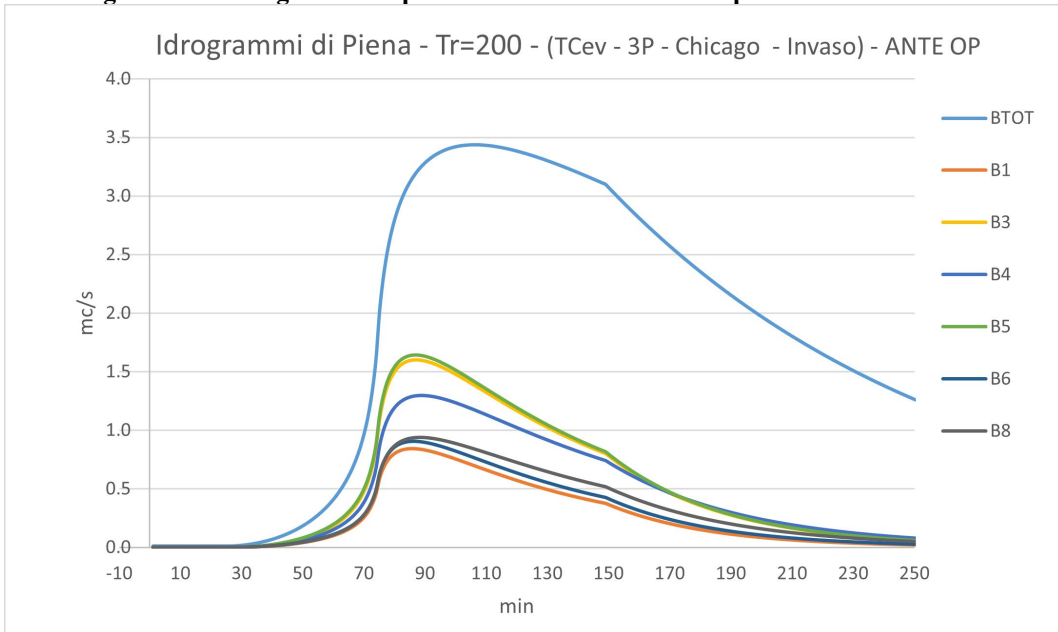
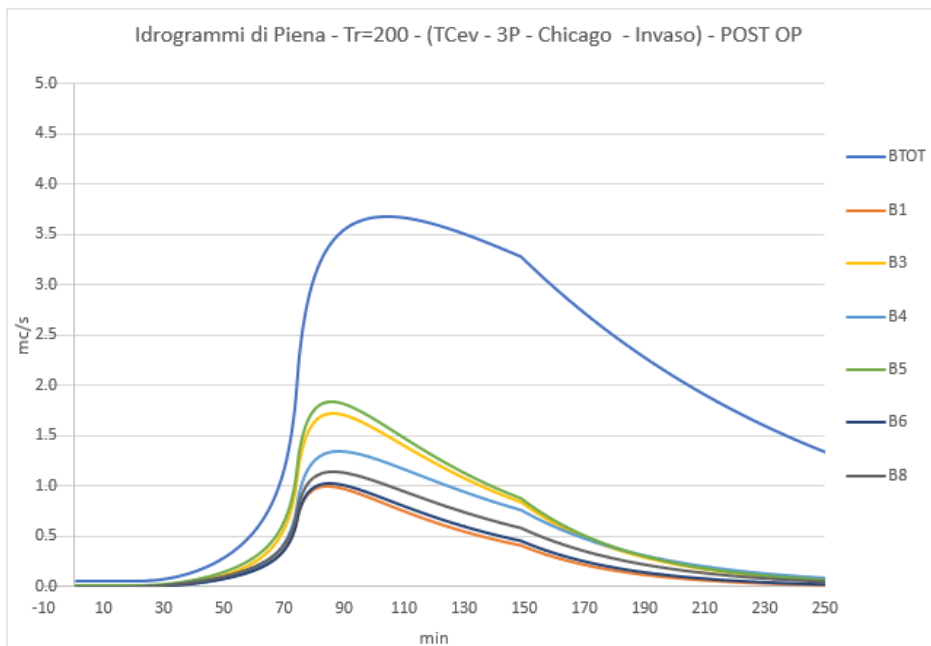


Figura 3-14 - Idrogrammi di piena - post operam (senza interventi di laminazione)



I

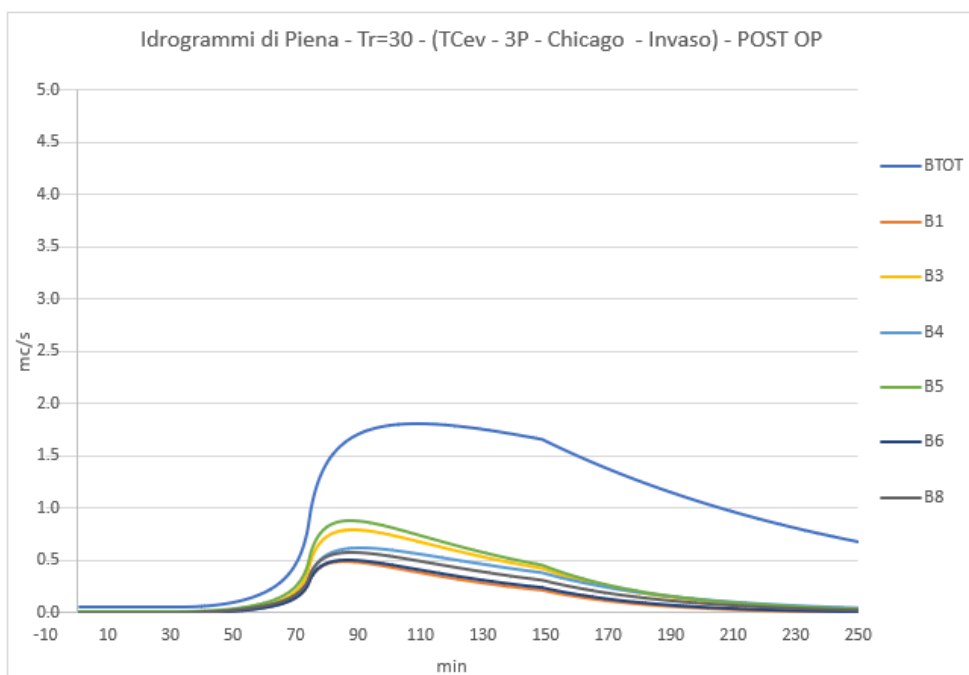


Figura 3-15. Portate di massima piena ed altri parametri idrologici del bacino e dei sottobacini. TR da 200 anni a 10 anni.

Tr= 200.0		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
ANTE															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		<u>0.65</u>	<u>0.60</u>	<u>0.62</u>	<u>0.60</u>	<u>0.61</u>	<u>0.61</u>	<u>0.62</u>	<u>0.60</u>	<u>0.60</u>	<u>0.60</u>	<u>0.60</u>	<u>0.60</u>	<u>0.60</u>	<u>0.62</u>
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	3.2	0.77	0.22	1.46	1.20	1.51	0.83	0.98	0.86	0.89	0.95	0.89	0.84	0.94
<i>Q/S</i>	mc/sec*km ²	<u>2.444</u>	<u>10.73</u>	<u>23.094</u>	<u>8.484</u>	<u>7.372</u>	<u>8.464</u>	<u>10.52</u>	<u>9.063</u>	<u>8.404</u>	<u>9.277</u>	<u>10.17</u>	<u>11.2</u>	<u>10.4</u>	<u>13</u>

Tr= 200.0		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		<u>0.74</u>	<u>0.77</u>	<u>0.62</u>	<u>0.70</u>	<u>0.68</u>	<u>0.73</u>	<u>0.75</u>	<u>0.60</u>	<u>0.78</u>	<u>0.68</u>	<u>0.73</u>	<u>0.75</u>	<u>0.60</u>	<u>0.62</u>
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	3.7	1.00	0.22	1.72	1.34	1.84	1.02	0.98	1.14	1.01	1.18	1.14	0.84	0.94
	l/s	3675.1	998.6	217.1	1720.7	1344.2	1835.9	1024.5	977.8	1138.1	1014.2	1175.1	1136.2	841.6	944.4
<i>Q/S</i>	mc/sec*km ²	<u>2.825</u>	<u>13.87</u>	<u>23.097</u>	<u>9.969</u>	<u>8.293</u>	<u>10.27</u>	<u>12.92</u>	<u>9.07</u>	<u>11.15</u>	<u>10.58</u>	<u>12.6</u>	<u>14.3</u>	<u>10.4</u>	<u>13</u>

Tr= 100.0

		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
ANTE															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K c=0.75		1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km2	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.60	0.55	0.57	0.55	0.56	0.57	0.57	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.57
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	2.5	0.60	0.17	1.13	0.93	1.17	0.65	0.75	0.66	0.69	0.73	0.69	0.65	0.73
Q/S	mc/sec*km2	<u>1.923</u>	<u>8.283</u>	<u>17.929</u>	<u>6.546</u>	<u>5.711</u>	<u>6.56</u>	<u>8.154</u>	<u>6.99</u>	<u>6.485</u>	<u>7.155</u>	<u>7.844</u>	<u>8.62</u>	<u>7.99</u>	<u>10.1</u>

Tr= 100.0

		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
POST															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K c=0.75		1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km2	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.70	0.73	0.57	0.66	0.64	0.70	0.71	0.55	0.75	0.63	0.69	0.72	0.55	0.57
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	3.0	0.81	0.17	1.37	1.06	1.47	0.82	0.75	0.92	0.80	0.94	0.92	0.65	0.73
	l/s	2961.5	807.3	168.6	1365.8	1062.7	1472.1	823.7	754.4	923.3	800.3	941.3	915.3	649.3	732.7
Q/S	mc/sec*km2	<u>2.276</u>	<u>11.21</u>	<u>17.933</u>	<u>7.913</u>	<u>6.556</u>	<u>8.233</u>	<u>10.39</u>	<u>6.998</u>	<u>9.043</u>	<u>8.346</u>	<u>10.09</u>	<u>11.5</u>	<u>8</u>	<u>10.1</u>

Tr= 50.0

		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
ANTE															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.54	0.49	0.52	0.49	0.50	0.51	0.51	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.51
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.9	0.43	0.12	0.82	0.67	0.85	0.47	0.54	0.48	0.50	0.53	0.50	0.47	0.53
Q/S	mc/sec*km ²	<u>1.429</u>	<u>5.987</u>	<u>13.054</u>	<u>4.733</u>	<u>4.152</u>	<u>4.771</u>	<u>5.931</u>	<u>5.051</u>	<u>4.69</u>	<u>5.17</u>	<u>5.664</u>	<u>6.22</u>	<u>5.77</u>	<u>7.35</u>

Tr= 50.0

		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
POST															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.66	0.69	0.52	0.60	0.58	0.65	0.66	0.49	0.71	0.58	0.64	0.67	0.49	0.51
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	2.3	0.62	0.12	1.03	0.79	1.12	0.63	0.55	0.71	0.60	0.72	0.70	0.47	0.53
	l/s	2275.1	621.5	122.7	1026.0	794.2	1121.9	630.0	545.5	714.6	596.6	716.1	701.8	469.1	533.5
Q/S	mc/sec*km ²	<u>1.749</u>	<u>8.633</u>	<u>13.058</u>	<u>5.945</u>	<u>4.9</u>	<u>6.275</u>	<u>7.944</u>	<u>5.06</u>	<u>6.999</u>	<u>6.221</u>	<u>7.675</u>	<u>8.81</u>	<u>5.78</u>	<u>7.36</u>

Tr= 30.0

BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

ANTE

Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.49	0.44	0.46	0.44	0.45	0.46	0.46	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.46
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.4	0.32	0.09	0.61	0.51	0.64	0.36	0.41	0.36	0.37	0.40	0.37	0.35	0.40
Q/S	mc/sec*km ²	1.105	4.498	9.8668	3.558	3.139	3.607	4.483	3.795	3.526	3.885	4.252	4.67	4.33	5.56

Tr= 30.0

BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

POST

Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.61	0.65	0.46	0.56	0.54	0.61	0.62	0.44	0.67	0.53	0.60	0.63	0.44	0.46
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.8	0.50	0.09	0.80	0.62	0.89	0.50	0.41	0.57	0.46	0.56	0.56	0.35	0.40
Q/S	mc/sec*km ²	1.395	6.891	9.8725	4.636	3.804	4.959	6.3	3.805	5.617	4.816	6.055	7	4.34	5.57

Tr= 10.0

BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

ANTE

Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km2	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.38	0.33	0.35	0.33	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.35
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	0.8	0.17	0.05	0.31	0.26	0.33	0.18	0.21	0.18	0.19	0.20	0.19	0.18	0.21
Q/S	mc/sec*km2	0.612	2.294	5.0979	1.819	1.631	1.872	2.325	1.937	1.806	1.983	2.163	2.37	2.2	2.88

Tr= 10.0

BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

POST

Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km2	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.51	0.55	0.35	0.45	0.43	0.50	0.52	0.33	0.58	0.42	0.50	0.53	0.33	0.35
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.1	0.30	0.05	0.45	0.34	0.52	0.29	0.21	0.35	0.26	0.33	0.33	0.18	0.21
Q/S	mc/sec*km2	0.838	4.122	5.1063	2.614	2.12	2.895	3.707	1.949	3.41	2.662	3.515	4.14	2.21	2.89

4 Verifiche di invarianza idraulica ed interventi proposti.

Al capitolo precedente si è visto che la presenza delle serre fotovoltaiche aumenta il valore delle portate di deflusso rispetto alle condizioni ante operam; i calcoli peraltro sono stati eseguiti per condizioni di imbibizione dei terreni aumentata rispetto al valore normale AMCII, che, unitamente alla caratterizzazione idrogeologica dei suoli (terreni di classe C - metodo CN), conduce a dei valori di coeff. di deflusso medi e per singolo sottobacino, piuttosto elevati, specie per i tempi di ritorno maggiori.

Il valore assegnato al coeff. di deflusso delle serre in prima ipotesi è particolarmente elevato ($C_{d,serre}=0.80$), ma abbiamo già detto come esso dipenda principalmente, da come le acque raccolte dai pluviali vengono raccordate al reticolo scolante dell'area (o meglio del singolo sottobacino).

Il riferimento normativo regionale come noto sono le “*Linee Guida sulla invarianza idraulica nelle trasformazioni territoriali*” di cui alla Deliberazione 24 marzo 2020, n. 117. L'intervento, in quanto > 0.1 ha supera la soglia dimensionale di applicazione delle linee guida, ed in particolare, ai sensi del punto 3) della Tab. I del punto 4.1 delle norme, è caratterizzato da una “significativa impermeabilizzazione potenziale”, risultando $A > 10$ ha e $Imp < 0.30$ (vedi seguito).

In questo caso le norme richiedono che “*le luci di scarico e i tiranti idrici consentiti nell'invaso, dovranno esser tali da garantire che il valore della portata massima, defluente dall'area oggetto di trasformazione dell'uso del suolo, sia pari al valore assunto dalla stessa precedentemente all'impermeabilizzazione dell'area medesima, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni*”.

Nella tabella seguente sono riepilogati i parametri di calcolo della percentuale di superficie da impermeabilizzare.

Ricordando la dislocazione dei singoli sub-bacini di scolo (vedi Figura 3-3 e Figura 3-4), si sono tolti dai calcoli interamente i bacini B2, B7 e B13. Altre porzioni di bacino non interessate dall'intervento sono state decurtate. La superficie complessiva dell'intervento è pari quindi a ca. 90.8ha, rispetto ai 1,30ha della superficie totale dell'area scolante.

Figura 4-1. Calcolo della percentuale di superficie di intervento da impermeabilizzare

Tipo di suolo (ANTE TRASFORMAZIONE)	Fatt. di imp.	Sup Imp. ha	Sup tot ha	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Terreno irriguo	0.00	0.00	90.70	7.129	0.000	11.480	8.994	13.359	7.320	0.000	10.200	6.800	9.330	7.970	8.120	0.000
Tetti, piazzali pavimentati ed altre sup impermeabili	1.00	0.14	0.14	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Strade sterrate e piazzali in terra battuta	0.50	0.01	0.03	0.001	0.000	0.002	0.009	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pannelli fotovoltaici/Coperture serre	0.50	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nuove strade sterrate in progetto	0.60	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cabine Enel, SU, cabine di campo	1.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale		0.15	90.87													
Percentuale di suolo già impermeabilizzato																
																0.17%

Tipo di suolo (POST TRASFORMAZIONE)	Fatt. di imp.	Sup Imp. ha	Sup tot ha	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
Terreno irriguo	0.00	0.00	43.06	2.498	0.000	4.954	4.532	4.972	3.222	0.000	3.025	3.944	4.560	3.229	8.120	0.000
Tetti, piazzali pavimentati ed altre sup impermeabili	1.00	0.14	0.14	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Strade sterrate e piazzali in terra battuta	0.50	0.01	0.03	0.001	0.000	0.002	0.009	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pannelli fotovoltaici/Coperture serre	0.50	21.36	42.73	3.973	0.000	5.856	3.965	7.626	3.398	0.000	6.524	2.704	4.392	4.291	0.000	0.000
Nuove strade sterrate in progetto	0.50	2.39	4.78	0.643	0.000	0.650	0.488	0.730	0.688	0.000	0.645	0.143	0.363	0.435	0.000	0.000
Cabine Enel, SU, cabine di campo	1.00	0.14	0.14	0.015	0.000	0.020	0.010	0.030	0.012	0.000	0.007	0.010	0.015	0.015	0.000	0.000
Totale		24.04	90.87													
Percentuale di suolo che sarà impermeabilizzato																
																26.46%

Il fattore di conteggio di impermeabilizzazione (ossia la quota parte di superfici semipermeabili da conteggiare) di *strade o piazzali sterrati* è stato assunto come di consueto pari a 0.50; riguardo le serre fotovoltaiche valgono le considerazioni fatte nei capitoli precedenti; fondamentalmente l'elemento che maggiormente incide nella capacità del deflusso è come le acque scaricate dalle coperture delle serre vengono raccordate alla rete dei canalini scolanti; le ipotesi progettuali di compensazione proposte in seguito condurranno a frazioni di deflusso molto modeste, inferiori a quelle ante operam: il fattore per le serre viene quindi posto pari a 0.50, per quanto detto piuttosto conservativo.

Nella configurazione post operam la percentuale impermeabilizzata è quindi di ca. il 26,5%.

Per comprendere meglio il comportamento al deflusso delle serre, viene eseguita un'analisi più approfondita su un modulo unitario, ossia un tunnel di larghezza standard di 9.6mt, e lunghezza di 100mt.

La portata ante operam defluente su questa superficie di terreno irriguo (9.6x100) è la portata calcolata con il metodo invaso e metodo CN per i deflussi sopra definito,.

Il tempo di corrivazione è calcolato considerando che il canalino scolante (asta principale) è percorso dalle acque con una velocità di 0.25m/s; aggiungendo un piccolo tempo aggiuntivo necessario alle acque per raggiungere il canalino dal punto più lontano del lotto unitario, si ricava un tempo di corrivazione come appresso mostrato:

Tempo di pioggia		2.50	h
Larghezza struttura di serra/larghezza campo unitario	L	9.6	mt
Lunghezza struttura serra/Lunghezza campo unitario	I	100	mt
Area	Aserra	960	m ²
		0.096	ha
Lunghezza asta principale (canalino su terreno coltivo sub-pianeggiante)	L_A	100	mt
Pendenza asta ante (pendenza canalino di scolo)	i_A	0.10%	
Velocità media nell'asta	V_A	0.25	m/s
Tempo percorrenza dell'asta	t_A	400	s
		6.667	min
Tempo aggiuntivo per raggiungere l'asta dal punto più lontano		2.000	min
Tempo corrivazione ante operam		8.667	min
		<u>0.144</u>	h

Applicando i medesimi valori di CN (per la categoria di terreno irriguo) e la medesima metodologia di calcolo delle precipitazioni di progetto (TCEV – sottozona A6), con ietogramma di piena Chicago e metodo invaso, si ottiene per TR=30 anni l'idrogramma di piena appresso mostrato, con una portata massima pari a $Q_{U,Ante}=17.4l/s$.

Il tempo di corrivazione relativo al percorso che impiega l'acqua sulla copertura della serra a raggiungere i pluviali è il seguente:

n° pluviali	n°	4.00	
Lunghezza complessivo canale di Gronda	lg	100.0	mt
Lunghezza effettiva percorso in base al numero discendenti (L asta post)	L_{A,p}	25	mt
Pendenza media canale di gronda	ig	0.2%	%
Tempo di percorrenza del canale (asta post operam)	ta,p	1.7	min
		0.028	h
Tempo aggiuntivo dal colmo della copertura		0.5	min
Tempo corrivazione pioggia in copertura	tc,c	2.2	min
		<u>0.036</u>	h

La portata sul tetto si ricava in questo caso con il metodo cinematico:

$$Q(t, Tr=30) = [C_d A_{serra} i(t)]/3.6$$

Con coeff. di deflusso prossimo all'unità (0.98) ed intensità di precipitazione associata ad una pioggia di tempo di ritorno trentennale di durata di 2.5h, con ietogramma Chicago.

Il picco teorico di portata è di $Q_{cop}=71.6l/s$.

La portata a terra dalla copertura dipende chiaramente dal numero e diametro dei pluviali.

L'equazione utilizzata in questo caso è quella di *Wyly Eaton*:

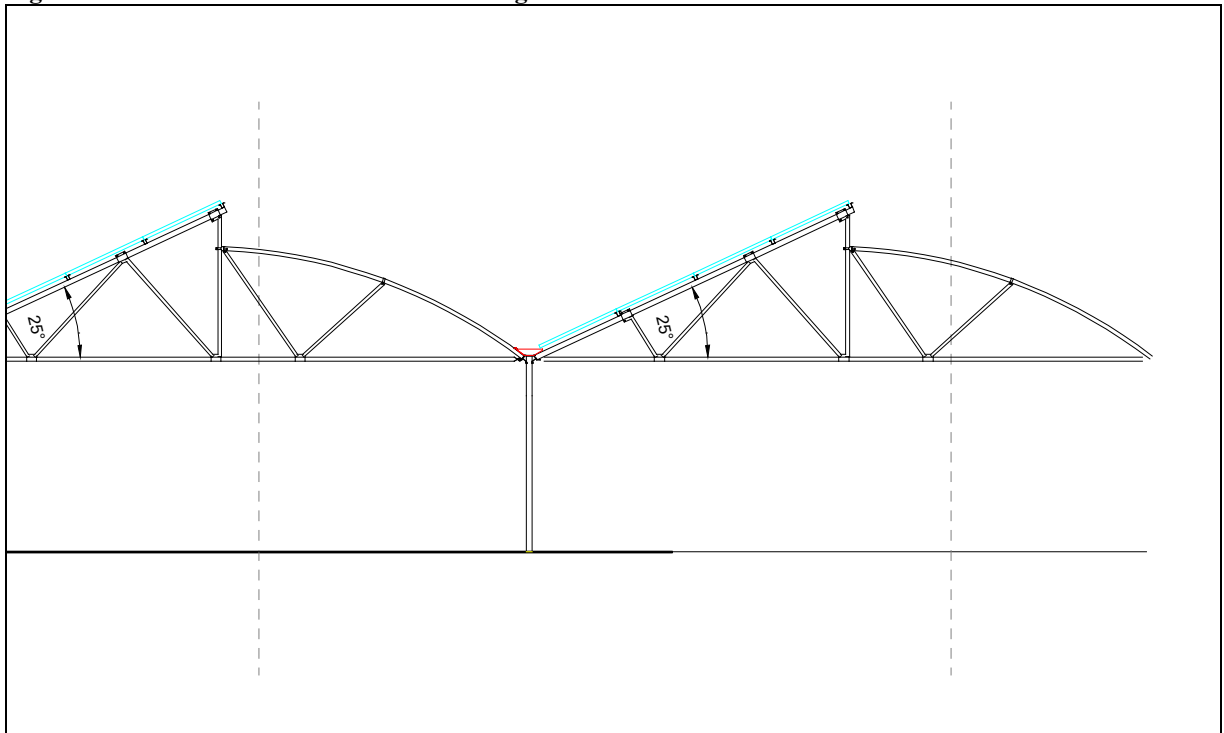
$$Q_{RWP} = 2.5 \cdot 10^{-4} \cdot k_b^{-0.167} \cdot d^{2.667} \cdot f^{1.667}$$

In cui K_b è la scabrezza del pluviale posta pari a 0.25, F il grado di riempimento solitamente posto pari a 0.33; d il diametro del pluviale (in mm).

Cautelativamente la portata in discesa dal pluviale non è posta costante, ma viene maggiorata aumentando proporzionalmente il grado di riempimento fino al valore di 0.90 che viene imposto quando l'altezza sul canale di gronda è pari a 30cm.

Questa adozione è possibile in quanto si conosce la geometria della copertura e del canale di gronda, che in questo caso raccorda le due falde di due serre adiacenti (vedi figura):

Figura 4-2 Geometria di sezione delle serre agrifotovoltaiche



La larghezza di base del canale di gronda è di 15cm.

Per un modulo di copertura di lunghezza 100m e queste superfici, è opportuno adottare almeno 1 discendente ogni 25m, ossia 4 complessivamente in questo caso.

Con un diametro dei pluviali dn 80mm, si ottiene:

Portata massima ante operam	$Q_{max,A}$	17.4	<i>l/s</i>
Portata teorica massima istantanea dalla copertura verso i pluviali	$Q_{max,P,C}$	71.6	<i>l/s</i>
		746.1	<i>l/s*ha</i>
Distanza tra i pluviali	dp	25.0	<i>m</i>
Diametro pluviali	DNp	80.0	<i>mm</i>
Portata massima scaricata a terra dai pluviali	$Q_{max,p}$	49.8	<i>l/s</i>
		518.8	<i>l/s*ha</i>
Massima altezza d'acqua sulla gronda	hw	<u>0.098</u>	<i>m</i>

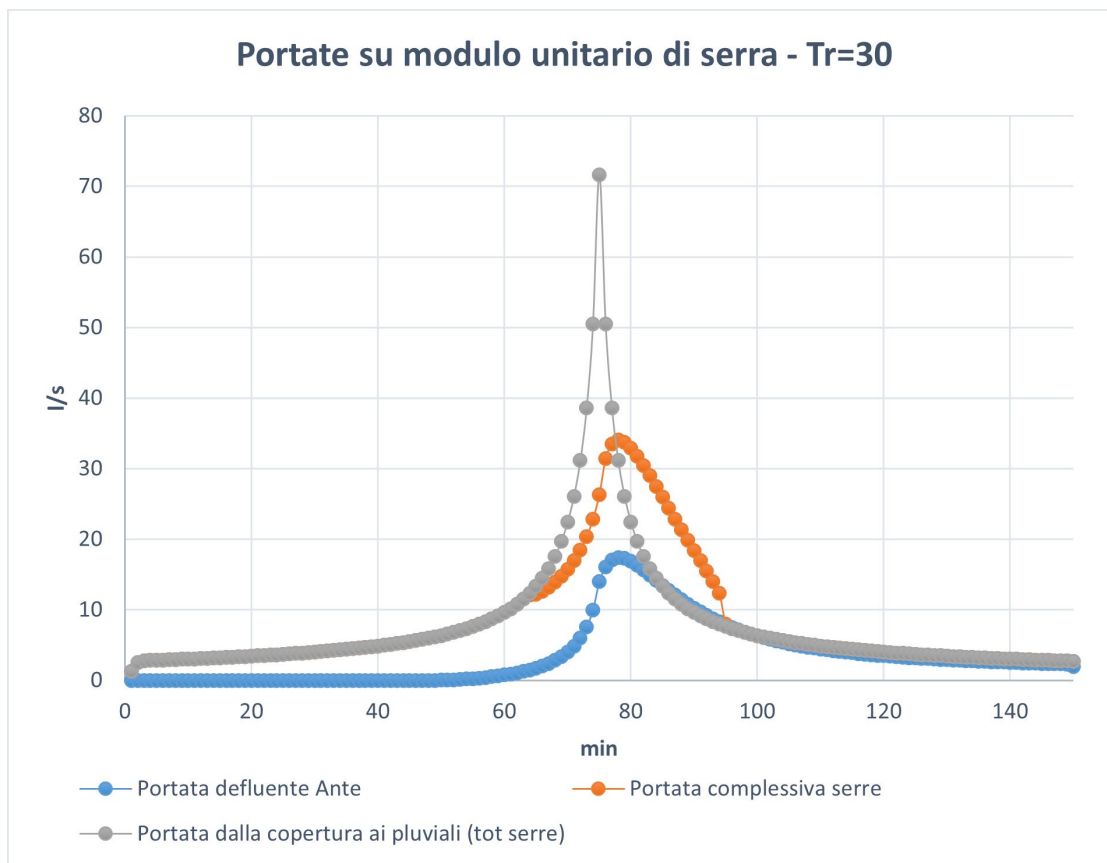
Si può notare che, senza interventi particolari, la portata massima scaricata a terra è in questo caso di $Q_{max,p} = 49.8$ l/s, inferiore a quella teorica di picco che affluisce al canale di gronda. Ossia la geometria della copertura, con la presenza del canale di gronda ed i pluviali, determina già essa stessa una laminazione, avendosi, nel caso delle ipotesi della tabella sopra, un'altezza di ca. 8cm sul canale di gronda.

Del resto è noto che uno degli strumenti per conseguire la laminazione delle portate è anche quello di agire sul diametro dei discendenti delle coperture. Impostando un diametro di pluviale DN 60mm e ripetendo i calcoli si ottiene:

Portata massima ante operam	$Q_{max,A}$	17.4	<i>l/s</i>
Portata teorica massima istantanea dalla copertura verso i pluviali	$Q_{max,P,C}$	71.6	<i>l/s</i>
		746.1	<i>l/s*ha</i>
Distanza tra i pluviali	dp	25.0	<i>m</i>
Diametro pluviali	DNp	60.0	<i>mm</i>
Portata massima scaricata a terra dai pluviali	$Q_{max,p}$	34.0	<i>l/s</i>
		354.6	<i>l/s*ha</i>
Massima altezza d'acqua sulla gronda	hw	<u>0.169</u>	<i>m</i>

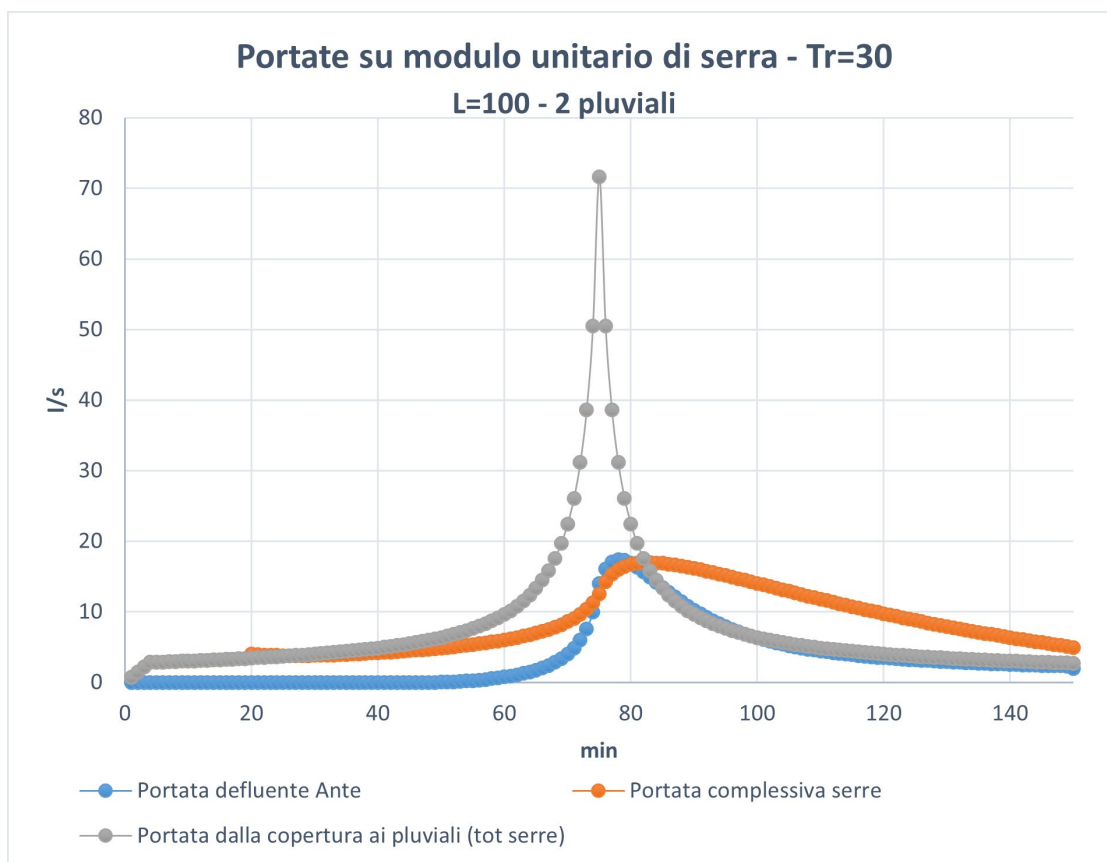
La portata a terra si è ridotta a **34.0l/s**, con un'altezza idrica in gronda di ca. 17cm, che può essere ancora compatibile con la geometria della copertura, a patto di prevedere un "risvolto" adeguato della gronda sullo spessore del primo pannello.

Gli idrogrammi di piena sono appresso mostrati:



In teoria lo strumento della riduzione del diametro (o del numero) dei pluviali potrebbe essere estremizzato, ipotizzando di attuare in toto la compensazione ammettendo aumenti di tirante idrico non solo sul canale di gronda, ma anche su parte della copertura.

Si può verificare che adottando due soli pluviali (uno per testata) di diametro DN 50mm, si raggiunge lo scopo:



Portata massima ante operam	Q_{max,A}	17.4	<i>l/s</i>
Portata teorica massima istantanea dalla copertura verso i pluviali	Q_{max,P,C}	71.6	<i>l/s</i>
		746.1	<i>l/s*ha</i>
Distanza tra i pluviali	dp	50.0	<i>m</i>
Diametro pluviali	DN_p	50.0	<i>mm</i>
Portata massima scaricata a terra dai pluviali	Q_{max,p}	17.0	<i>l/s</i>
		176.6	<i>l/s*ha</i>
Massima altezza d'acqua sulla gronda	hw	<u>0.284</u>	<i>m</i>

Con un'altezza d'acqua in gronda di quasi 30cm, con la lama d'acqua che però ricoprirebbe la porzione "bassa" dei pannelli fotovoltaici.

Ovviamente l'eventualità di ricorrere alla compensazione unicamente (o prevalentemente) riducendo al massimo il numero e diametro dei pluviali, dovrà essere attentamente progettata in fase esecutiva, avendo cura in particolare di scegliere profili di canali di gronda idonei e tenendo conto dell'onere di manutenzione periodico dei pluviali (per eventuali intasamenti).

Ad ogni modo, almeno in quota parte, è certamente auspicabile ottenere un certo grado di laminazione in copertura, ad esempio adottando diametri DN 60 interasse 25m, oppure DN 80 interasse 50mt.

Ma è altresì importante verificare come la acque scaricate al suolo dalle coperture, si collegano alla rete dei canalini scolanti della zona, progettando ulteriori volumi di laminazione, ottenendo quindi in modo completo e definitivo, l'invarianza idraulica.

Innanzitutto è doveroso evidenziare che la conformazione planoaltimetrica dell'area di intervento (terreno pianeggiante con pendenze modestissime), NON PERMETTE la realizzazione di vere e proprie vasche o bacini di laminazione in scavo, in quanto le luci di scarico sarebbero impostate ad una quota inferiore al piano di scorrimento dei canalini di drenaggio della zona (anche si volesse avere un tirante idrico di accumulo di solo un metro).

La soluzione più appropriata è quindi quella di ricavare piccole trincee longitudinali di invaso (in pratica dei piccoli canalini), paralleli all'asse longitudinale dei moduli delle serre agrifotovoltaiche, o anche trasversalmente lungo i perimetri.

Gli idrogrammi di piena delle portate scaricate a terra consentono di definire i volumi cumulati che è necessario gestire.

Una possibile soluzione è di prevedere una trincea di invaso per ogni tunnel di serra, ossia una trincea ogni 9.6mt che, come detto, rappresenta la larghezza standard di un modulo di serra.

In questo caso i calcoli suggeriscono di considerare moduli di serra di lunghezza massima di 50mt; per i tunnel più lunghi è auspicabile quindi separare i contributi provenienti dalle coperture tramite i discendenti da collegare a ciascun invaso: il modulo unitario di calcolo è quindi una serra 9.6mtx50mt con una trincea di invaso di lunghezza 50mt.

A livello costruttivo bisogna considerare come detto l'assenza di pendenza dei terreni; i canalini di scolo (le aste di drenaggio dei singoli sottobacini, vedi capitoli precedenti) come visto sopra hanno una profondità di scorrimento che difficilmente è superiore ad -1mt rispetto al p.c., risultando spesso più prossima a -0.50mt dal p.c.: il piano di fondo delle trincee è quindi opportuno che non sia inferiore a -0.25mt dal p.c., al fine di consentire il collegamento per gravità tra i dispositivi di scarico (tubazioni) tra la trincea ed il canalino di drenaggio del sottobacino.

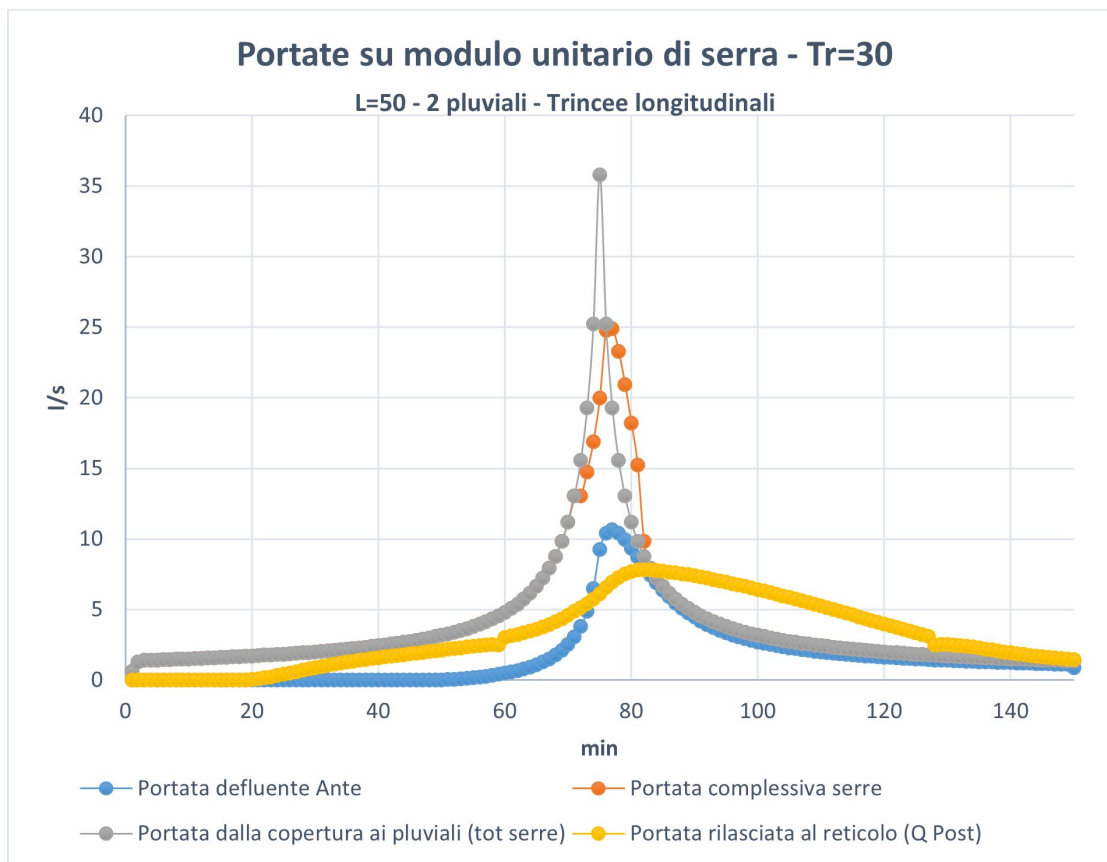
Non vi sono invece vincoli particolari per quanto riguarda le altezze delle trincee (le acque da collettare provengono da una quota di ca. +3mt rispetto al p.c. del canale di gronda); tuttavia motivazioni geometriche e di gestione agricola dei terreni, suggeriscono di avere quote massime non superiori a +0.25mt dal piano campagna. L'altezza massima delle trincee di invaso sarebbe

quindi di $h_{t,i}=0.50\text{mt}$. La larghezza della trincea, a parità di lunghezza, è quindi l'elemento dimensionale variabile.

Le tabelle e grafici che seguono sono un esempio per conseguire (e con adeguato margine di sicurezza) l'invarianza idraulica nelle ipotesi sopra riportate di serra unitari $L=50\text{mt}$, con canalino di invaso lungo il lato lungo della serra stessa.

Figura 4-3. Ipotesi laminazione per serra unitaria $L=50\text{mt}$ ed trincea di invaso longitudinale

Portata massima ante operam	$Q_{\max,A}$	10.6	<i>l/s</i>
Portata teorica massima istantanea dalla copertura verso i pluviali	$Q_{\max,P,C}$	35.8	<i>l/s</i>
		746.1	<i>l/s*ha</i>
Distanza tra i pluviali	dp	25.0	<i>m</i>
Diametro pluviali	DNp	80.0	<i>mm</i>
Portata massima scaricata a terra dai pluviali	$Q_{\max,p}$	24.9	<i>l/s</i>
		518.8	<i>l/s*ha</i>
Massima altezza d'acqua sulla gronda	hw	<u>0.098</u>	<i>m</i>
N° di serre unitarie da collettare	Ns	1.00	
Frazione non infiltrata		0.85	
Quota p.c.	h_{slm}	-1.25	<i>mt</i>
Approfondimento fondo canale rispetto a quota pc	Dh	0.25	<i>mt</i>
Larghezza canale	L_{c1}	0.50	<i>mt</i>
Altezza canale	Hc	0.40	<i>mt</i>
Pendenza sponde	\circ	60	
Larghezza superiore	L_{c2}	0.962	<i>mt</i>
Area canale	Ac	0.292	<i>mq</i>
Canale longitudinale (L) o di testata alle serre (T)		L	
Lunghezza canale	lc	50.00	<i>mt</i>
Diametro tubazione di efflusso	D	0.075	<i>m</i>
n° tubazioni		1.00	
	r	0.04	<i>m</i>
Area tubazione	A	0.004	
pendenza	i	1.00%	
scabrezza	K_s	80	
Coeff. efflusso a battente	cd	0.800	
Altezza tubazione rispetto a fondo canale	hf	0.05	<i>mt</i>
Portata massima rilasciata al reticolo dopo trincee di invaso a terra	$Q_{\max,Post}$	7.8	<i>l/s</i>
Altezza massima nel canale	H_{\max}	0.337	<i>m</i>
Volume geometrico invaso trincea	V	14.6	<i>mc</i>
Volume effettivo invasato	V_i	11.7	<i>mc</i>
Volume infiltrato	V_r	5.5	<i>mc</i>



Nei calcoli delle portate uscenti dalle trincee attraverso le tubazioni di efflusso, è stato considerato il moto uniforme a pelo libero con l'usuale formulazione di Chezy; per quote in trincea superiori alla quota di sommersenza della tubazione si innesca il moto a pressione sotto battente:

$$Q_E = C_d A (2gh)^{0.5}$$

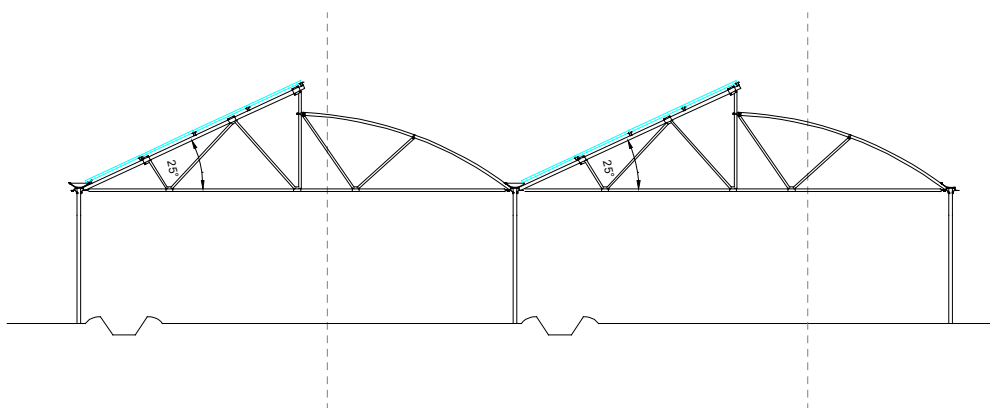
Con h altezza della lama d'acqua rispetto a centro tubazione.

I calcoli sono stati eseguiti prevedendo che una frazione del 15% delle portate in discesa dalla copertura delle serre, venga infiltrata nei terreni senza quindi partecipare al riempimento del volume di laminazione; questa percentuale sembra sufficientemente conservativa, ricordando ancora che i terreni rimangono agricoli anche nelle condizioni post operam.

Nell'esempio con i parametri della tabella, si ricava una portata uscente anche inferiore a quella ante operam; l'altezza dell'acqua nella trincea sarebbe di ca. 33cm, che permette di avere un'altezza complessiva di 40cm: si tratterebbe quindi di trincee, non molto maggiori rispetto ai normali "solchi" delle lavorazioni agricole, che continueranno ad essere praticate al di sotto delle

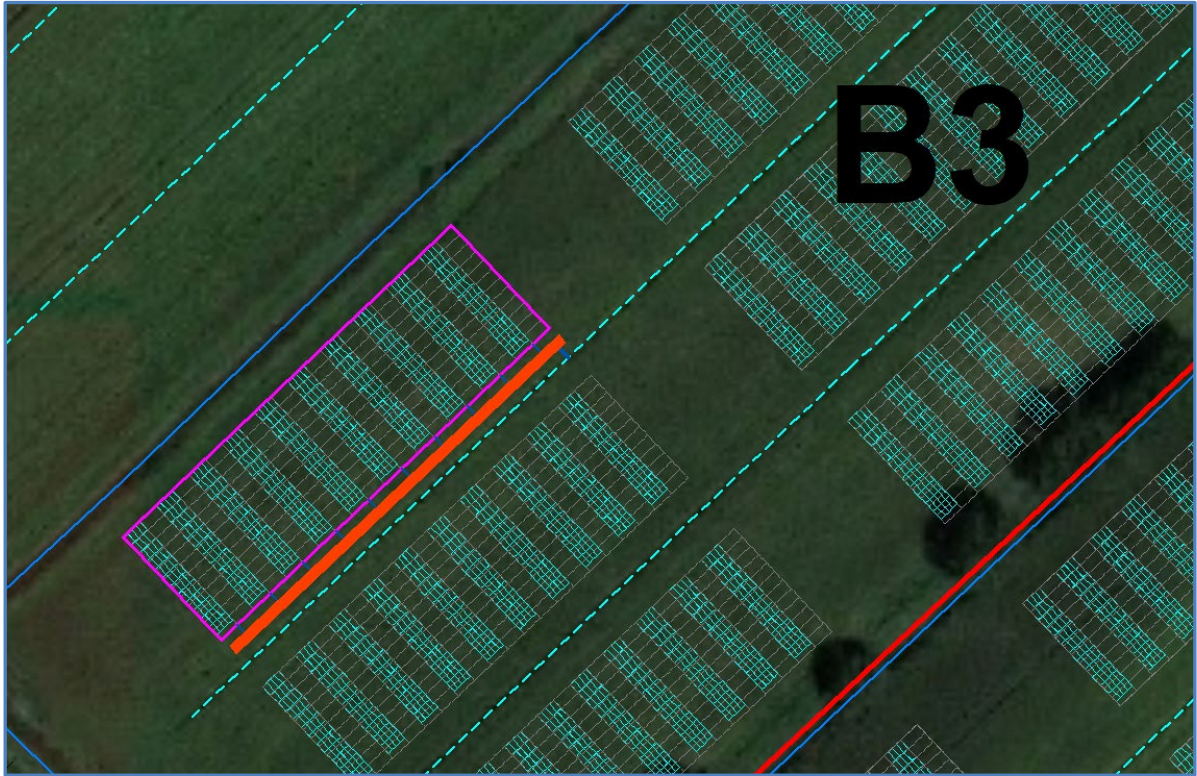
serre, quindi sussisterebbero anche adeguate condizioni affinché sia attuato il dovuto controllo e manutenzione periodica delle trincee.

Per contro avere una trincea per ogni tunnel di serra implica la perdita di una piccola porzione di terreno agricolo.



Una soluzione alternativa è di ricavare trincee esterne al perimetro di una porzione compatta di batterie di serre agrifotovoltaiche. Ad esempio nel sottobacino B3 la laminazione delle acque ricadenti sulla batterie (vedi figura) con successione continua di 10 moduli unitari di serre di lunghezza $L=30\text{mt}$, può essere eseguita realizzando una trincea esterna trasversale all'asse longitudinale dei tunnel serra, quindi in questo caso con una trincea parallela ai canali di scolo dell'area, e di lunghezza pari almeno alla quella della batteria (in questo caso $L=10 \times 9.6=96\text{mt}$).

Figura 4-4. Esempio di posizionamento trincea d'invaso acque meteoriche di una batteria di 10 serre L=30mt

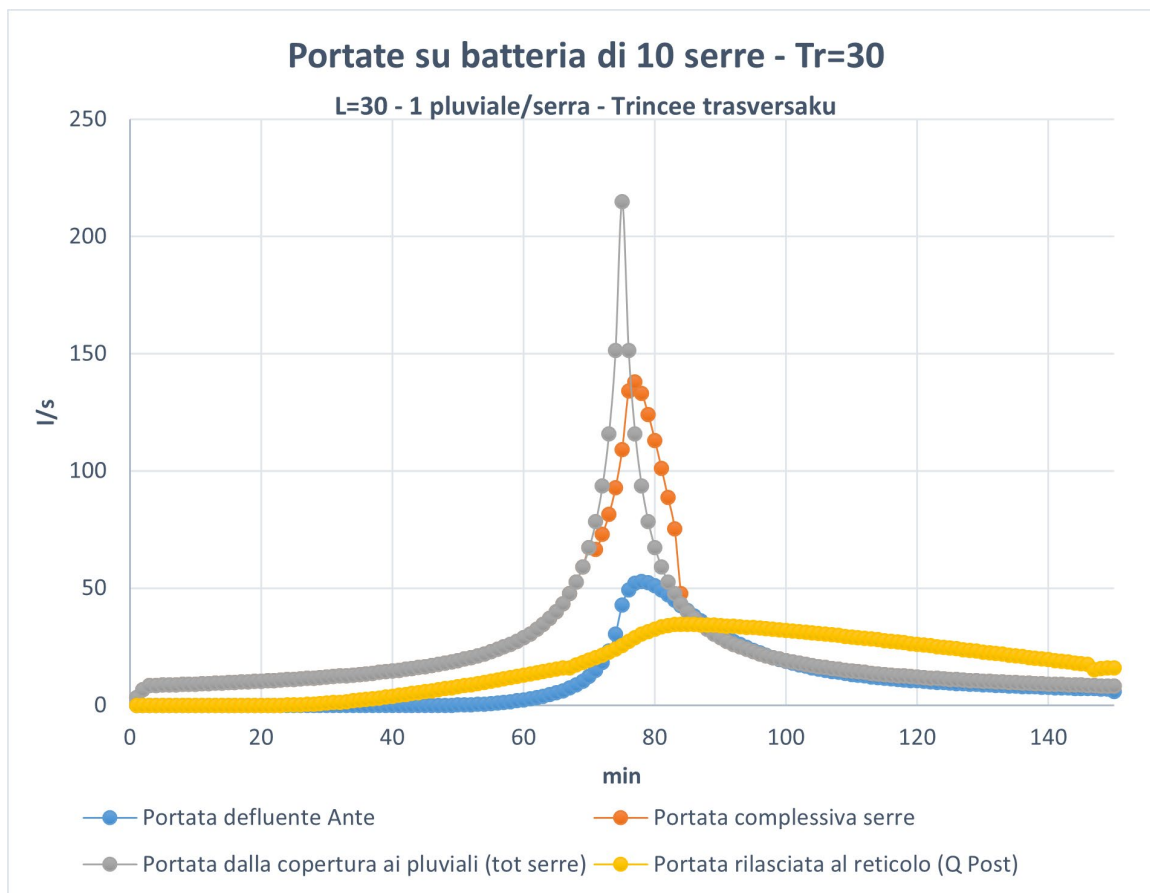


I criteri di calcolo sono analoghi a quelli del modulo unitario sopra mostrati, tuttavia in questo caso nella configurazione ante operam l'asta principale viene posta di lunghezza pari al lato lungo trasversale (96mt) della la porzione equivalente di terreno irriguo ($A=96 \times 30 = 2880\text{mq}$); mentre il deflusso delle acque di pioggia dalle singole coperture di ciascun modulo (configurazione post operam), avviene con lunghezza di asta pari ancora alla lunghezza dei canali di gronda tra ciascun discendente, essendo i discendenti posizionati sempre sull'asse longitudinale (corto nella fattispecie) dei moduli serra.

Tempo di pioggia		2.50	h
n Serre	Ns	10	
Larghezza struttura di serra/larghezza campo unitario	L	9.6	mt
Lunghezza struttura serra/Lunghezza campo unitario	I	30	mt
Area 1 serra	As	288	mq
Area complessiva serre	As,tot	2880	mq
		0.288	ha
Calcola asta principale su percorso longit. serre (L) o trasversale (T)		T	
Lunghezza asta principale (canalino su terreno coltivo sub-pianeggiante)	LA	96	mt
Pendenza asta ante (pendenza canalino di scolo)	ia	0.10%	
Velocità media nell'asta	Va	0.25	m/s
Tempo percorrenza dell'asta	ta	384	s
		6.400	min
Tempo aggiuntivo per raggiungere l'asta dal punto più lontano		2.000	min
Tempo corrivazione		8.400	min
		<u>0.140</u>	h
Larghezza di base canale di gronda	Lg	0.15	mt
Pendenza media pannelli e copertura		25.00	°
Altezza acqua in copertura	hw	0.70	mt
Larghezza massima acqua in copertura	lw	3.153	mt
Volume per unità di lunghezza allagato	Aw	1.16	mc/m
n° pluviali per serra	n°	1.00	
Lunghezza complessivo canale di Gronda	lg	30.0	mt
Lunghezza effettiva percorso in base al numero discendenti (L asta post)	LA,p	30	mt
Pendenza media canale di gronda	ig	0.2%	%
Superficie trasversale utile canale di gronda	ag	0.027	mq
Velocità media sul canale	vg	0.25	m/s
Portata massima teorica in gronda per la velocità	ag	6.63	l/s
Tempo di percorrenza del canale (asta post operam)	ta,p	2.0	min
		0.033	h
Tempo aggiuntivo dal colmo della copertura		0.5	min
Tempo corrivazione pioggia in copertura	tc,c	2.5	min
		<u>0.042</u>	h

I risultati della modellazione sono i seguenti:

Scabrezza del pluviale	kb	0.250	mm
Diametro	DNp	80.000	mm
Grado di riempimento	f	0.330	
Battente soglia		0.300	
Grado di riempimento (per battente soglia)	fs	0.900	
Portata dal pluviale	Q_{RWP}	5.9	l/s
n° di pluviali	np	1.0	
Portata complessiva dai pluviali (una serra)	Q_{ptot,1}	5.9	l/s
Portata complessiva dai pluviali (totale serre)	Q_{ptot}	59.1	l/s
Portata massima ante operam	Q_{max,A}	52.9	l/s
Portata teorica massima istantanea dalla copertura verso i pluviali	Q_{max,P,C}	214.9	l/s
		746.1	l/s*ha
Distanza tra i pluviali	dp	30.0	m
Diametro pluviali	DNp	80.0	mm
Portata massima scaricata a terra dai pluviali	Q_{max,p}	137.9	l/s
		478.9	l/s*ha
Massima altezza d'acqua sulla gronda	hw	0.115	m
N° di serre unitarie da collettare	Ns	10.00	
Frazione non infiltrata		0.85	
Quota p.c.	h_{slm}	-1.25	mt
Approfondimento fondo canale rispetto a quota pc	Dh	0.25	mt
Larghezza canale	L_{c1}	2.00	mt
Altezza canale	Hc	0.50	mt
Pendenza sponde	°	60	
Larghezza superiore	L_{c2}	2.578	mt
Area canale	Ac	1.145	mq
Canale longitudinale (L) o di testata alle serre (T)	T		
Lunghezza canale	lc	96.00	mt
Diametro tubazione di efflusso	D	0.150	m
n° tubazioni		1.00	
	r	0.08	m
Area tubazione	A	0.018	
pendenza	i	1.00%	
scabrezza	K_s	75	
Coeff. efflusso a battente	cd	0.800	
Altezza tubazione rispetto a fondo canale	hf	0.05	mt
Portata massima rilasciata al reticolo dopo trincee di invaso a terra	Q_{max,Post}	34.5	l/s
Altezza massima nel canale	H_{max}	0.428	m
Volume geometrico invaso trincea	V	109.9	mc
Volume effettivo invasato	Vi	92.4	mc
Volume infiltrato	Vr	33.0	mc



Per lunghezza di serra di 30mt, si è adottato un unico pluviale DN 80, che comunque mantiene l'altezza idrica massima in gronda su valori accettabili.

La larghezza della trincea di accumulo (sempre di tipo trapezoidale e di altezza H=0.50mt) chiaramente in questo caso è maggiore, posta pari a L=2mt.

La tubazione di efflusso ha DN150, con portata riversata al reticolo scolante nella condizione post operam anche in questo caso inferiore a quella ante operam ($\cong 35\text{l/s}$ vs. $\cong 50\text{l/s}$).

Ovviamente si possono fare diversi altri esempi; in fase esecutiva progettuale dovranno essere adottate per ogni lotto quelle configurazioni ottimali che, nell'esigenza minima di assicurare l'invarianza idraulica, permettano di soddisfare il committente per ciò che attiene ai costi di realizzazione ed il gestore per la manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere.

In definitiva con le soluzioni proposte si raggiunge l'obiettivo di invarianza, ma si va anche oltre, ottenendo una riduzione potenziale delle portate prodotte rispetto alle condizioni ante operam.

Per verificare il deflusso nei sottobacini dell'area di intervento nelle condizioni post operam con gli interventi di invarianza idraulica, occorre assegnare alle superfici occupate dalle serre agrifotovoltaiche un nuovo valore del coeff. di deflusso. Prudenzialmente, si adottano valori di CN pari al 90% di quelli assegnati ai terreni irrigui (vedi sopra):

Ripetendo la modellazione con lo stesso metodo adottato per la definizione delle portate di piena Ante-O e Post-O_{senza interventi}, si ottiene la tabella riepilogativa appresso mostrata (valori per tempi $T_r=30$).

Figura 4-5. Portate di deflusso nei sottobacini dell'area. Tr=30 - Ante Operam

Tr= 30.0		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
ANTE															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K c=0.75		1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc. adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.49	0.44	0.46	0.44	0.45	0.46	0.46	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.46
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.4	0.32	0.09	0.61	0.51	0.64	0.36	0.41	0.36	0.37	0.40	0.37	0.35	0.40
Q/S	mc/sec*km ²	1.105	4.498	9.8668	3.558	3.139	3.607	4.483	3.795	3.526	3.885	4.252	4.67	4.33	5.56

Figura 4-6. Portate di deflusso nei sottobacini dell'area. Tr=30 - Post Operam con interventi di laminazione

Tr= 30.0		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
POST															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K c=0.75		1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc. adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		0.46	0.39	0.46	0.41	0.43	0.41	0.42	0.44	0.37	0.41	0.39	0.38	0.44	0.46
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.3	0.28	0.09	0.56	0.48	0.58	0.32	0.41	0.30	0.34	0.35	0.32	0.35	0.40
	l/s	1333.0	283.7	92.7	561.3	478.4	575.0	324.9	408.9	301.6	342.6	346.7	320.5	351.6	403.0
Q/S	mc/sec*km ²	1.025	3.94	9.866	3.252	2.951	3.216	4.097	3.794	2.954	3.572	3.716	4.02	4.33	5.56

Figura 4-7. Portate di deflusso nei sottobacini dell'area. Tr=30 - Post Operam senza interventi di laminazione

Tr= 30.0		BTOT	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
POST															
Coeff. Ragg.		0.990	0.997	0.999	0.995	0.995	0.995	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
Cost. invaso K	c=0.75	1.88	0.56	0.38	0.64	0.75	0.64	0.60	0.64	0.71	0.64	0.56	0.53	0.56	0.45
S	km ²	1.301	0.072	0.009	0.173	0.162	0.179	0.079	0.108	0.102	0.096	0.093	0.080	0.081	0.073
L	km	1.60	0.53	0.65	0.65	0.75	0.59	0.73	0.73	0.83	0.65	0.63	0.60	0.55	0.50
ia (asta)	%	0.10%	0.11%	0.11%	0.20%	0.11%	0.17%	0.15%	0.14%	0.12%	0.13%	0.13%	0.16%	0.11%	0.15%
tc, adottato	h	2.50	0.75	0.50	0.85	1.00	0.85	0.80	0.85	0.95	0.85	0.75	0.70	0.75	0.60
Cd medio		<u>0.61</u>	<u>0.65</u>	<u>0.46</u>	<u>0.56</u>	<u>0.54</u>	<u>0.61</u>	<u>0.62</u>	<u>0.44</u>	<u>0.67</u>	<u>0.53</u>	<u>0.60</u>	<u>0.63</u>	<u>0.44</u>	<u>0.46</u>
Coeff. ritardo	ψ	0.31	0.62	1.00	0.54	0.51	0.52	0.62	0.57	0.57	0.59	0.59	0.62	0.60	0.63
Qmax	mc/sec	1.8	0.50	0.09	0.80	0.61	0.89	0.50	0.41	0.57	0.46	0.56	0.56	0.35	0.40
	l/s	1792.1	495.7	92.7	798.6	614.8	885.2	499.0	408.9	572.7	460.9	564.2	557.2	351.6	403.0
Q/S	mc/sec*km ²	<u>1.377</u>	<u>6.884</u>	<u>9.866</u>	<u>4.627</u>	<u>3.792</u>	<u>4.951</u>	<u>6.292</u>	<u>3.794</u>	<u>5.609</u>	<u>4.806</u>	<u>6.048</u>	<u>6.99</u>	<u>4.33</u>	<u>5.56</u>

5 Conclusioni

Sulla base delle valutazioni che precedono, si può concludere asserendo quanto segue:

a. Interferenza delle opere in progetto rispetto alla potenziale espansione della piena.

Come visto sopra i pannelli sono installati sulle coperture di serre che sono realizzate con una struttura reticolare in acciaio zincato; i pannelli sono montati sulla falda esposta sudovest, mentre l'altra falda costituisce la copertura della serra realizzata da un film plastico ottenuto in coestrusione di polietilene a bassa densità. La struttura è quindi rialzata da terra (l'altezza dei montanti è di ca. 2.8mt): non vi sono elementi di chiusura delle pareti che possano provocare ostacolo all'eventuale espansione e deflusso delle portate di piena: sono quindi strutture "trasparenti" nei confronti del deflusso delle piene.

Riguardo la presenza delle cabine Enel, cabine di sottostazioni utenza, cabine di campo etc, la superficie complessiva di suolo occupata è di ca. 1400mq (0.14ha), pari ad una percentuale trascurabile (pari allo 0.10%) dell'area del bacino locale della zona di intervento, ed ovviamente irrisoria rispetto all'estensione complessiva del bacino del canale Selcella. Questi manufatti, ciascuno di dimensioni in pianta di ca. 2.50mtx7.50mt, è opportuno che vengano cautelativamente posizionati con piano di calpestio del primo solaio ad una quota superiore di 0.75mt rispetto alla quota media del piano campagna circostante, che nella zona di intervento è pari mediante a -1.25mt slm: la quota suddetta è quindi imposta in prima approssimazione pari a -0.50mt slm.

Le opere in progetto quindi non provocano ostacolo all'eventuale espansione delle portate di piena.

b. Verifica dell'aumento del rischio idraulico.

La presenza delle serre non provoca aumento del carico urbanistico dell'area, in quanto le attività che si potranno esercitare nelle serre, sono esattamente le medesime (agricole) di quelle attuali: non viene quindi modificata la vocazione agricola dell'area, quindi **il rischio idraulico della stessa nella configurazione post operam non aumenta.**

c. Laminazione delle portate di piena ed invarianza idraulica.

Come visto dettagliatamente al capitolo precedente è possibile realizzare una serie di interventi di compensazione idraulica (anche differenziati ed in combinazione tra loro) con i quali **si raggiunge l'obiettivo dell'invarianza idraulica**: con questi interventi nella configurazione

post operam è possibile avere portate di piena rilasciate alla rete scolante locale non solo NON SUPERIORI a quelle caratteristiche della configurazione ante operam, ma anche lievemente inferiori.

In definitiva, seppure le opere in progetto siano inserite in un contesto territoriale particolarmente sensibile alle dinamiche idrogeologiche ed idrauliche, si ritiene che le stesse, attraverso la realizzazione di adeguati interventi di compensazione idraulica come indicato nel presente elaborato congiuntamente a un'attenta gestione e manutenzione, possano essere considerate idraulicamente compatibili.

Tanto si doveva.

Il tecnico

Ing. Giulia Arcangeli