

CITTA' DI LANZO T.se

SISTEMAZIONE IDRAULICA E FORESTALE ASTA TORRENTE
TESSO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEI CORPI IDRICI
PIEMONTESI AI SENSI DELLA DGR 20-7733 DEL 20/11/2023

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE TECNICA

Committente: CITTA' DI LANZO T.SE
Via San Giovanni Bosco, 33
10074 Lanzo Torinese (TO)
C.F. 83002670012 - P.Iva: 01111370019

Descrizione:
RELAZIONE IDRAULICA

Data:
giugno
2026

Elaborato:
01

Progettisti
Dott. For. Carlo Grosso Nicolin
Arch. Elisa Grosso Nicolin

Studio FLOEMA S.T.P. S.R.L.
C.so Galileo Ferraris 80
10121 TORINO
P.IVA 12397060018

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	INDAGINE IDROLOGICA.....	3
2.1	Metodologia di indagine.....	3
2.2	Schema dello studio	3
2.3	Descrizione delle sottounità idrologiche principali	4
2.3.1	Bacino del Tesso	4
2.3.2	Bacino del T. Tessuolo	5
2.3.3	Ramo di Valle del Tesso	6
2.3.4	Altri Bacini	7
2.3.5	Inquadramento della gerarchia delle sottounità idrologiche	8
2.4	Aspetti morfometrici.....	9
2.4.1	Superficie del bacino.....	10
2.4.2	Lunghezza idraulica dell'asta principale.....	10
2.4.3	Pendenza media dei versanti.....	10
2.4.4	Altitudine media del bacino e altitudine media relativa	10
2.4.5	Pendenza media dell'asta principale.....	10
2.4.6	Tempo di corrivazione.....	11
2.4.7	Tempo di ritardo.....	12
2.4.8	Dati Morfometrici del T. Tesso	13
2.4.9	Dati Morfometrici del T. Tessuolo	14
2.4.10	Dati Morfometrici del Ramo di valle del T. Tesso.....	15
2.4.11	Dati Morfometrici dell'interbacino 4	16
2.4.12	I dati degli interbacini minori	16
2.5	Aspetti pluviometrici.....	17
2.5.1	5.3. Il fattore di riduzione areale.....	23
2.5.2	Ietogrammi utilizzati	25
2.5.3	Coefficiente di riduzione dell'afflusso meteorico e "Curve Number".....	28
2.6	Determinazione delle portate di riferimento	32
2.6.1	Il Metodo Razionale	32
2.6.2	Il Codice numerico HEC-HMS	32
2.6.3	Portate idriche di riferimento	33
2.7	Confronto dei risultati ottenuti con l'idrologia relativa a bacini strumentati limitrofi	41
2.7.1	Diagrammi per la determinazione del Kt e delle Portate al Colmo.....	43
3	INDAGINE IDRAULICA (hec-ras).....	47
1	Verifiche idrauliche	47
3.1	Metodologia di indagine.....	49
1.2	Condizioni al contorno utilizzate	50
3.2	Analisi dello stato attuale (ante operam) –tronco a monte del ponte di coassolo transito portata liquida (234 mc/s); 50	
3.3	Analisi dello stato di progetto (post operam) tronco a monte del ponte di coassolo transito portata liquida (234 mc/s); 54	
3.4	Analisi dello stato attuale (ante operam) –tronco a monte del ponte circonvallazione transito portata liquida (384 mc/s); Errore. Il segnalibro non è definito.	
3.5	Analisi dello stato di progetto (post operam) tronco a monte del ponte circonvallazione transito portata liquida (384 mc/s); Errore. Il segnalibro non è definito.	
4	CONCLUSIONI.....	62
	Il tecnico	63

1 PREMESSA

In questa sede si procede alle verifiche idrauliche delle opere realizzando a seguito della determinazione delle portate di riferimento.

L'analisi è svolta a fronte di portate caratterizzate da tempo di ritorno duecentennale, confrontando i risultati offerti dall'impiego di diversi metodi.

Per le verifiche idrauliche si adotta la modellazione in condizioni di moto permanente impiegando il codice numerico HEC-RAS.

Le verifiche sono condotte per lo scenario ante operam e post operam.

2 INDAGINE IDROLOGICA

2.1 Metodologia di indagine

Per il bacino oggetto di studio si perviene alla determinazione delle portate di riferimento con tempo di ritorno pari a 200 e 500 anni confrontando i risultati ottenuti dall'applicazione di due metodi: il Metodo Razionale, e il codice numerico HEC-HMS. Si verifica la confrontabilità dei risultati, scegliendo quali valori di riferimento quelli che risultano essere ragionevolmente cautelativi. Si sviluppano in maniera analitica i calcoli relativi alla definizione dei parametri necessari, sia morfometrici che pluviometrici.

I risultati dei due metodi utilizzati dovranno possibilmente essere conformi, in termini di ordine di grandezza, al valore fornito dalla Curva di inviluppo delle portate rappresentativa della zona in esame e proposta da Enel-CRIS e Regione Piemonte nel 1989 (cfr: V.Anselmo "Curve inviluppo delle massime portate osservate nei bacini alpini occidentali" – Scritti dedicati a Giovanni Tournon – volume presentato in occasione del Convegno "I problemi dei grandi comprensori irrigui" Novara, 6-7 giugno 1996) e da _ verifiche rispetto a modelli di regressione statistica del più vicino bacino strumentato rappresentato dalla Stura di Lanzo con stazione di misura a Lanzo Torinese presso la località Ponte del Diavolo.

2.2 Schema dello studio

Lo studio idraulico analizza il Bacino del T. Tesso analizzando i valori di portata in due località specifiche: definendo la portata centennale e duecentennale presso il ponte di Coassolo, a quota 545 m (ponte della strada provinciale che prosegue verso Chiaves) che coincide con la traversa della derivazione della roggia dei Mulini e presso il ponte della circonvallazione sul T. Tesso sul territorio del comune di Lanzo a quota 490 m

Per ottenere questi valori di portata, lo schema idrologico è stato suddiviso conformemente alle esigenze di output sopra descritte, quindi le sottounità idrologiche assunte nei calcoli sono state di fatto sette contando gli interbacini di trasferimento delle portate di piena.

Di questi sette Bacini, i principali responsabili della formazione del 95 % della portata di progetto sono 4 : il bacino del T. Tesso, localizzato a cavallo dei territori di Monastero e Coassolo con asse orientato prevalentemente Nord-Sud, il Bacino del T. Tessuolo interamente contenuto nel territorio di Coassolo, sempre orientato come il precedente, il Bacino relativo sempre al T. Tesso che però si sviluppa a valle dell'opera di presa, confluenndo nel T. Tesso a destra orientato ovest-est.

Il modello e il calcolo con il metodo razionale, sono stati condotti definendo i valori di portata nelle azidette località: presa, ponte di Coassolo e Centrale; per fare questo, le sottounità idrologiche sono state organizzate secondo una gerarchia che di fatto ha aggiunto delle unità di trasferimento di portata che dal punto di vista formativo sono risultate poco significative pertanto pur avendole

calcolate con il Software HEC-HMS, non sono state indagate con il metodo Razionale a cui sono comunque state aggiunte con i valori espressi dal codice numerico di cui alla riga precedente. Per poter confrontare i dati derivanti da entrambe le formulazioni.

I dati di portata ottenuti sono stati utilizzati per tutte le verifiche idrauliche successive con l'ausilio del codice numerico Hec – Ras simulando il contesto idraulico in moto permanente.

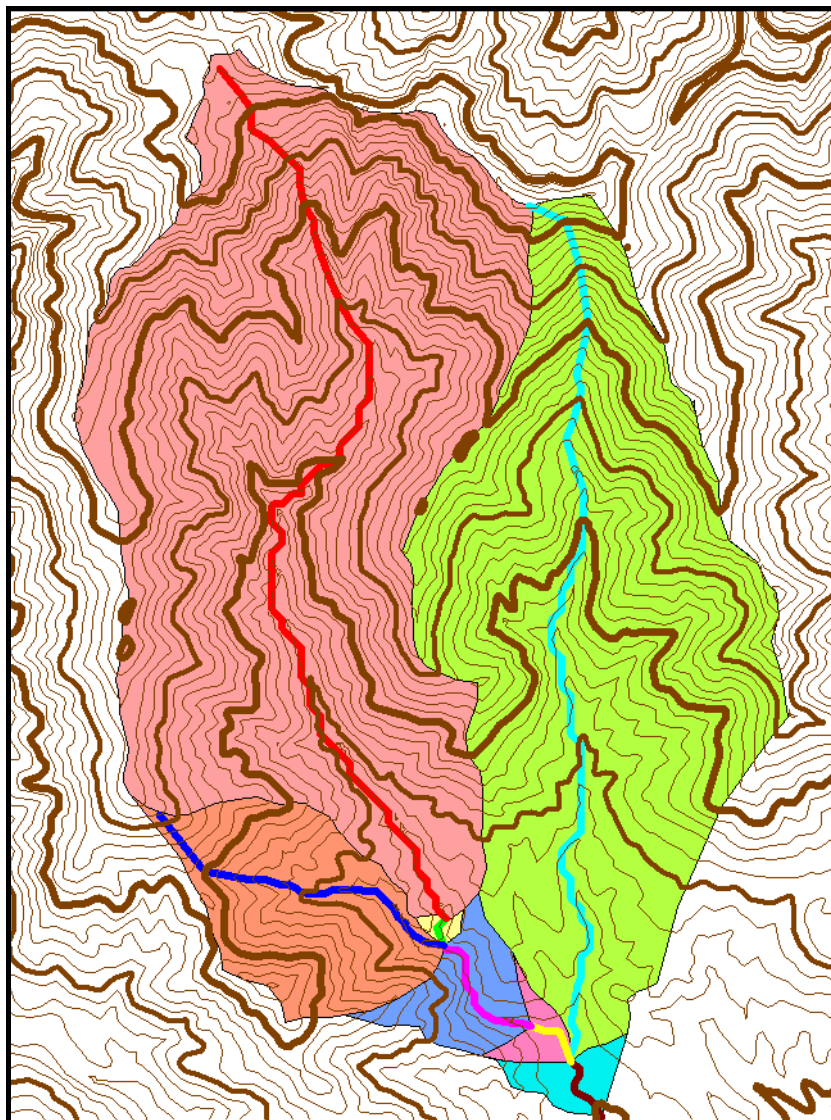


Tabella 1 Il bacino di studio con curve di livello ogni 50 m

2.3 Descrizione delle sottounità idrologiche principali

2.3.1 Bacino del Tesso

Il Bacino del tesso, si sviluppa secondo l'orientamento nord-sud, si trova a sinistra rispetto all'alveo della Stura di Lanzo. Il range di quota va dai 2250 m ai 600 metri dove è posta l'opera di presa.

La sezione incisa dell'alveo, è variabile in funzione dei substrati attraversati, molti tratti sono scavati nella roccia con relativi restringimenti, l'alveo, generalmente ha sezioni variabili da 10 a 20 m del letto.

Si alternano tratti di maggiore pendenza in corrispondenza di salti in roccia a tratti a minor pendenza con letto tipicamente corazzato.

L'andamento planimetrico del torrente è abbastanza regolare anche in funzione delle pendenze abbastanza accentuate.

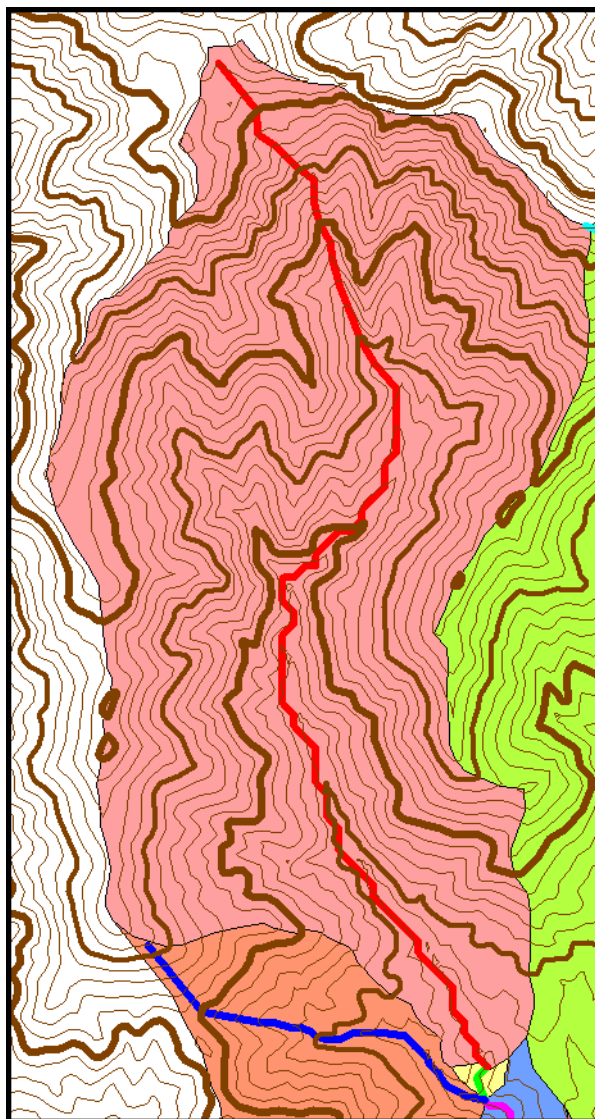


Tabella 2 bacino del ramo del tesso

2.3.2 Bacino del T. Tesso

Questo bacino, non è interessato direttamente da opere legate alla realizzazione dell'impianto idroelettrico, ma la sua portata di piena si forma a monte della restituzione della centrale, pertanto entra in gioco per le sue portate di piena.

Come il bacino del Tesso, ha lo stesso asse di sviluppo ha una superficie leggermente minore e una pendenza dei versanti meno accentuata.

Le caratteristiche morfologiche sono del tutto simili a quelle descritte pocanzi per il bacino del T. Tesso e confluisce nel tronco del T. Tesso alla sua sinistra.

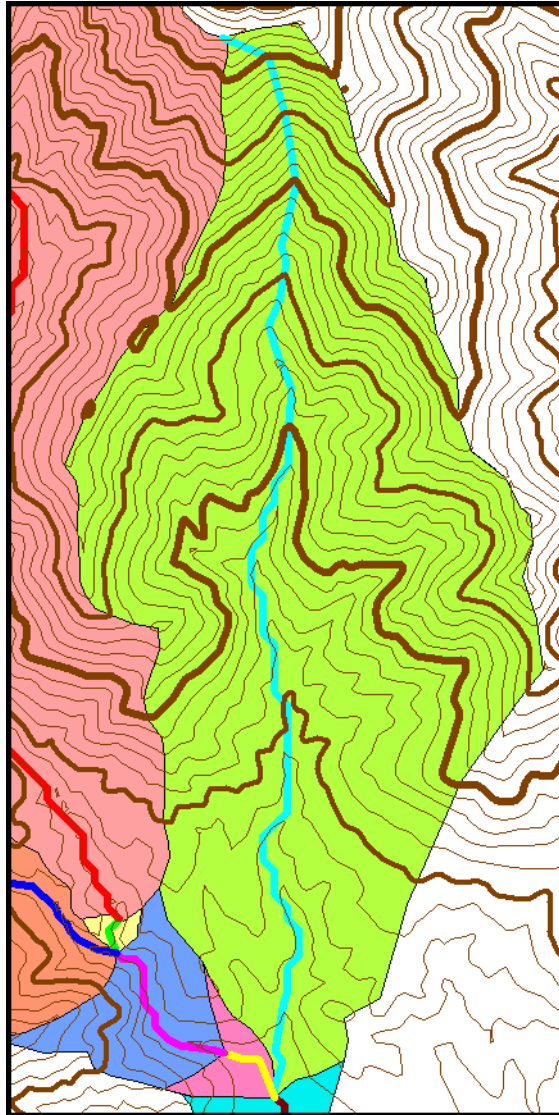


Tabella 3 ramo di bacino del tessuolo

2.3.3 Ramo di Valle del Tesso

Questo Bacino, decisamente più modesto dei precedenti, ha orientamento est ovest, è affluente di destra del Tesso a monte della confluenza con il T. Tessuolo e il suo contributo idrologico non viene interessato da nessuna opera di captazione, la sua importanza come per il bacino del Tessuolo risiede nella formazione delle portate di piena funzionali alla verifica di compatibilità idraulica delle opere di restituzione della portata derivata.

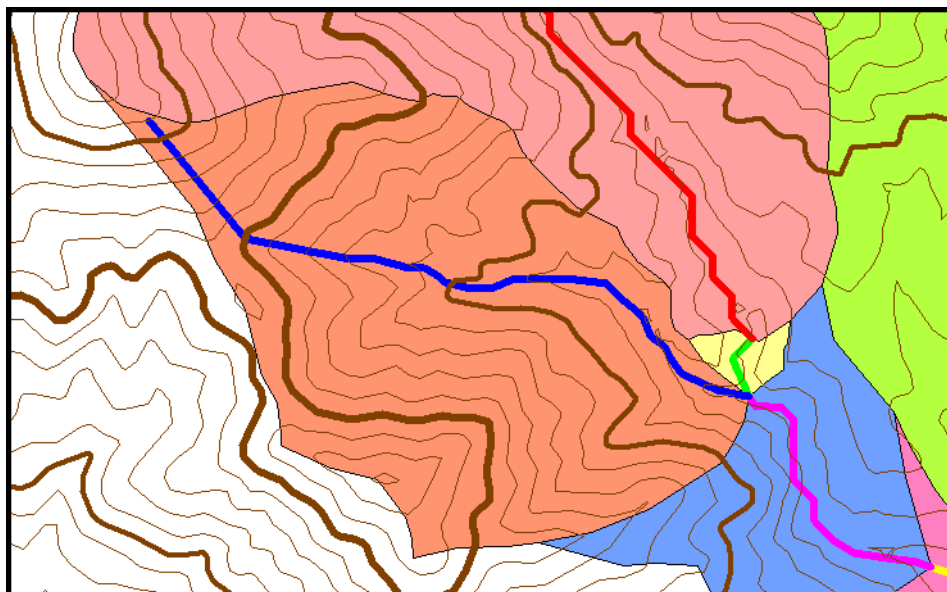


Tabella 4 ramo del rio Grosso

2.3.4 Altri Bacini

Gli altri bacini, che sono parte della modellazione sono di fatto bacini di trasferimento delle portate principali che in ogni caso contribuiscono in parte all'aumento delle stesse, il più significativo rappresenta l'area che a valle della confluenza tra il T. Tesso e il Ramo di Valle arriva fino al ponte di Coassolo. (interbacino 4)

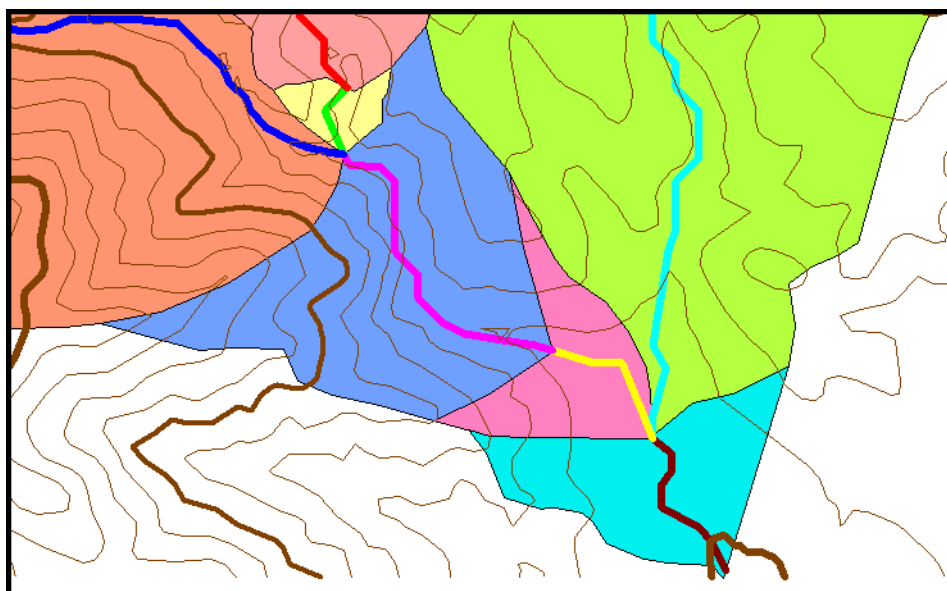


Tabella 5 interbacini

2.3.5 Inquadramento della gerarchia delle sottounità idrologiche

La seguente tabella esplicita qual è il rapporto di confluenza tra i diversi bacini calcolati con riferimento alle sezioni di interesse per le successive elaborazioni.

Bacini	Area kmq		confluenze	Sum area kmq	Sezioni di interesse
			CONF1	22.46	
Ramo T. Tesso	3.40				
			CONF2	25.86	
interbac 4	1.34				
			CONF3	27.20	Ponte di Coassolo
interbac 5	0.30				
			CONF4	27.50	
T. Tessuolo	16.14				
			CONF5	43.64	
interbac 7	0.45				
			CONF6	44.00	Ponte Circonvallazione

Tabella 6 confluenze del modello idrologico

2.4 Aspetti morfometrici

La determinazione delle portate di riferimento di qualsiasi corso d'acqua deve contemplare lo studio dei caratteri morfometrici salienti del bacino, da utilizzarsi nello sviluppo dei calcoli idrologici ed idraulici successivi.

A tal fine si procede alla misurazione dei parametri fondamentali caratterizzanti i bacini teste descritti nell'ordine:

T. Tesso

T. Tessuolo

Ramo di valle Tesso

Interbacino 4

Dei bacini 2-5-7 sono stati calcolati i parametri per i dati di ingresso del modello numerico idrologico senza procedere al calcolo della altezza media ma calcolando unicamente la lunghezza dell'asta, la pendenza media dei versanti, il valore di CN e il TL (time lag "tempo di ritardo).

ricercando i valori delle seguenti grandezze:

- Superficie del bacino;
- Lunghezza idraulica dell'asta principale;
- Pendenza media dei versanti;
- Altitudine media del bacino;
- Pendenza media dell'asta principale
- Tempo di corrivazione Giandotti
- Tempo di corrivazione Tournon
- Fattore di forma
- Quota Massima
- Quota sezione di chiusura
- Altezza media del Bacino
- Curva ipsografica

Le misurazioni fondamentali necessarie sono state eseguite sulla base cartografica CTR della Regione Piemonte alla scala 1:10.000, nelle quali ricade l'intero bacino oggetto di studio. Si è utilizzato il dtm regionale con griglia 50x50 m per l'ottenimento delle curve di livello; Lo strumento operativo utilizzato è il software GIS

Mapinfo 6.0, in grado di consentire il disegno delle entità di interesse sul fondo cartografico e di fornire misurazioni con semplici operazioni di analisi territoriale. Le aree e lunghezze utilizzate per i calcoli successivi sono state determinate come in seguito descritto.

2.4.1 Superficie del bacino

La perimetrazione del bacino idrografico, a partire dalla sezione di chiusura posta alla quota di 570 m s.l.m., in corrispondenza dell'apice del conoide (attraversamento in Loc. Combe), è avvenuta secondo i normali criteri morfologici, seguendo gli spartiacque e mantenendo il perimetro del bacino ortogonale alle isoipse intersecate.

2.4.2 Lunghezza idraulica dell'asta principale

Graficamente si ripercorre il ramo più lungo del corso d'acqua in questione, prolungandolo sino allo spartiacque sommitale.

2.4.3 Pendenza media dei versanti

Per il calcolo di questo parametro si fa riferimento alla relazione:

$$y_m = e_i \frac{\sum l_i}{A}$$

In cui “ y_m ” è la pendenza media dei versanti, “ e_i ” l'equidistanza tra le isoipse considerate (in km), “ l_i ” la lunghezza delle singole isoipse (anch'essa in km) e “ A ” la superficie (km²) complessiva del bacino sotteso. Detto valore può essere utilizzato anche in percentuale. quanto calcolato si basa su equidistanza delle isoipse pari a 100 m.

2.4.4 Altitudine media del bacino e altitudine media relativa

Si considera, quale altitudine media del bacino, la media ponderata rispetto alla superficie delle altitudini medie attribuibili alle porzioni di bacino delimitate da isoipse consecutive. Il calcolo viene effettuato attraverso la seguente formula:

$$H_m = \frac{\sum h_i a_i}{A}$$

in cui: “ H_m ” è l'altitudine media in metri, “ h_{mi} ” l'altitudine media attribuita alla porzione di bacino compresa tra due isoipse successive (in metri), “ a_i ” detta superficie (in kmq) e “ A ” la superficie dell'intero bacino (anch'essa in kmq). Con il termine “altitudine media relativa” si indica la differenza tra l'altitudine media e la quota della sezione di chiusura.

2.4.5 Pendenza media dell'asta principale

Parametro utilizzato per il calcolo del tempo di corrivazione e calcolato mediante la relazione:

$$i_a = \left(\frac{L}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{i_{ai}}}} \right)^2$$

In cui: “ i_a ” è la pendenza dell’asta principale, “ L ” la lunghezza della medesima, “ L_i ” la lunghezza del tratto i -esimo di asta compreso tra due isoipse consecutive, “ i_{ai} ” la pendenza del tratto i -esimo.

2.4.6 Tempo di corrivazione

Le caratteristiche morfometriche del bacino determinano la prontezza con cui gli afflussi si trasformano in deflussi. A tale proposito ci si riferisce normalmente al concetto di “Tempo di Corrivazione”, indicando con questo termine il tempo impiegato dalla particella d’acqua, caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino, a contribuire al deflusso nella sezione di chiusura. Diversi autori propongono relazioni per la determinazione di questo intervallo di tempo. Per i bacini montani le espressioni più frequentemente utilizzate sono quelle di Giandotti e di Tournon-Merlo.

La formula di Giandotti prevede l'utilizzo di tre fattori e si scrive:

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

dove “ t_c ” è il tempo di corrivazione in ore, “ A ” la superficie del bacino in kmq, “ L ” la lunghezza idraulica dell’asta principale in km, “ H_m ” l’altitudine media del bacino e “ H_0 ” la quota della sezione di chiusura considerata, entrambe espresse in metri.

L’altra formula è quella proposta da Tournon e Merlo (1973) per bacini montani di superficie ridotta, dove è molto sensibile l’influenza dei fattori legati alla pendenza dei versanti e di quella dell’asta principale.

La relazione è la seguente:

$$t_c = 0.396 \times \frac{L}{\sqrt{i_a}} \times \left(\frac{A}{L^2} \times \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{y_m}} \right)^{0.72}$$

dove “ t_c ” è il tempo di corrivazione in ore, “ A ” la superficie del bacino in kmq, “ L ” la lunghezza idraulica dell’asta principale in km, “ i_a ” la pendenza media dell’asta principale e “ y_m ” la pendenza media dei versanti.

2.4.7 Tempo di ritardo

Significato diverso assume invece il concetto di “Tempo di ritardo” o “Time lag”, definito come intervallo che intercorre tra il baricentro del pluviogramma e il colmo dell'idrogramma nelle applicazioni che prevedono l'utilizzo del parametro “CN” curve number in relazioni di provenienza statunitense ed ormai largamente utilizzate anche in Italia. Nella sua definizione interviene anche la condizione di copertura ed uso del suolo del bacino oltre che le condizioni di infiltrabilità dei suoli che costituiscono il bacino idrografico. Proprio queste sono le caratteristiche riassunte nel parametro “CN”.

Per l'analisi oggetto di studio si fa riferimento alla relazione di Mockus

$$t_{lag} = 0.342 \times \frac{1}{\sqrt{Y}} \times L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

In cui “ t_{lag} ” è il tempo di ritardo in ore, “ L ” la lunghezza idraulica dell'asta in km, “ Y ” la pendenza media dei versanti espressa in percentuale, “ CN ” il curve number caratteristico del bacino in esame.

2.4.8 Dati Morfometrici del T. Tesso

QUOTA MASSIMA	m	2250
QUOTA SEZIONE DI CHIUSURA	m	550
SUPERFICIE TOTALE	Kmq	22.39056
ALTEZZA MEDIA	m	1319.967
ALTEZZA MEDIA RELATIVA	m	769.9669
PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI		0.558627
PENDENZA MEDIA DELL'ASTA		0.11105
LUNGHEZZA DELL'ASTA	Km	9.867155
FATTORE DI FORMA		0.392208
T _c (GIANDOTTI)	ore	1.519383
T _c (TOURNON)	ore	2.274893
TL tempo di ritardo	min	47.07

Tabella 7 parametri morfometrici T. Tesso

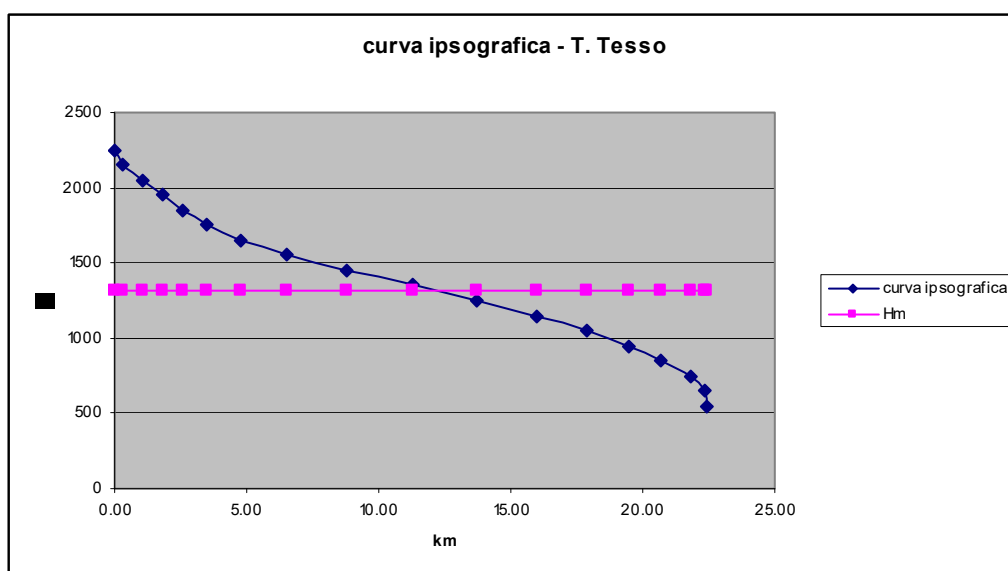


Tabella 8 curva ipsografica del Tesso

2.4.9 Dati Morfometrici del T. Tessuolo

QUOTA MASSIMA	m	2250
QUOTA SEZIONE DI CHIUSURA	m	550
SUPERFICIE TOTALE	Kmq	16.14509
ALTEZZA MEDIA	m	1095.813
ALTEZZA MEDIA RELATIVA	m	545.8126
PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI		0.445288
PENDENZA MEDIA DELL'ASTA		0.126258
LUNGHEZZA DELL'ASTA	Km	8.582655
FATTORE DI FORMA		0.47312
T _c (GIANDOTTI)	ore	1.548753
T _c (TOURNON)	ore	2.037059
TL tempo di ritardo	min	48.76

Tabella 9 parametri morfometrici del T. Tessuolo

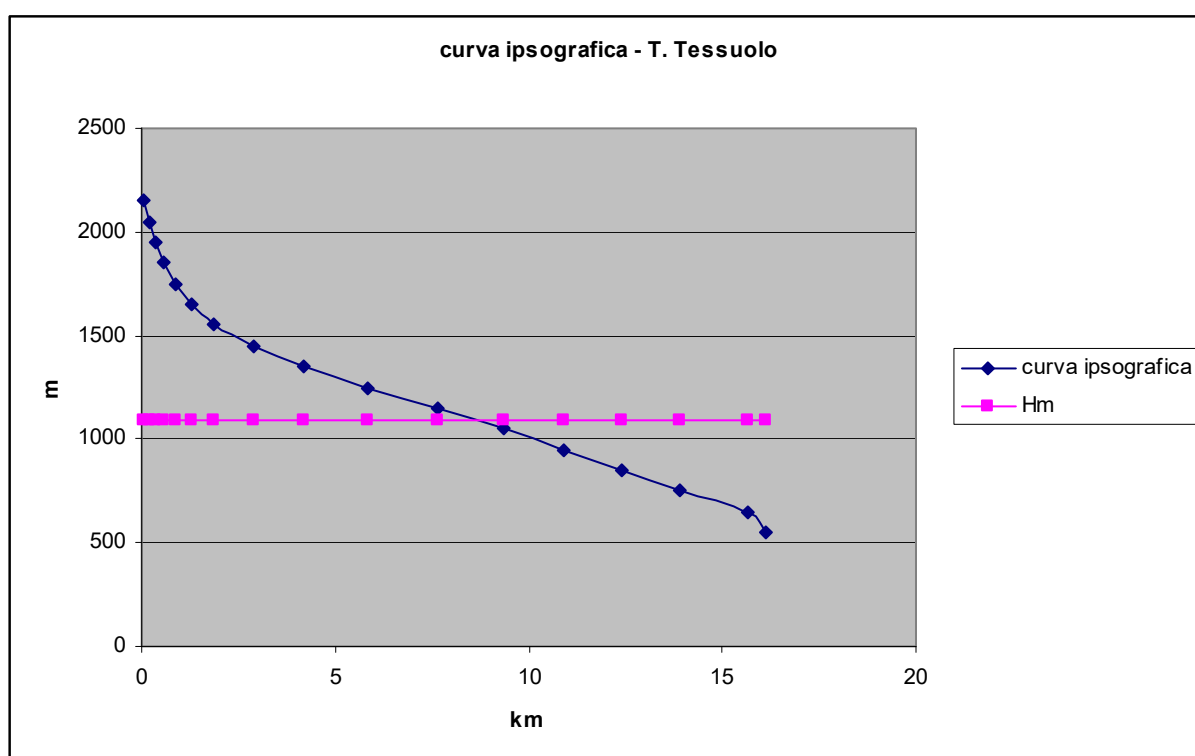


Tabella 10 curva ipsografica del T. Tessuolo

2.4.10 Dati Morfometrici del Ramo di valle del T. Tesso

QUOTA MASSIMA	m	1350
QUOTA SEZIONE DI CHIUSURA	m	550
SUPERFICIE TOTALE	Kmq	3.402172
ALTEZZA MEDIA	m	896.5721
ALTEZZA MEDIA RELATIVA	m	346.5721
PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI		0.449562
PENDENZA MEDIA DELL'ASTA		0.200561
LUNGHEZZA DELL'ASTA	Km	3.531194
FATTORE DI FORMA		0.923752
Tc (GIANDOTTI)	ore	0.851047
Tc (TOURNON)	ore	0.916549
TL tempo di ritardo	min	19.83

Tabella 11 parametri morfometrici

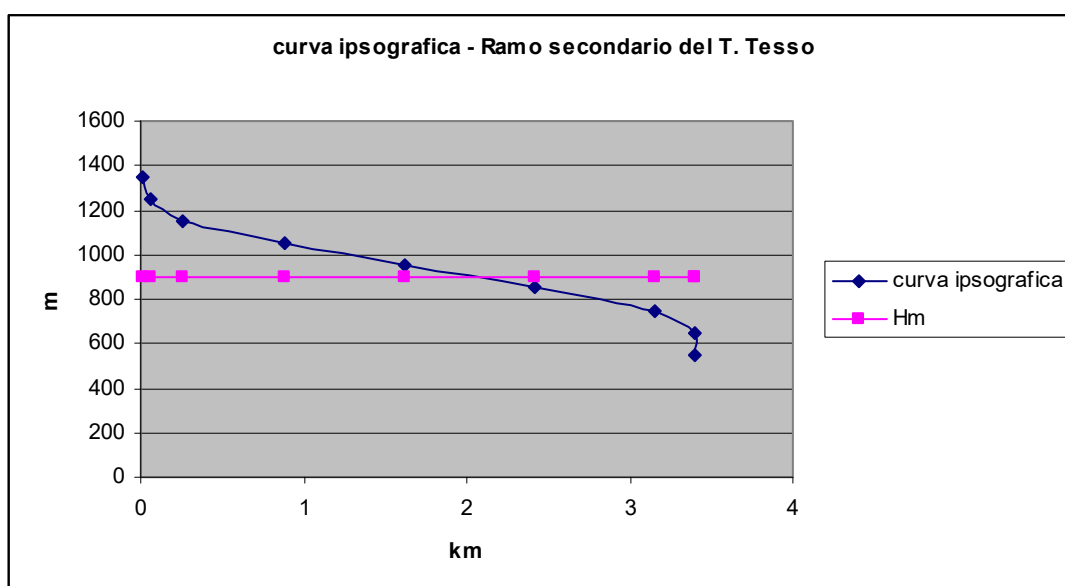


Tabella 12 curva ipsografica del rio Grosso

2.4.11 Dati Morfometrici dell'interbacino 4

QUOTA MASSIMA	m	1000
QUOTA SEZIONE DI CHIUSURA	m	400
SUPERFICIE TOTALE	Kmq	1.371539
ALTEZZA MEDIA	m	687.8613
ALTEZZA MEDIA RELATIVA	m	287.8613
PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI		0.390165
PENDENZA MEDIA DELL'ASTA		0.321961
LUNGHEZZA DELL'ASTA	Km	1.761734
FATTORE DI FORMA		1.1432
Tc (GIANDOTTI)	ore	0.539823
Tc (TOURNON)	ore	0.637279
TL tempo di ritardo	min	11.14

Tabella 13 parametri morfometrici interbacino 4

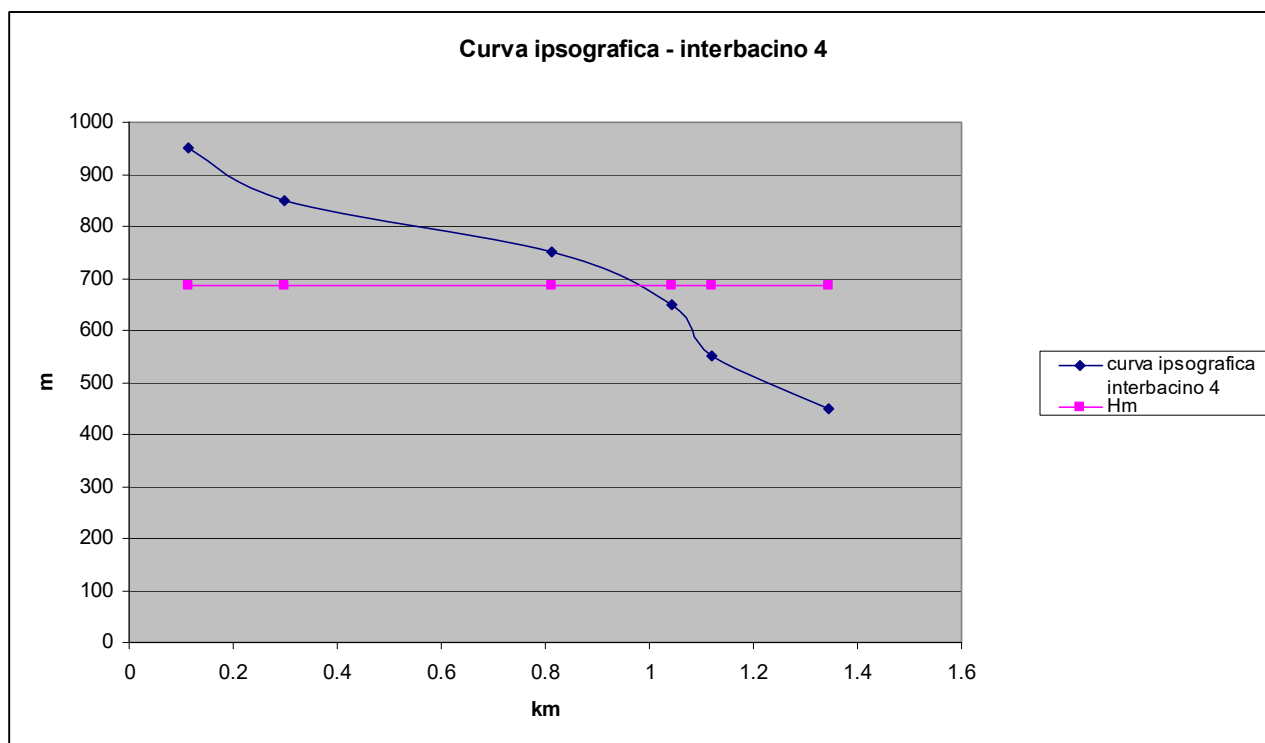


Tabella 14 curva ipsografica interbacino 4

2.4.12 I dati degli interbacini minori

bacino	AREA bacino kmq	Y% pendenza media dei versanti	L km (lunghezza asta)	TL min (tempo di ritardo)
interbac 2	0.079671	45	0.3	3.230679
interbac 5	0.301328	23	0.58	7.657404
interbac 7	0.450074	14	0.68	11.1467

2.5 Aspetti pluviometrici

Per l'analisi in corso si intende fare riferimento alla portata associata a precipitazione con tempo medio di ritorno pari a 100 e 200 anni (ovvero ad evento caratterizzato da una possibilità di verificarsi pari o inferiore rispettivamente al 1% e 0.5% annuo).

Fissati tali valori si ricercano dati significativi per la località oggetto di studio da inserire nell'equazione della curva di possibilità pluviometrica, che notoriamente si scrive:

$$h = a \times t^n$$

dove “*h*” è l'altezza di pioggia in mm, “*a*” il valore della precipitazione di durata pari a 1 ora e “*n*” l'esponente della curva. I dati a cui si fa riferimento sono quelli riportati nella mosaicatura del PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico - per la zona in esame. Il bacino oggetto di studio ricade, per superfici diverse, nelle celle riportate in tabella. Per quanto concerne i dati contenuti nel PAI si ricorda che, come descritto nella Direttiva Piene Progetto, il bacino del Po è stato suddiviso in celle con lato pari a 2 km, per ognuna delle quali, in funzione del TR sono stati calcolati i valori dei parametri della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica. Essendo che il territorio in esame ricade in 2 celle, si attribuisce all'intero bacino la precipitazione “più gravosa” in termini di parametri pluviometrici.

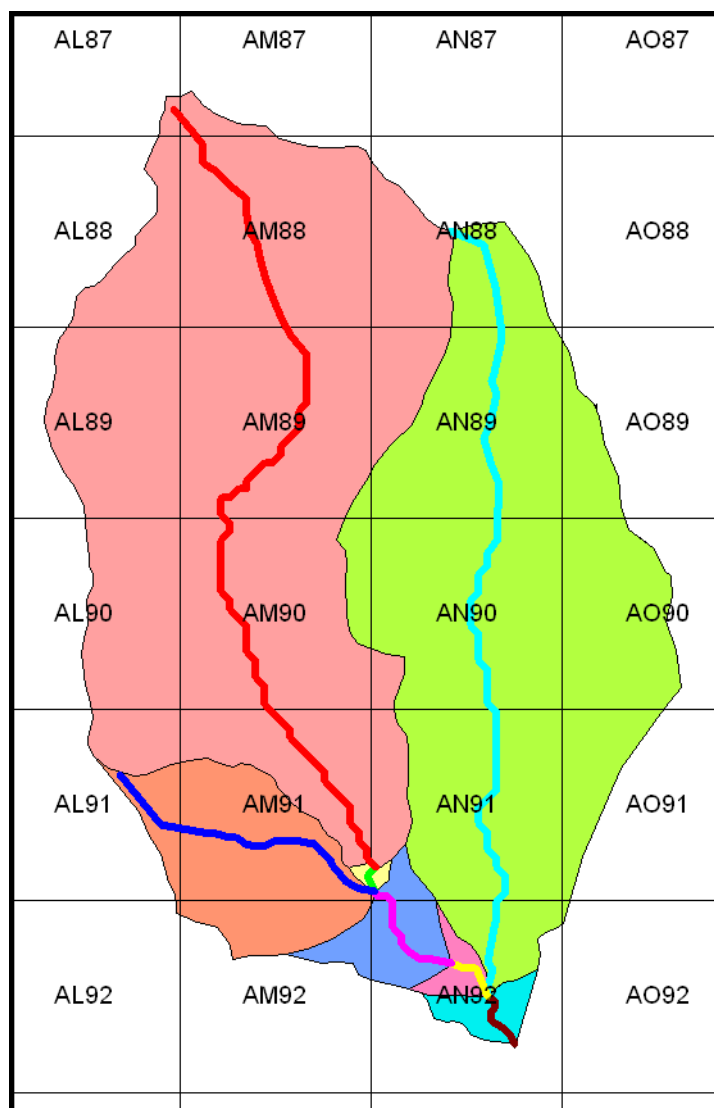


Tabella 15 i bacini sovrapposti alle celle PAI

Ai fini del presente studio si assumono come riferimento i parametri pluviometrici medi ponderati rispetto alla superficie di bacino ricadente nelle differenti celle.

		TR=20	TR=100	TR=200	TR=500
al88	a	45.47	59	64.79	72.41
	n	0.478	0.473	0.472	0.47
am88	a	46.47	60.14	65.98	73.68
	n	0.475	0.472	0.471	0.47
an88	a	47.58	61.44	67.36	75.17
	n	0.472	0.47	0.47	0.469
al89	a	47.4	61.75	67.88	75.97
	n	0.463	0.457	0.455	0.453
am89	a	48.44	62.95	69.15	77.33
	n	0.459	0.454	0.453	0.451
an89	a	49.42	64.07	70.32	78.57
	n	0.456	0.452	0.451	0.45
ao89	a	50.56	65.43	71.77	80.14

	n	0.45	0.447	0.446	0.445
al90	a	49.25	64.41	70.88	79.42
	n	0.447	0.44	0.438	0.436
am90	a	50.15	65.41	71.92	80.51
	n	0.443	0.438	0.436	0.434
an90	a	50.92	66.24	72.78	81.41
	n	0.441	0.436	0.435	0.433
ao90	a	51.77	67.23	73.82	82.53
	n	0.436	0.432	0.431	0.429
am91	a	51.53	67.34	74.09	82.99
	n	0.43	0.423	0.421	0.418
al91	a	50.98	66.86	73.64	82.58
	n	0.431	0.423	0.421	0.418
an91	a	52.04	67.87	74.61	83.52
	n	0.429	0.423	0.421	0.419
ao91	a	52.64	68.54	75.32	84.29
	n	0.426	0.42	0.419	0.417
am92	a	52.28	68.33	75.17	84.21
	n	0.421	0.414	0.412	0.409
an92	a	52.66	68.76	75.63	84.69
	n	0.422	0.416	0.414	0.412

Tabella 16 parametri di afflusso meteorico delle celle PAI

Dalla media ponderata risulta che il comportamento medio è ascrivibile alla cella AM91

		TR=100	TR=200
AM91	a	67.34	74.09
	n	0.423	0.421

Tabella 17 an scelti per la modellazione

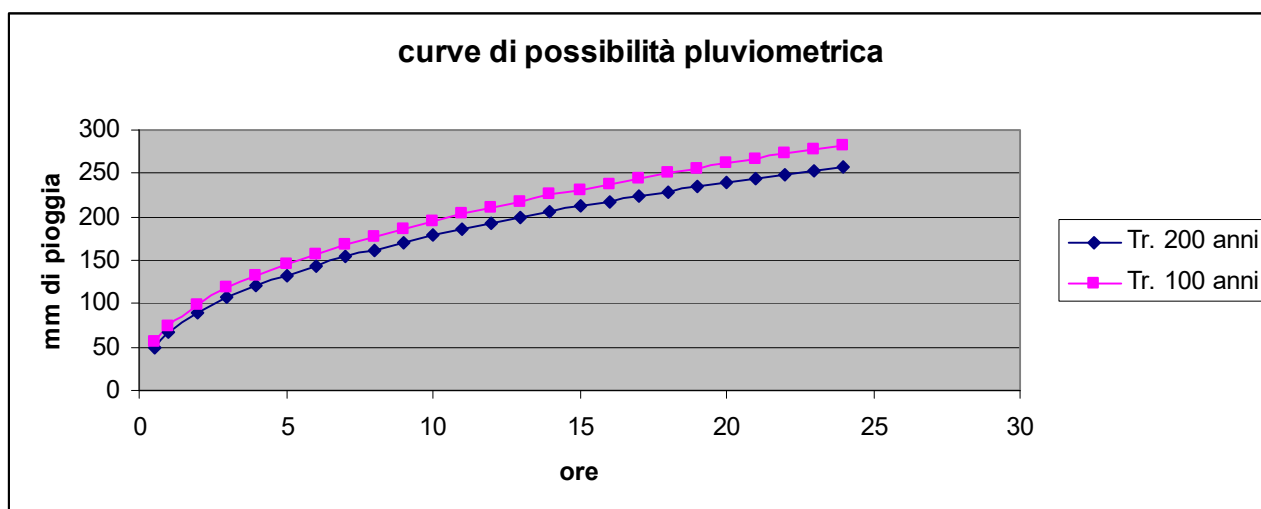


Tabella 18 Grafico1: Curva di probabilità pluviometrica

Nel proseguo dell'analisi pluviometrica verranno utilizzati valori di precipitazione con le caratteristiche di cui sopra, a seconda del metodo utilizzato per la determinazione delle portate di riferimento.

Il Metodo Razionale prevede l'impiego del valore della precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione, mentre l'applicazione del modello HEC-HMS consente di indagare un intervallo di durata di precipitazione più ampio (qui tra 0.5 e 16 ore) nell'ambito del quale si individua, quale durata critica, quella che determina la maggiore portata alla sezione di chiusura.

Assegnare la pioggia di progetto significa assegnare la distribuzione dell'intensità di pioggia nello spazio e nel tempo. Lo ietogramma di progetto può rappresentare un evento realmente osservato o un evento artificiale, di assegnata rarità.

L'informazione ricavata dall'equazione della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica $h=a(t)^n$ deve quindi essere completata dalla scelta di un pattern, ovvero di una certa forma della distribuzione temporale degli afflussi. E' noto infatti che la distribuzione degli afflussi costituisce un fattore assai rilevante per la determinazione dei valori di deflusso al colmo nelle reti drenanti sia artificiali sia naturali.

In un'indagine sulla caratterizzazione empirica degli eventi di pioggia (Ferrari S., 1994) sono state fornite informazioni sulle scelte delle forme di ietogramma di progetto attraverso l'analisi di registrazioni relative a 16.835 eventi di pioggia sul territorio italiano, divisi per gruppi di durata totale e riducendoli in forma unitaria in rapporto ai valori totali di altezza e durata, si è ricavato per ogni quarto di durata della pioggia, i valori percentuali di altezza aventi assegnata frequenza di osservazione. Successivamente si ricostruiscono i nubifragi di progetto aventi stessa durata ed altezza di pioggia, ma aventi differente posizione temporale dello scroscio (cioè una diversa distribuzione dell'intensità di pioggia). Il valore minimo di probabilità di superamento minima, cui si fa riferimento nel lavoro citato, risulta pari al 5% (ossia con un tempo di ritorno pari a 20 anni) mancando un numero adeguato di osservazioni per una analisi statistica adeguata. Dal punto di vista applicativo, si assume tale valore come indicativo delle frequenze elevate. L'analisi ha mostrato come la percentuale di ripartizione delle quantità di precipitazione cadute nei primi tre quarti rispetto a quella caduta nell'ultimo quarto del tempo di pioggia variano al variare della durata dell'evento. In prtatica, si assumono i seguenti valori:

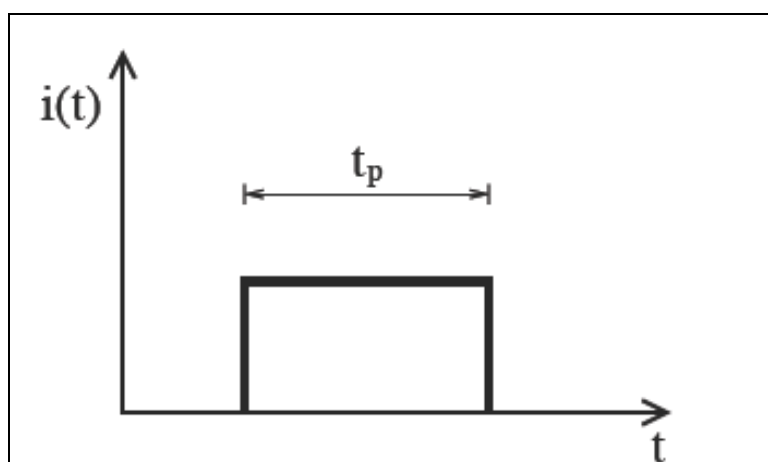
DURATA (ore)	% DELLA TOTALE PIOGGIA DA ATTRIBUIRE ALL'ULTIMO QUARTO DELLA DURATA
0-1	60 %
1-3	50 %
3-6	45 %
6-16	45 %

Tabella 19 distribuzione delle piogge nel tempo

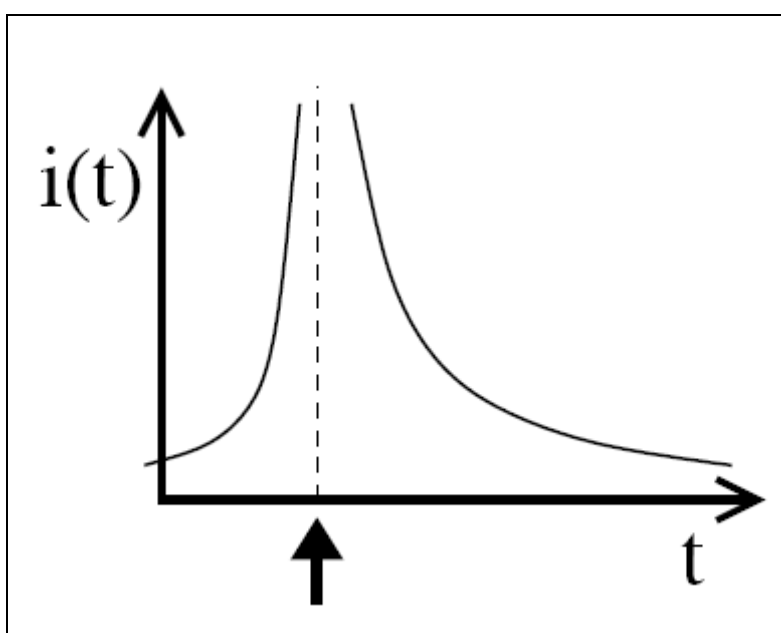
Dai dati precedentemente ricavati si è estrapolato una tipologia degli ietogrammi di progetto riferendosi ad un solo scroscio di maggiore intensità al termine della durata della precipitazione. In genere tale ietogramma risulta più gravoso rispetto allo ietogramma IDF (rettangolare) in quanto i volumi idrici affluiti precedentemente avranno colmato le capacità di invaso e ridotto le perdite per infiltrazione.

Per piogge di durata (0.5h) sono stati determinati gli ietogrammi di progetto dove si è supposto, per i motivi precedentemente evidenziati, uno scroscio finale che si verifica nell'ultimo quarto della durata complessiva dell'evento. Gli intervalli in cui è stata suddivisa la precipitazione hanno la durata di 5 min-15 min-30 min in funzione delle diverse durate associate alla precipitazione simulata.

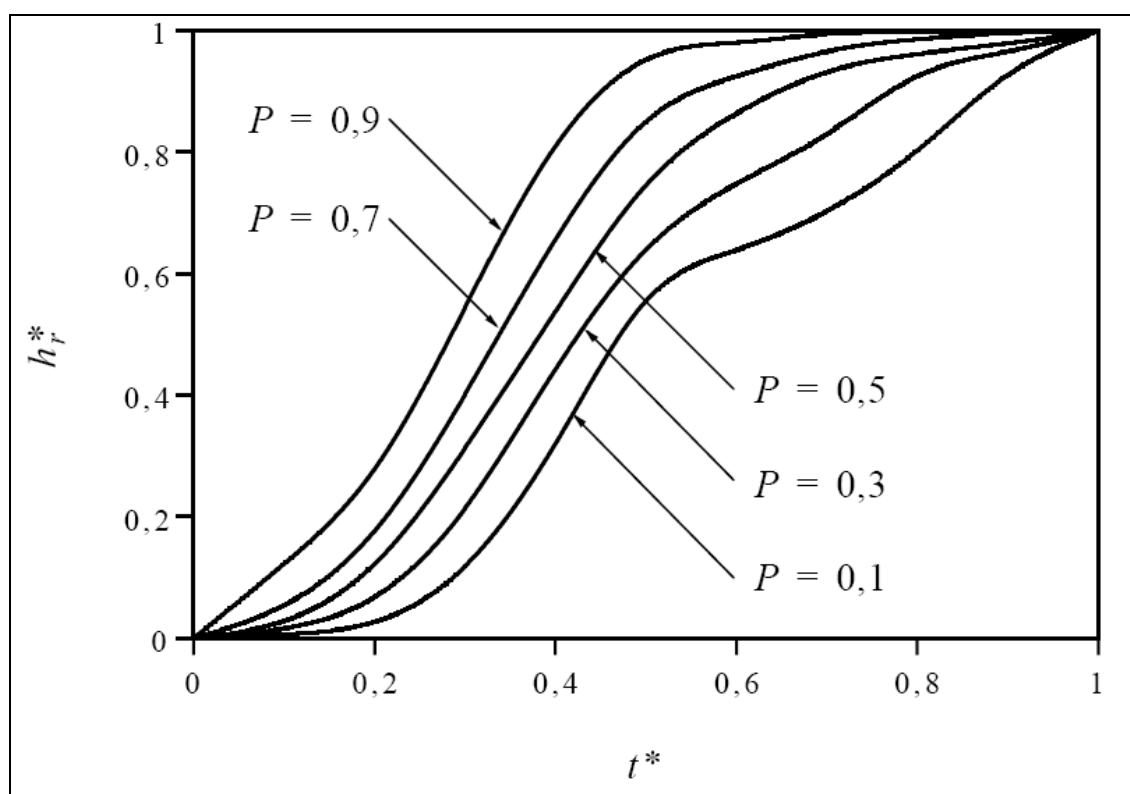
Questo tipo di ietogramma è stato confrontato con altre distribuzioni temporali quali la distribuzione IDF a intensità costante o diagramma rettangolare, con la distribuzione denominata Chigago, e con la distribuzione di Huff



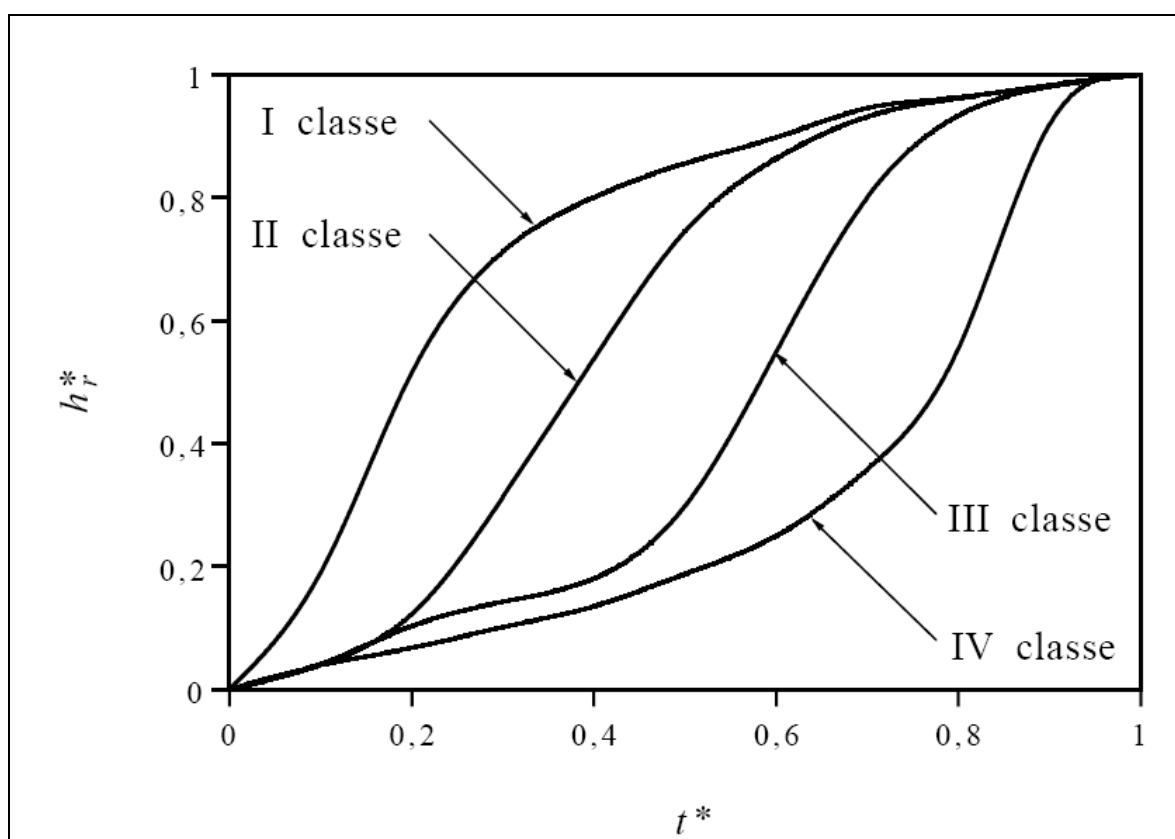
ietogramma costante



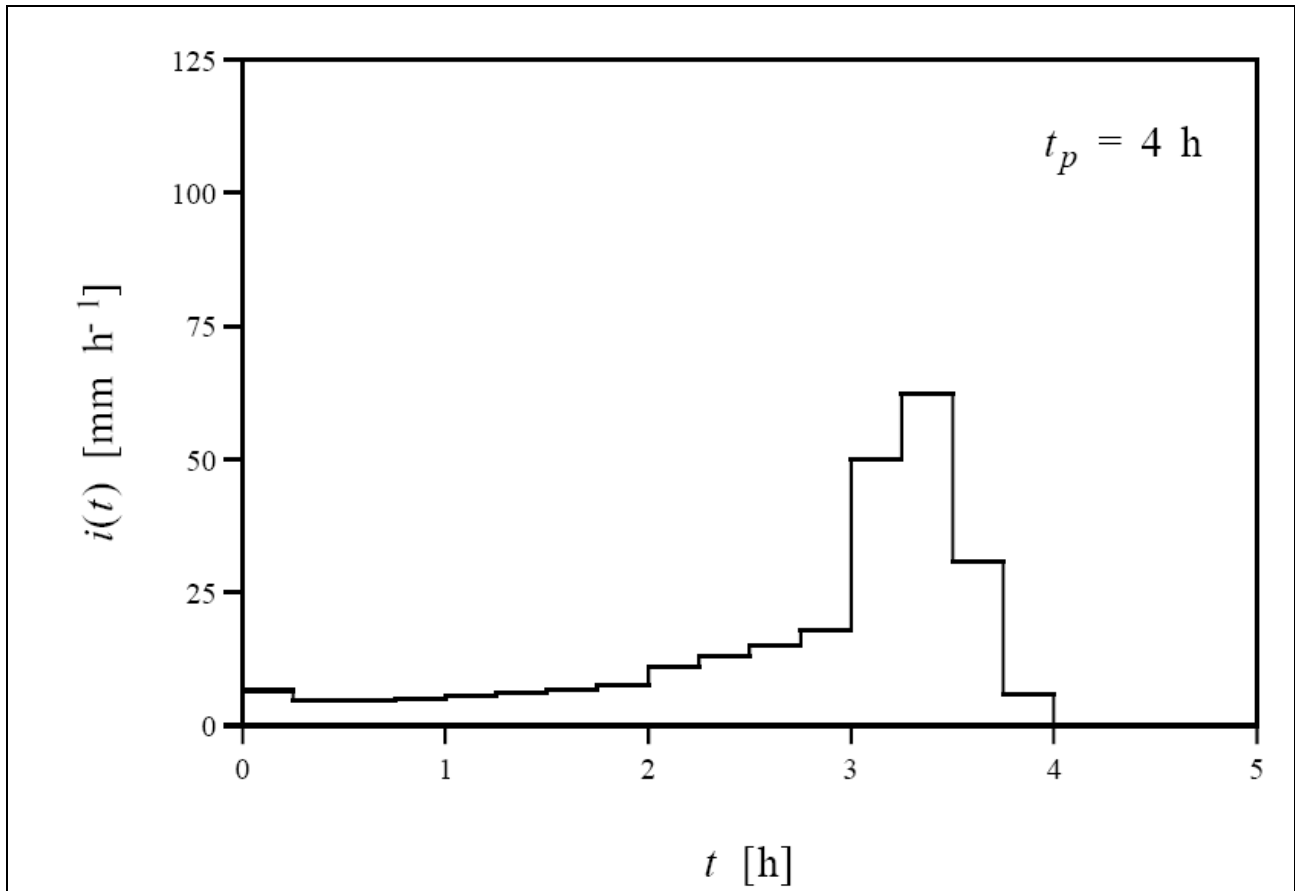
ietogramma Chigago



Ietogrammi normalizzati di Huff. Curve della seconda classe corrispondenti a diversi valori della probabilità P (Huff, 1967) .



Ietogramma normalizzato in funzione delle diverse classi di Huff



ietogramma di Huff utilizzato nelle simulazioni risultante da $P = 0.5$ e classe VI (cfr diagrammi precedenti).

Normalmente con questo tipo di distribuzioni dove le piogge sono descritte da picchi di intensità elevata posizionati a metà dell'evento o alla fine dello stesso bisogna tenere conto dei coefficienti di riduzione (o di ragguaglio all'area) "R".

2.5.1 5.3. Il fattore di riduzione areale

con l'aumentare dell'area del bacino aumenta la probabilità di non contemporaneità dell'evento di pioggia sulla sua superficie.

Il coefficiente di riduzione coincide, secondo la definizione, con il rapporto

$$R = \frac{h_r(t, A, T)}{h(t, T)}$$

Quindi

$$R = f(t, A, T)$$

E poichè la dipendenza da T è molto debole:

$$R = f(t, A)$$

Coefficiente di riduzione delle altezze di pioggia, in funzione della durata Dove t è il tempo e A è la superficie del bacino studiato.

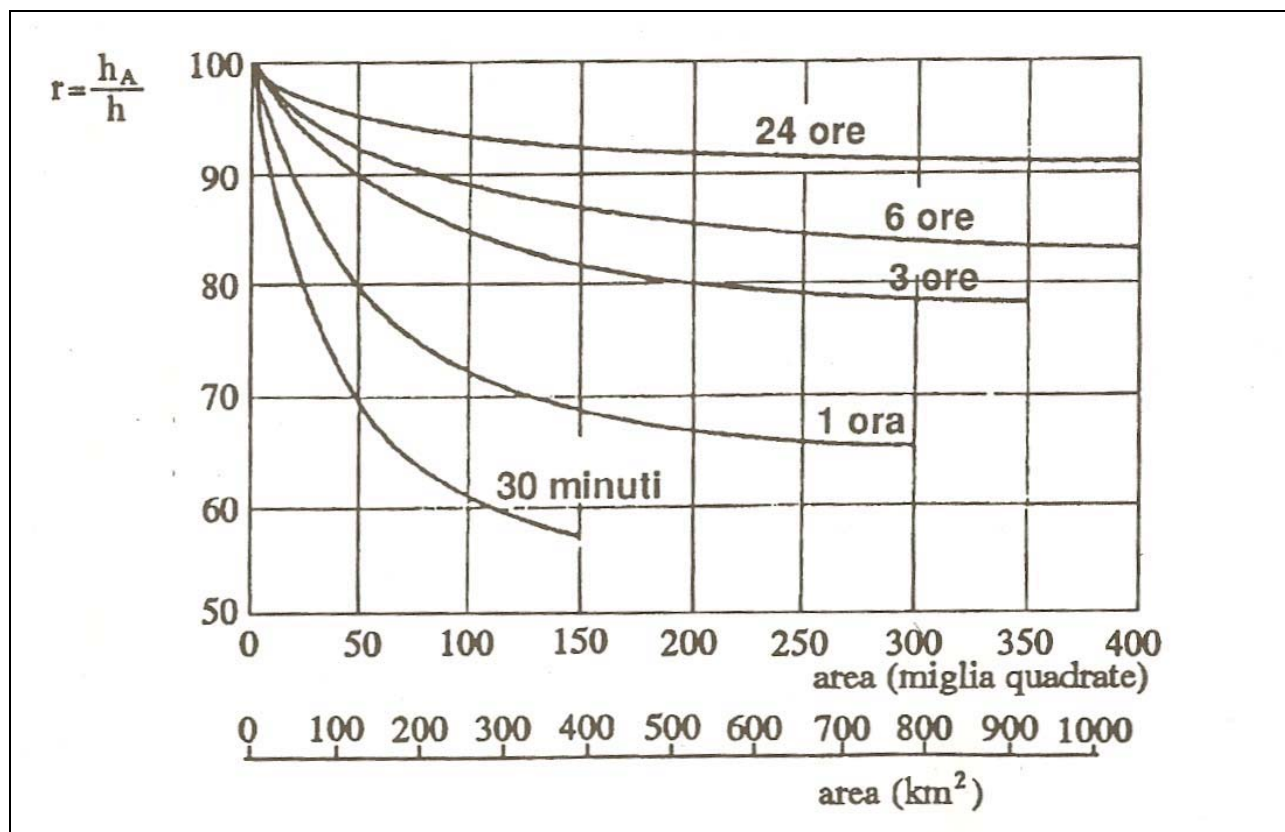
Diverse sono le tabelle e i diagrammi in uso per applicare tale parametro, nelle prossime pagine, si menzionano due tabelle la prima del Colombo, la seconda di origine anglosassone e un grafico americano.

Durata [h]	Area [ha]								
	100	300	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
0,25	0,968	0,917	0,884	0,835	0,804	0,782	0,750	0,722	0,685
0,50	0,970	0,919	0,888	0,840	0,813	0,791	0,759	0,733	0,704
0,75	0,972	0,925	0,890	0,844	0,818	0,798	0,767	0,740	0,714
1	0,973	0,922	0,892	0,846	0,821	0,803	0,772	0,746	0,721
2	0,974	0,924	0,894	0,850	0,827	0,811	0,783	0,757	0,732
3	0,974	0,926	0,896	0,853	0,831	0,815	0,789	0,765	0,741
4	0,974	0,928	0,898	0,857	0,835	0,821	0,796	0,773	0,750
6	0,974	0,930	0,902	0,863	0,843	0,831	0,808	0,788	0,757
12	0,976	0,941	0,916	0,884	0,868	0,858	0,844	0,830	0,816
24	0,982	0,961	0,944	0,923	0,916	0,906	0,900	0,894	0,886

(Columbo, 1960)

Durata	Area [km ²]									
	1	5	10	30	100	300	1000	3000	10000	30000
1 min	0,76	0,61	0,52	0,40	0,27	-	-	-	-	-
2 min	0,84	0,72	0,65	0,53	0,39	-	-	-	-	-
5 min	0,90	0,82	0,76	0,65	0,51	0,38	-	-	-	-
10 min	0,93	0,87	0,83	0,73	0,59	0,47	0,32	-	-	-
15 min	0,94	0,89	0,85	0,77	0,64	0,53	0,39	0,29	-	-
30 min	0,95	0,91	0,89	0,82	0,72	0,62	0,51	0,41	0,31	-
60 min	0,96	0,93	0,91	0,86	0,79	0,71	0,62	0,53	0,44	0,35
2 h	0,97	0,95	0,93	0,90	0,84	0,79	0,73	0,65	0,55	0,47
3 h	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62	0,54
6 h	0,98	0,97	0,96	0,93	0,90	0,87	0,83	0,79	0,73	0,67
24 h	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,83	0,80
48 h	-	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86	0,82
96 h	-	-	0,99	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,88	0,85
192 h	-	-	-	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87
25 d	-	-	-	-	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91

Coefficiente di riduzione delle altezze di pioggia, in funzione della durata e dell'area (NERC, 1975)



Rapporto tra pioggia puntuale ed areale al variare della durata e dell'area (US Weather Bureau)

2.5.2 Ietogrammi utilizzati

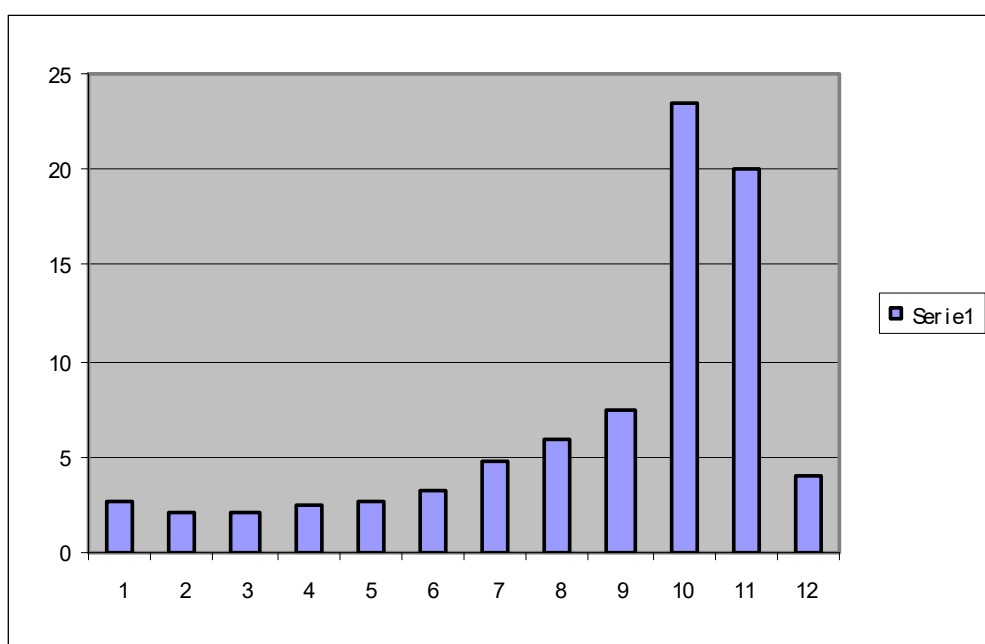
Nello specifico sono stati impiegati ietogrammi diversi:

- con ietogramma rettangolare a intensità costante IDF
- con distribuzione "a scroscio finale", con scansione temporale pari a 5 minuti, 15 min, 30 min
- con distribuzione di Huff con probabilità 0.5 e classe VI sempre con scansione temporale pari a 5 minuti, 15 min, 30 min
- con ietogramma Chicago e scansione temporale pari a 5 minuti, 15 min, 30 min

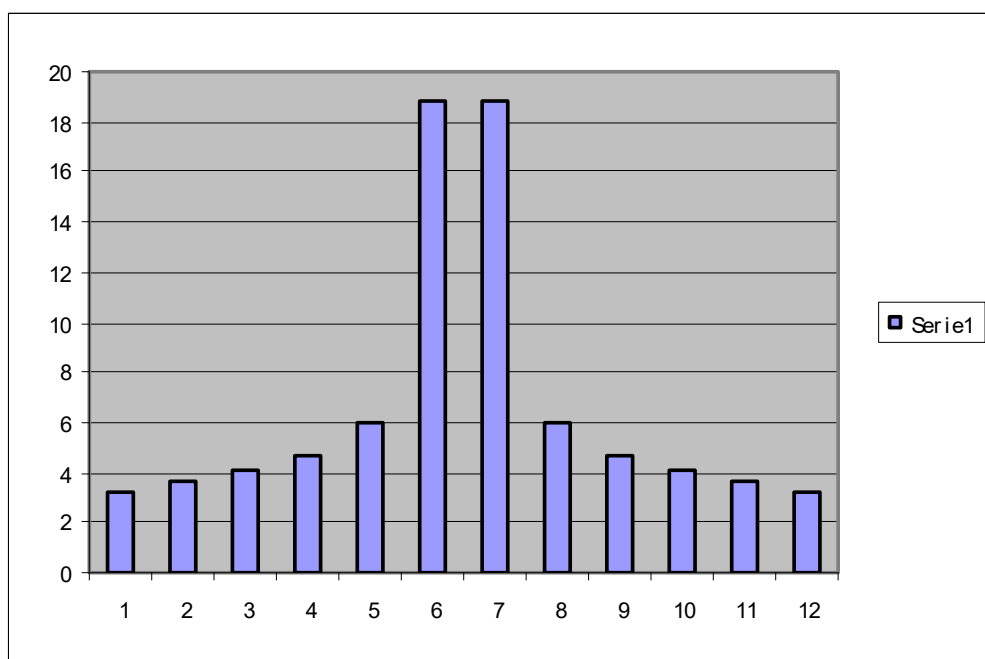
nel caso della distribuzione IDF e con scroscio finale essendo distribuzioni con picchi di intensità minore si è volutamente trascurato il ragguaglio delle piogge per ottenere risultati più cautelativi.

sinteticamente si riportano gli ietogrammi relativi alla durata delle 3 ore Tr 100 anni, per ogni tipologia di ietogramma utilizzato, gli altri sono riportati nell'appendice 1.

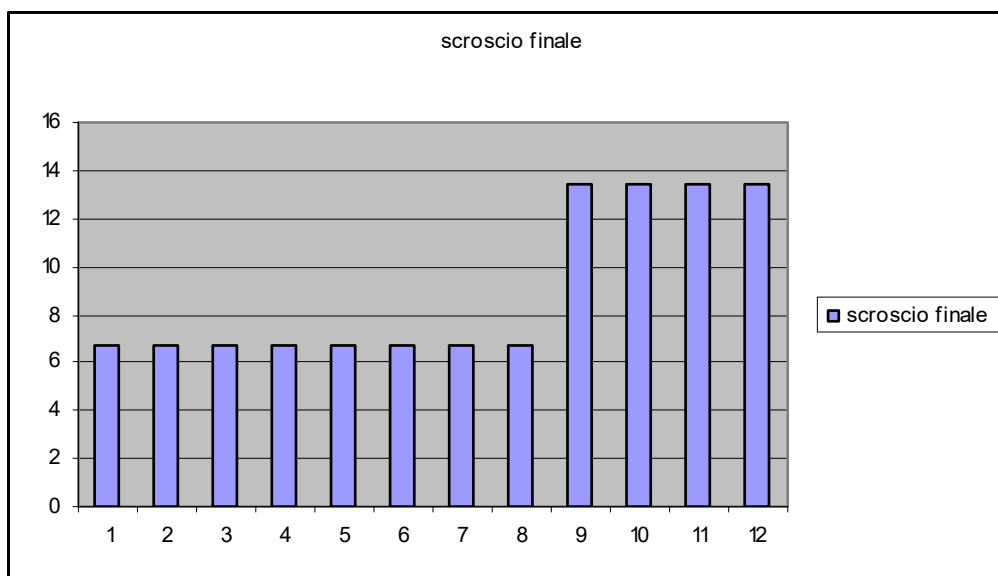
Nei diagrammi seguenti in ascissa troviamo gli intervalli temporali e in ordinata i mm di pioggia.



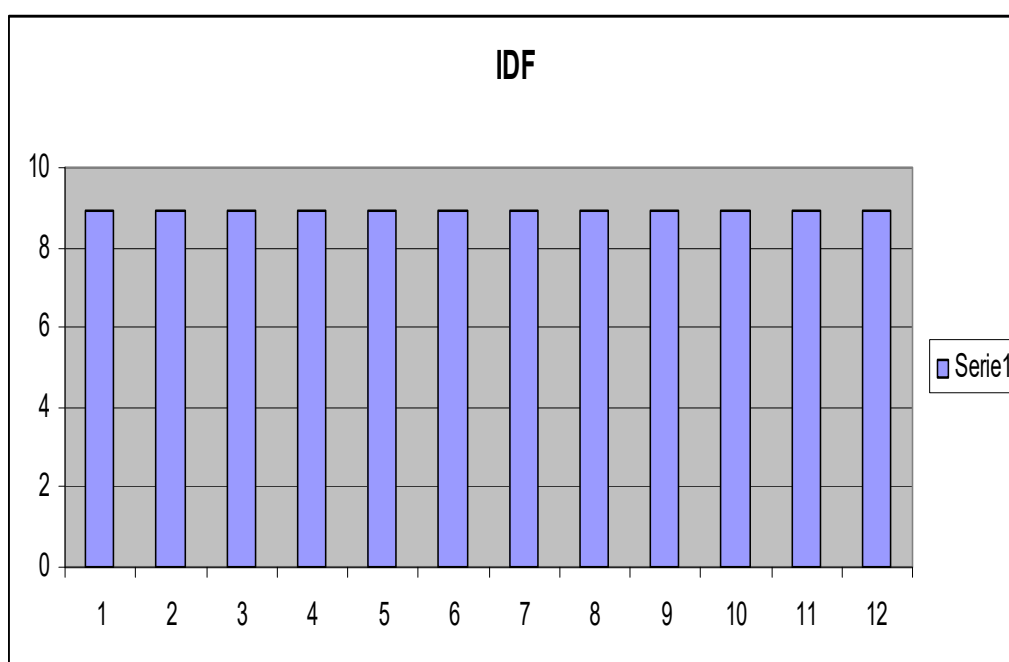
3 ore int 15 min distribuzione di Huff P=0.5 VI Classe



3 ore int 15 min distribuzione di Chicago



3 ore 15 min distribuzione con scroscio finale nell'ultimo quarto



3 ore 15 min distribuzione a intensità costante IDF

2.5.3 Coefficiente di riduzione dell'afflusso meteorico e "Curve Number"

Note le caratteristiche morfometriche e pluviometriche dei bacini, è intuitivo pensare che, in termini di bilancio idrologico, e in assenza di significativi contributi esterni (apporti sotterranei da altri bacini,...) parte dell'afflusso meteorico va a formare le portate che defluiscono attraverso la sezione di chiusura e parte si perde per motivi diversi (infiltrazione, intercettazione da parte dell'apparato fogliare delle piante, ...) e non contribuisce alla formazione delle portate alla sezione di chiusura, almeno per un periodo di tempo compatibile con la durata dell'evento considerato (periodo di crescita e di svuotamento dell'idrogramma di piena).

I due metodi adottati per il calcolo delle portate al colmo dei corsi d'acqua oggetto di studio prevedono l'introduzione di questo fattore, e nello specifico il Metodo Razionale prevede l'impiego del coefficiente di riduzione dell'afflusso meteorico, generalmente indicato con la lettera maiuscola "C".

Per individuare il valore di interesse si procede all'attribuzione del parametro per ognuna delle classi di uso del suolo contenute, per il bacino, all'interno del Piano Forestale Territoriale (IPLA 1999, AF29). Il parametro medio è ricavato come ponderazione rispetto alle superfici:

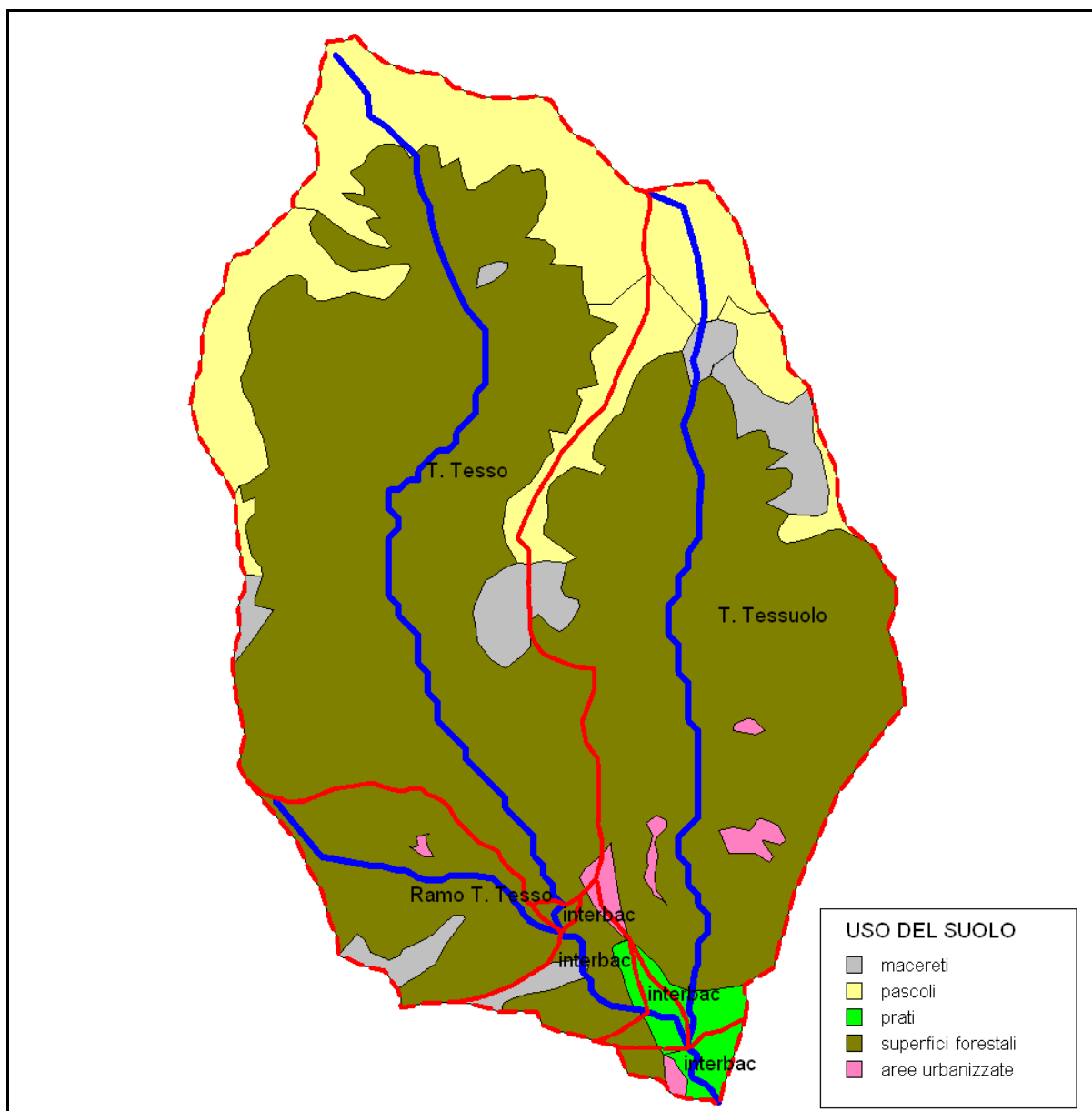
Area del bacino	denominazione e Bacino	tipologia copertura	C coefficiente per M. Razionale	Area in Km ²	A x C
22.391	T. Tesso	pascoli	0.65	0.0965	0.06
22.391	T. Tesso	rocce e macereti	0.70	0.0418	0.03
22.391	T. Tesso	pascoli	0.65	3.2960	2.14
22.391	T. Tesso	pascoli	0.65	1.5285	0.99
22.391	T. Tesso	pascoli	0.65	0.5852	0.38
22.391	T. Tesso	superfici forestali	0.50	16.2847	8.14
22.391	T. Tesso	rocce e macereti	0.70	0.4006	0.28
22.391	T. Tesso	rocce e macereti	0.70	0.1297	0.09
16.144	T. Tessuolo	rocce e macereti	0.70	0.6553	0.46
16.144	T. Tessuolo	rocce e macereti	0.70	0.2024	0.14
16.144	T. Tessuolo	pascoli	0.65	1.0044	0.65
16.144	T. Tessuolo	pascoli	0.65	0.2036	0.13
16.144	T. Tessuolo	pascoli	0.65	0.3854	0.25
16.144	T. Tessuolo	aree urbanizzate	0.90	0.1357	0.12
16.144	T. Tessuolo	aree urbanizzate	0.90	0.0658	0.06
16.144	T. Tessuolo	aree urbanizzate	0.90	0.0292	0.03
16.144	T. Tessuolo	aree urbanizzate	0.90	0.1377	0.12
16.144	T. Tessuolo	superfici forestali	0.50	12.1666	6.08
16.144	T. Tessuolo	prati	0.55	0.2937	0.16
16.144	T. Tessuolo	prati	0.55	0.0010	0.00
16.144	T. Tessuolo	pascoli	0.65	0.6825	0.44
16.144	T. Tessuolo	rocce e macereti	0.70	0.2122	0.15
3.401	Ramo T. Tesso	aree urbanizzate	0.90	0.0216	0.02
3.401	Ramo T. Tesso	rocce e macereti	0.70	0.2559	0.18
3.401	Ramo T. Tesso	superfici forestali	0.50	3.1238	1.56
1.070	interbac	aree urbanizzate	0.90	0.0418	0.04
1.070	interbac	superfici forestali	0.50	0.7463	0.37
1.070	interbac	prati	0.55	0.0946	0.05

1.070	interbac	rocce e macereti	0.70	0.1875	0.13
0.080	interbac	superfici forestali	0.50	0.0797	0.04
0.301	interbac	prati	0.55	0.2150	0.12
0.301	interbac	superfici forestali	0.50	0.0863	0.04
0.450	interbac	aree urbanizzate	0.90	0.0549	0.05
0.450	interbac	prati	0.55	0.0077	0.00
0.450	interbac	prati	0.55	0.2818	0.15
0.450	interbac	superfici forestali	0.50	0.1057	0.05
0.450	interbac	superfici forestali	0.50	0.0000	0.00
				SUB TOT	23.74
				"C" razion.	0.54

Similmente il metodo SCS-CN rappresenta nel parametro "Curve Number" (CN appunto) la frazione di afflusso meteorico in grado di produrre deflusso in funzione della natura dei suoli, della copertura e del livello di saturazione caratteristico del momento in cui si suppone la precipitazione abbia inizio. Quest'ultimo concetto è sintetizzato nel parametro AMC (Antecedent Moisture Condition), per cui il valore del CN varia a seconda che il suolo si trovi in condizioni di saturazione completa, media o assente (rispettivamente AMC III, AMC II, AMC I). Le tabelle a disposizione forniscono normalmente il valore di AMC II, ovvero di condizione di media saturazione. Esso può essere trasformato in AMC III (condizione più gravosa per il bacino) attraverso la relazione proposta dal Soil Conservation Service stesso:

$$CN(III) = 23CN(II)/(10 + 0.13CN(II))$$

Il settore di versante in esame può essere ricondotto a suoli di tipo "B", ovvero "con moderata infiltrazione se saturi" (HECF-1 User's manual). Le coperture del suolo, desunte dalla carta dell'uso del suolo predisposta da IPLA (Istituto Piante da Legno e Ambiente) nell'ambito della redazione del Piano Forestale Territoriale (AF29) sono contenute nella seguente tabella, che consente, applicando i valori di CN indicati dalla Direttiva del PAI (riferiti a condizioni di AMC II) di individuare il valore medio ponderato rispetto alle superfici occupate da ciascuna categoria di uso del suolo.



Elaborazione dell'uso del suolo effettuata su ortofoto del 2006 da sito ufficiale del ministero dell'ambiente.

NOME DEL TORRENTE	USO	AREA USO SUOLO	CNII	CNXSUP	SUMM	CN MEDIO PER BACINO
T. Tesso	pascoli	0.096484	60	5.789037		
T. Tesso	rocce e macereti	0.041801	72	3.009671		
T. Tesso	pascoli	3.296016	60	197.7609		
T. Tesso	pascoli	1.528492	60	91.70952		
T. Tesso	pascoli	0.585201	60	35.11208		
T. Tesso	sup. forestali	16.284721	55	895.6596		
T. Tesso	rocce e macereti	0.400555	72	28.83997		
T. Tesso	rocce e macereti	0.129737	72	9.341074	1267.222	56.5724076
T. Tessuolo	rocce e macereti	0.655339	72	47.1844		
T. Tessuolo	rocce e macereti	0.202384	72	14.57163		
T. Tessuolo	pascoli	1.004358	60	60.26147		
T. Tessuolo	pascoli	0.203603	60	12.21615		
T. Tessuolo	pascoli	0.385364	60	23.12185		
T. Tessuolo	aree urbane	0.135669	80	10.8535		
T. Tessuolo	aree urbane	0.065831	80	5.266457		
T. Tessuolo	aree urbane	0.029181	80	2.33451		
T. Tessuolo	aree urbane	0.137662	80	11.01296		
T. Tessuolo	sup. forestali	12.166645	55	669.1654		
T. Tessuolo	praterie	0.293727	55	16.15498		
T. Tessuolo	praterie	0.000997	55	0.05485		
T. Tessuolo	pascoli	0.682492	60	40.94949		
T. Tessuolo	rocce e macereti	0.212150	72	15.27481	928.4225	57.4874614
Ramo T. Tesso	aree urbane	0.021563	80	1.725065		
Ramo T. Tesso	rocce e macereti	0.255936	72	18.42737		
Ramo T. Tesso	sup. forestali	3.123777	55	171.8077	191.9602	56.45887416
interbac	aree urbane	0.041824	80	3.345944		
interbac	sup. forestali	0.746299	55	41.04647		
interbac	praterie	0.094638	55	5.205067		
interbac	rocce e macereti	0.187534	72	13.50244	63.09992	58.9718837
interbac	sup. forestali	0.079677	55	4.38223		55
interbac	praterie	0.215038	55	11.82707		
interbac	sup. forestali	0.086313	55	4.747188		55
interbac	aree urbane	0.054923	80	4.393839		
interbac	praterie	0.007663	55	0.421442		
interbac	praterie	0.281766	55	15.49713		
interbac	sup. forestali	0.105750	55	5.81625		
interbac	sup. forestali	0.000100	55	0.0055	26.13416	58.07590214
			sub tot	2497.795		
			CNII medio	57		57

Tabella 20 Dati suddivisi per bacino derivati dalla cartografia

Il valore di CN corrispondente alla media di quelli caratteristici delle suddette categorie, in condizioni di AMC II, è CN = 57, cui corrisponde, mediante la citata relazione di trasformazione, un valore medio in condizioni di AMC III di **CN = 75.30**

2.6 Determinazione delle portate di riferimento

Per la determinazione delle portate di riferimento con TR =100 e 200 anni, si procede impiegando e confrontando due metodi differenti. Il primo è il Metodo Razionale, largamente utilizzato in Italia, su bacini di qualsiasi dimensione, il secondo il codice di calcolo HEC-HMS, di provenienza statunitense ma ormai già largamente utilizzato anche in Italia. Dal confronto dei due metodi derivano i valori delle portate di riferimento da utilizzarsi nel corso delle verifiche idrauliche.

2.6.1 Il Metodo Razionale

La relazione che conduce alla determinazione della portata al colmo corrispondente ad un prescelto tempo di ritorno della precipitazione, prevede l'impiego, quale durata critica, della precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino. La formula è la seguente:

$$Q = \frac{A \times C \times h_c}{3.6 \times t_c}$$

In cui "Q" è la portata al colmo (mc/s) per il TR considerato, "A" la superficie del bacino in kmq, "C" il coefficiente di riduzione dell'afflusso meteorico, in relazione alla tipologia del substrato e all'uso del suolo, "h_c" la precipitazione critica in mm, ovvero quella relativa al TR considerato e di durata pari al tempo di corrivazione del bacino, "t_c" il tempo di corrivazione in ore.

2.6.2 Il Codice numerico HEC-HMS

L'algoritmo consente, a fronte dell'inserimento degli ietogrammi, di produrre gli idrogrammi di piena alla sezione considerata, impiegando, per la trasformazione afflussi-deflussi, svariati metodi.

Nello specifico si è scelto di avvalersi del metodo dell'idrogramma unitario IUH . Per quanto concerne la valutazione delle perdite di afflusso, e quindi l'individuazione delle precipitazioni efficaci, si è scelto il metodo SCS-CN.

Il modello per funzionare ha bisogno dell'area del Bacino, del valore di TL (time lag – Tempo di ritardo), valore del CN; tutti valori calcolati e disponibili nelle precedenti tabelle.

Inoltre sono stati inseriti gli ietogrammi relativi alle precipitazioni di tempo di ritorno centennale e duecentennale , per durate comprese tra 0,5 e 16 ore.

2.6.3 Portate idriche di riferimento

L'applicazione del Metodo Razionale porta, in sintesi, al calcolo dei seguenti valori di portata:

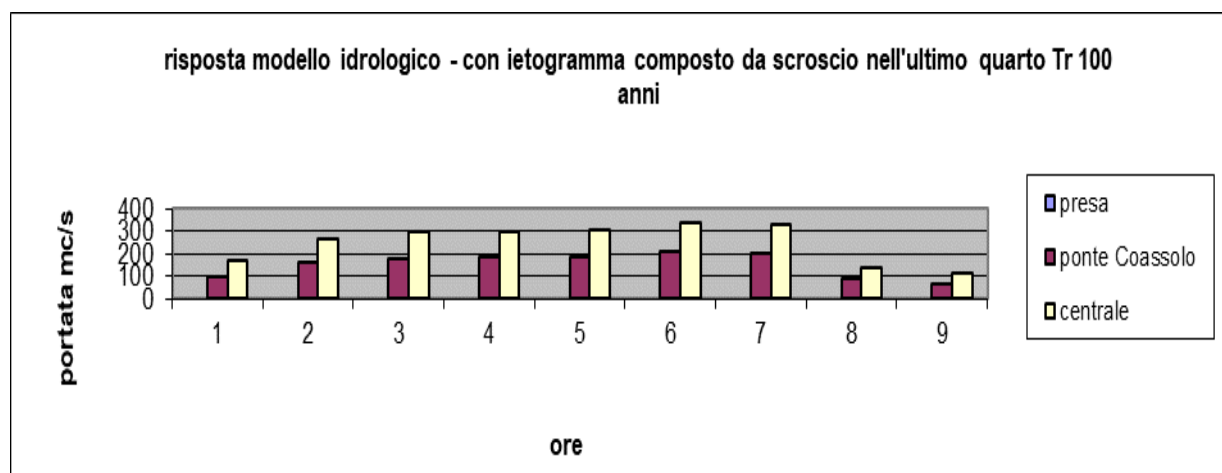
portate finali metodo razionale (C= 0.54)	Portate al colmo in mc/s	
Piogge non ragguagliate	Q 100 anni	Q 200 anni
T. Tesso	169.75	195.31
T. Tessuolo	121.06	139.28
Ramo Tesso	36.04	41.51
Interbacino 4	18.89	21.78
totale mc/s	345.74	397.89

Tabella 21

Con il Codice numerico HEC-HMS i risultati sono stati i seguenti:

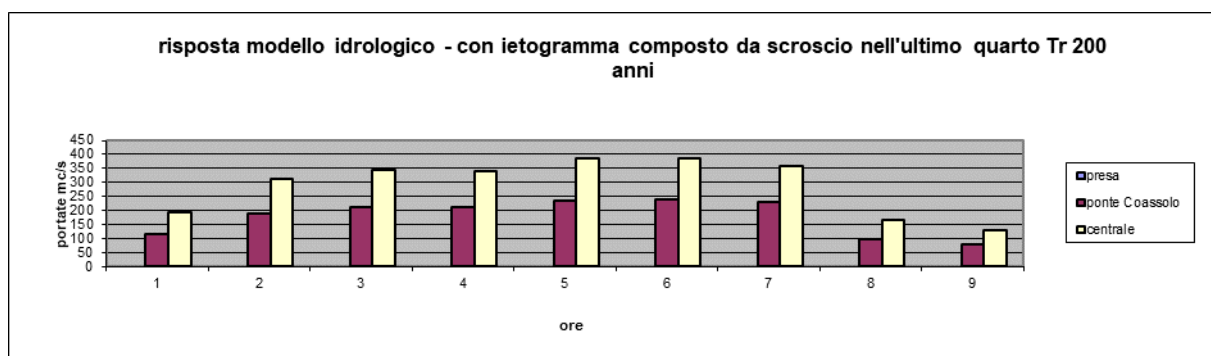
SCROSCIO NELL'ULTIMO QUARTO			
		LOCALITA' - valori in mc/s	
TR=100 (ore)		PONTE COASSOLO	Ponte CIRCONVALLAZIONE
1		96.4	168.6
2		161.6	264.5
3		182.9	297
4		185.5	300
5		185.9	304.2
6		210	338.8
8		204.5	332.4
10		87.81	142
12		69.74	112

Tabella 22



SCROSCIO NELL'ULTIMO QUARTO		
LOCALITA' - valori in mc/s		
	PONTE COASSOLO	Ponte CIRCONVALLAZIONE
TR=200 (ore)		
1	117.87	194.76
2	191.21	313.47
3	211.7	344.66
4	211.16	342.53
5	235.24	385.58
6	238.3	385.27
8	230.7	357.77
10	98.9	166.16
12	80.4	129.88

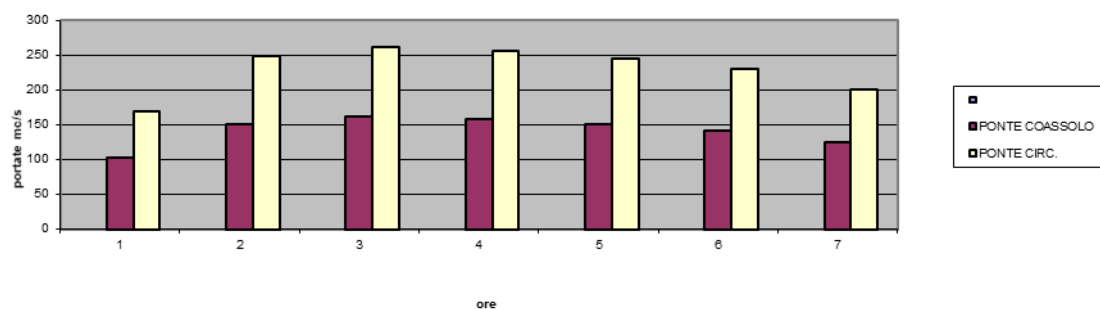
Tabella 23



MODELLO TESSO RETTANGOLARE			
IDF			
LOCALITA' - valori in mc/s			
TR=100 (ore)		PONTE COASSOLO	Ponte CIRCONVALLAZIONE
1		101.98	169.31
2		150.1	248.37
3		160.85	261.69
4		157.62	255.65
5		151.02	244.15
6		141.8	229.65
8		123.93	200.96

Tabella 24

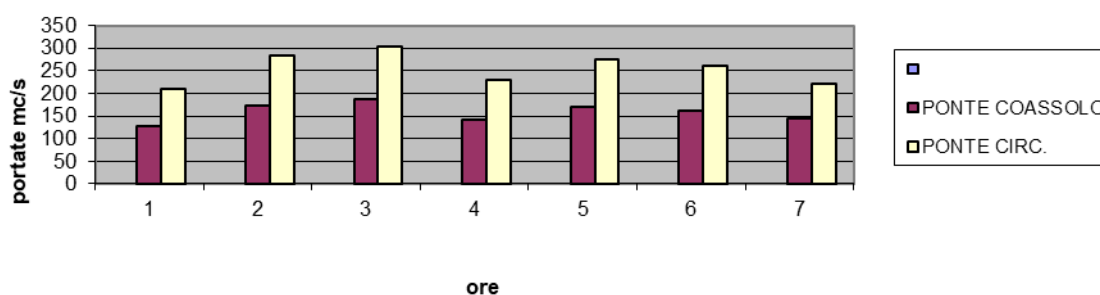
modello idrologico con ietogramma rettangolare IDF Tr 100 anni



MODELLO TESSO RETTANGOLARE			
IDF			
LOCALITA' - valori in mc/s			
TR=200 (ore)	PONTE COASSOLO		Ponte CIRCONVALLAZIONE
1	126.26		208.74
2	171.78		283.48
3	187.14		303.32
4	140.3		229.24
5	170.05		275.06
6	160.84		260.64
8	143.53		220.78

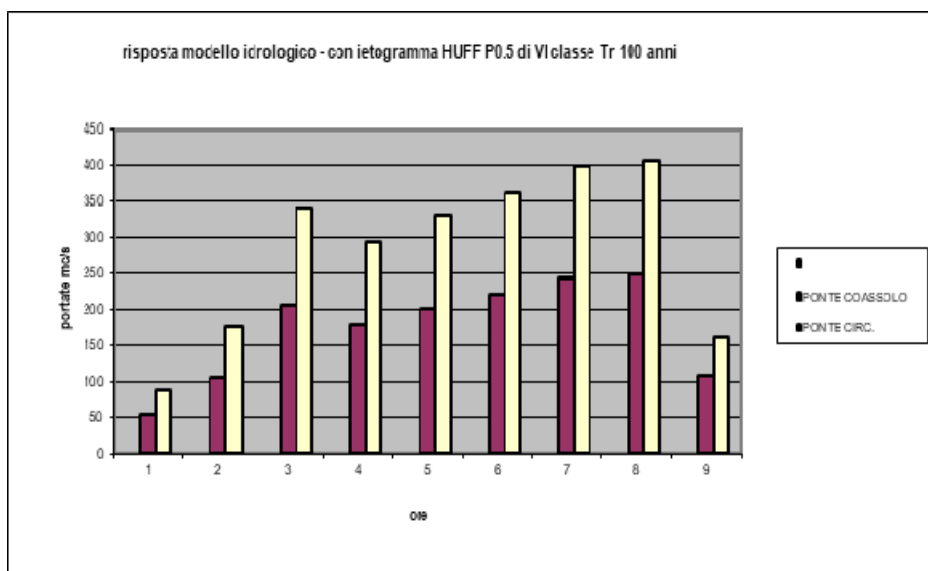
Tabella 25

modello idrologico con ietogramma rettangolare IDF Tr 200 anni



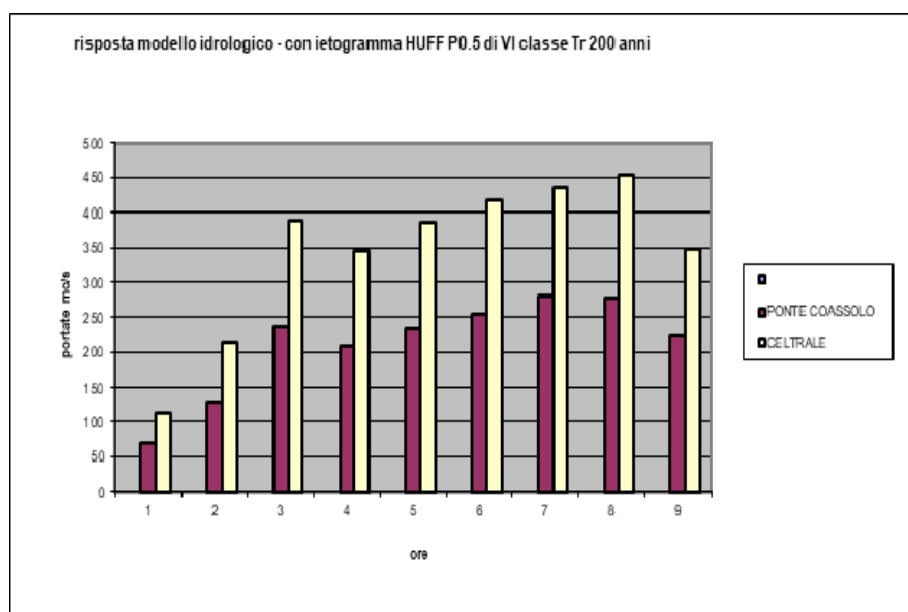
MODELLO TESSO HUFF			
P 0.5 VI CLASSE			
LOCALITA' - valori in mc/s			
TR=100 (ore)		PONTE COASSOLO	Ponte CIRCON.
1		53.2	87.98
2		105.6	175.33
3		207.07	340.16
4		177.53	293.55
5		201.97	332.2
6		220.38	361.3
8		244.72	399.1
10		248.54	405.6
12		107.76	160.6

Tabella 26



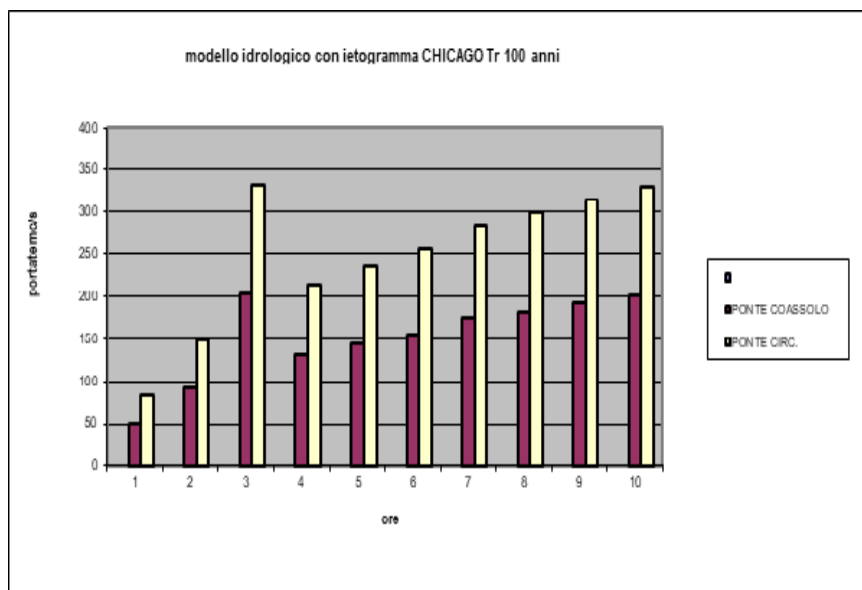
MODELLO TESSO HUFF			
P 0.5 VI CLASSE			
	LOCALITA' - valori in mc/s		
TR=200 (ore)		PONTE COASSOLO	Ponte CIRCON.
1		67.7	111.7
2		128.7	213.1
3		236.1	388.3
4		208.5	344.32
5		234.84	386.4
6		254.6	417.5
8		280.1	434.9
10		278.5	454.2
12		223	347.2

Tabella 27

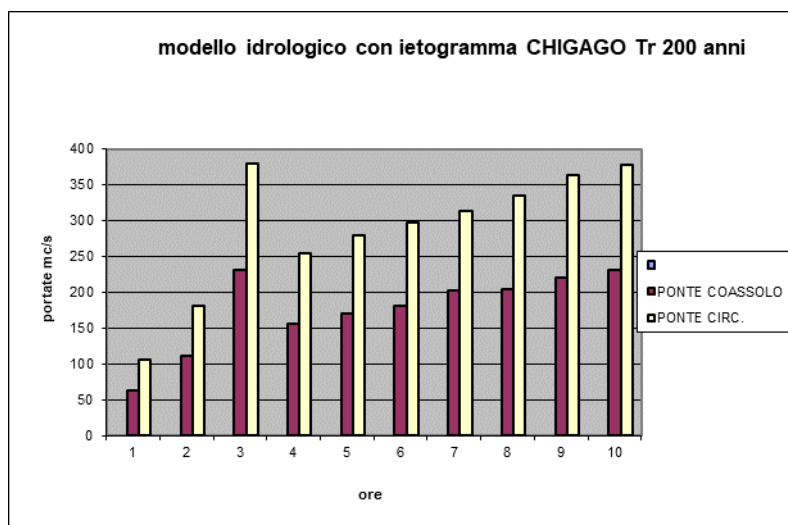


MODELLO TESSO CHICAGO			
CHICAGO			
	LOCALITA' - valori in mc/s		
TR=100 (ore)		PONTE COASSOLO	Ponte CIRCON
1		50.39	83
2		90.7	148.47
3		203	333.39
4		130.8	213.54
5		144.3	235.65
6		156.07	255.09
8		174.52	285.2
10		181.6	298.5
12		192.2	315.3
16		202	331

Tabella 28



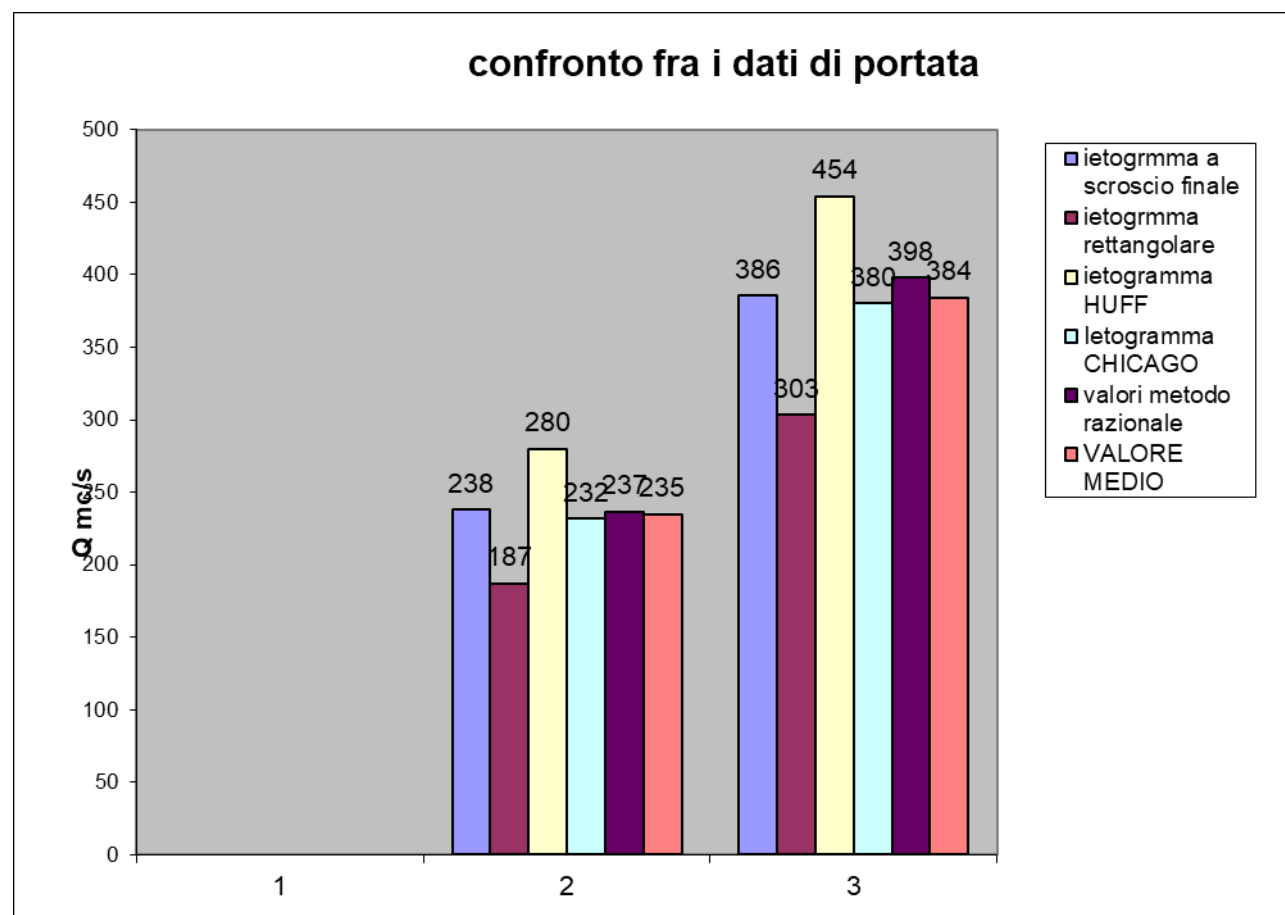
MODELLO TESSO CHICAGO			
CHICAGO			
	LOCALITA' - valori in mc/s		
TR=200 (ore)		PONTE COASSOLO	Ponte CIRCON.
1		64	105.7
2		111.46	182.11
3		231.8	380.41
4		155.9	254.41
5		171.2	279.6
6		181	298.5
8		203.5	314.56
10		203.66	334.41
12		221.49	363.3
16		231	379



2.7 Rapporto conclusivo dei valori di portata

Sintesi dei valori massimi di portata ottenuti dalle diverse simulazioni				
durata critica		PONTE COASSOLO	PONTE CIRCON.	
5 ore		238.3	385.58	ietogrmma a scroscio finale
3 ore		187.14	303.32	ietogrmma rettangolare
8-10 ore		280.1	454.2	ietogramma HUFF
3 ore		231.8	380.41	ietogramma CHICAGO
tc		236.82	397.89	valori metodo razionale
		234.83	384.28	VALORE MEDIO
sup bacino		27	43.8	
contributo unitario mc/s*kmq		8.70	8.77	

Tabella 29



2.8 Confronto dei risultati ottenuti con l'idrologia relativa a bacini strumentati limitrofi

Nel documento citato (V.Anselmo "Curve inviluppo delle massime portate osservate nei bacini alpini occidentali" – Scritti dedicati a Giovanni Tournon – volume presentato in occasione del Convegno "I problemi dei grandi comprensori irrigui " Novara, 6-7 giugno 1996) l'autore scrive: "...Le equazioni citate rappresentano l'inviluppo di punti, di solito corrispondenti a valutazioni indirette di portata. Pertanto, ai valori desumibili dalle citate relazioni non è, in genere, possibile attribuire la corrispondente probabilità di accadimento, proprio per la citata carenza di serie storiche in bacini significativi.

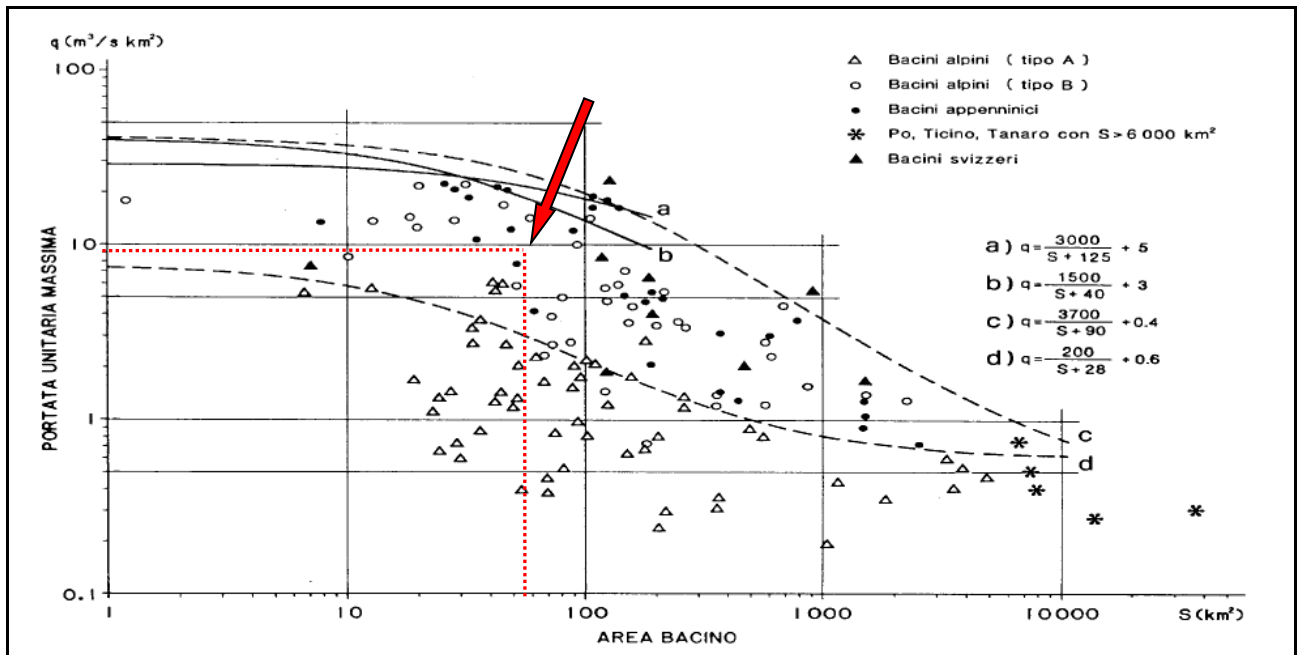
Tuttavia, anche a seguito dell'analisi delle precipitazioni responsabili dell'evento, si deve riconoscere che tali curve inviluppo si riferiscono ad eventi con probabilità bassa o bassissima. Una raccolta quasi sistematica dei valori massimi reperibili da varie fonti, anche inedite, fu approntata presso il CNR-IRPI di Torino con l'intenzione di fornire indicazioni in grado di tenere conto, sia pure con larga approssimazione, del diverso comportamento dei bacini idrografici della regione subalpina (Anselmo, 1985).

Dall'esame dei dati appariva infatti evidente la presenza di almeno due distinti insiemi di bacini idrografici caratterizzati rispettivamente da precipitazioni relativamente basse (alte vallate alpine con particolare riferimento alla Dora Riparia e alla Dora Baltea) e da afflussi rilevanti (bacini del Piemonte meridionale a contatto con l'Appennino e la zona compresa fra Canavese e sponda destra del Lago Maggiore). A seguito di una revisione dell'analisi (Enel-CRIS e Regione Piemonte, 1989) venivano proposte le due relazioni:

$$q = \frac{500}{S + 90} + 0.4$$

$$q = \frac{3700}{S + 90} + 0.4$$

In cui "q" è il contributo unitario di portata per kmq di bacino (mc/s kmq) e "S" la superficie del bacino. Rispettivamente per i gruppi di bacini a modesta e ad elevata precipitazione".



Valori dei Contributi specifici calcolati rispetto a un centinaio di sezioni di chiusura dei corsi d'acqua dell'Italia nord-occidentale e della Svizzera. Sono riportate anche le curve si inviluppo: Formula di DeMarchi, curva a); Formula di Tournon, curva b); Bacini orientati N-S, curva c); Bacini orientati E-O, curva d); (da Anselmo, 1985).

Con la freccia rossa è indicato il contributo unitario specifico di portata relativo a $Tr\ 200\ 9\ mc/s\ kmq$ per $Tr = 200$ anni.

La relazione di inviluppo conduce, per il Torrente Tesso chiuso a Lanzo, ad un contributo unitario pari a $q = 4.14\ mc/(s\ kmq)$, corrispondente ad un valore di portata massimo $Q = 181\ mc/s$

Detto valore, corrispondente a quelli calcolati per tempi di ritorno intorno ai 100 anni, ietogramma rettangolare idf. Il fatto che tale valore sottostimi il contributo unitario di $9\ mc/(s\ kmq)$, ottenuto dai conteggi idrologici può essere spiegato dal fatto che l'esatto orientamento dei bacini principali T. Tesso e T. Tessuolo aggraverebbero la risposta del bacino infatti il valore di "q" che si otterrebbe con la curva b della figura precedente sarebbe di $20.9\ mc/(s\ kmq)$, quindi ben al di sopra del valore di $9\ mc/(s\ kmq)$.

Il bacino del tesso quindi si pone esattamente in una posizione intermedia fra la curva d e la curva b.

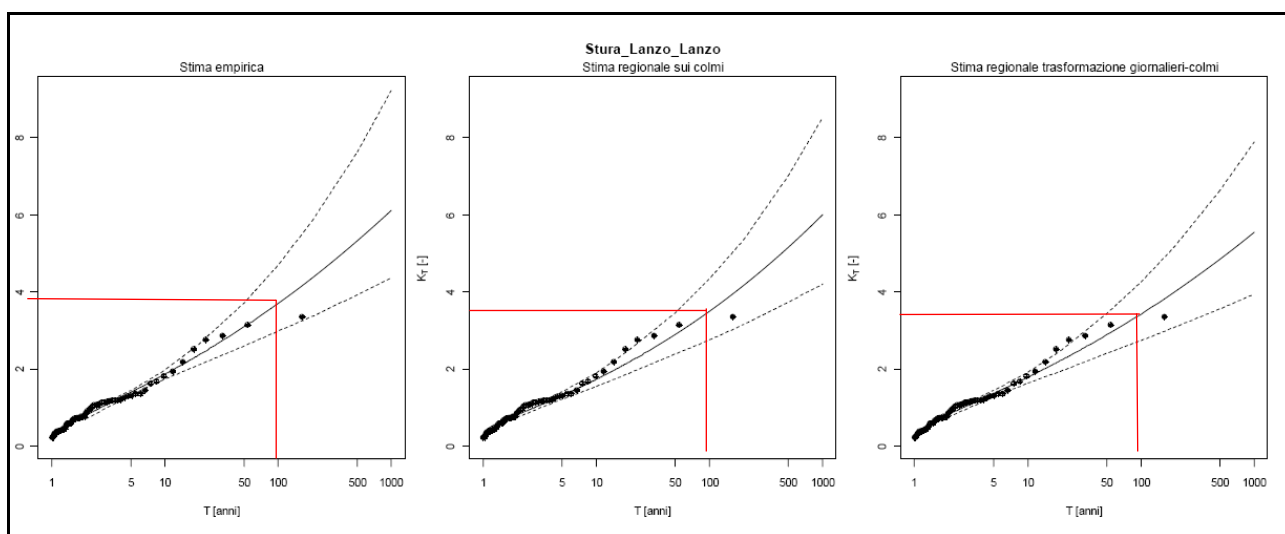
Ulteriori considerazioni in merito alla validazione del dato possono essere fatte con l'ausilio della pubblicazione a cura del Politecnico di Torino: "AGGIORNAMENTO DELLE PROCEDURE DI VALUTAZIONE DELLE PIENE IN PIEMONTE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AI BACINI SOTTESI DA INVASI ARTIFICIALI" Prof. Claps. In questo studio si è proceduto a una approfondita analisi di tipo statistico

attraverso l'elaborazione di serie storiche dei bacini strumentati dell'arco alpino e appenninico in Piemonte Lombardia e Val D'Aosta.

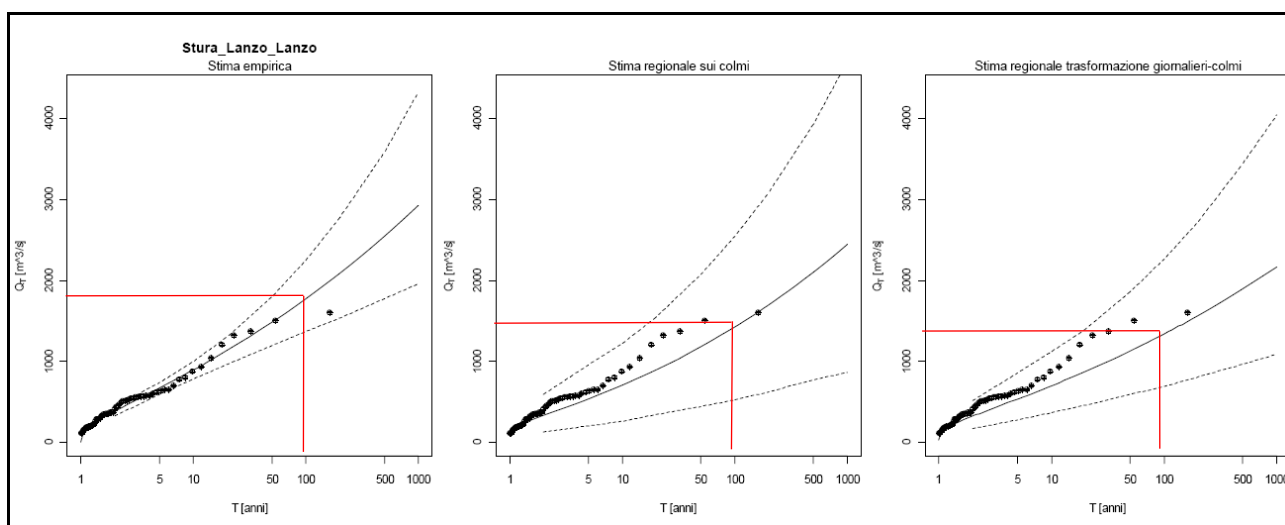
Per permettere l'applicabilità delle numerose regressioni statistiche condotte, sono alla fine dello studio, state prodotte dei diagrammi relativi al moltiplicatore della Portata indice Q_{ind} K_t , e dei colmi di portata Q_t .

Pur con qualche approssimazione grafica tali diagrammi suggeriscono quale possa quindi essere il valore di portata o il K_t in funzione del tempo di Ritorno prescritto per le simulazioni.

2.8.1 Diagrammi per la determinazione del K_t e delle Portate al Colmo.



Diagrammi per la determinazione del K_t



Diagrammi per la determinazione della portata al colmo

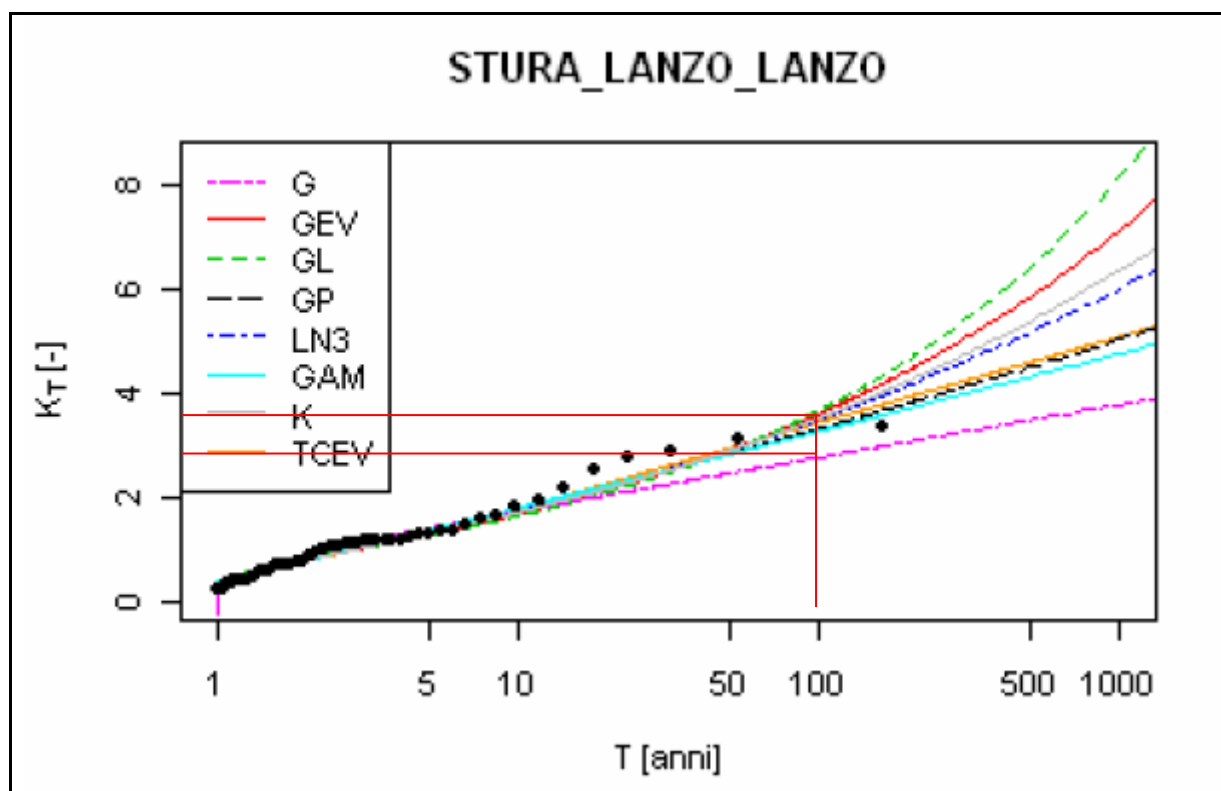


Diagramma di sintesi delle distribuzioni statistiche

Analizzando i diagrammi precedenti della stima empirica, della Stura di Lanzo a Lanzo, in relazione al $T_r = 100$ anni, otteniamo rispettivamente un valore di K_T pari a 3.8 e un valore di portata al colmo pari a circa 1700 mc/s (dato stimato)

Confrontando tale dato con i dati di portata dell'ottobre del 2000 stimati fra 1600 e 2000 mc/s e con il dato di 1600 mc/s del 1947, in base allo studio del politecnico ci si aspetterebbe che i fenomeni alluvionali avvenuti e misurati a Lanzo si attestino intorno a tempi di ritorno di 100 anni o di poco superiori.

Ora se prendiamo il valore di Q_{ind} (pag 80 della pubblicazione) troviamo in tabella una portata indice osservata pari a 478 mc/s, se moltiplichiamo questo valore per il valore di $K_t = 3.8$ otteniamo una portata al colmo di 1816.4 mc/s; questo dato conferma il diagramma della valutazione della portata al colmo sempre relativo alla stima empirica.

Gli stessi dati se osservati e analizzati con i diagrammi successivi (stima regionale sui colmi e stima colmi-giornalieri)

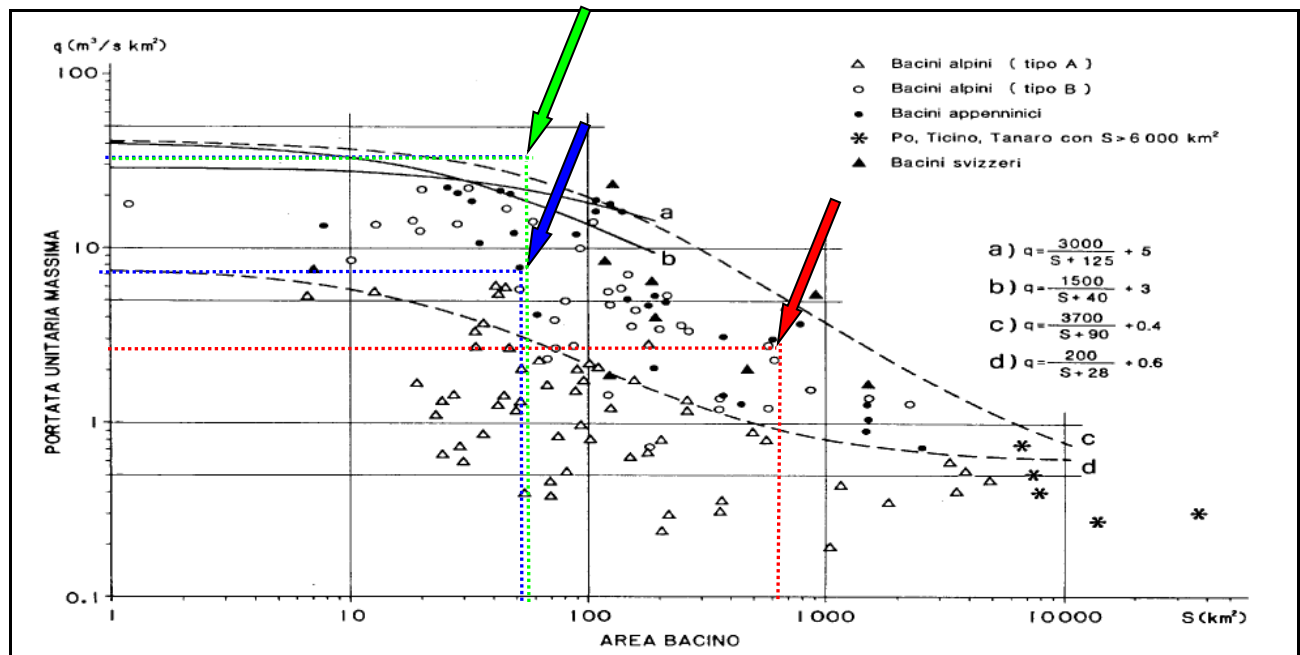
Assumono valori diversi; il K_t diventa 3.2 e i valori di portata diminuiscono a 1200-1300 mc/s per i 100 anni di T_r , portando quindi a definire un T_r di 200 anni al di sopra del quale si colloca l'evento del 2000.

Pertanto moltiplicando il valore di Q_{ind} di 406 mc/s (pag 80 stimato sui colmi) per $K_t 3.2$ otteniamo infatti un valore di portata al colmo ($T_r 100$) anni pari a 1300 mc/s.

Per verificare la portata indice empirica ($Q_{ind} = \text{sommatoria dei dati di } Q_{max} / \text{numero di osservazioni}$)

direttamente anche attraverso i dati disponibili Arpa Piemonte e suoi archivi, otteniamo un valore della Qind pari a 461 mc/s dato che quindi conferma quanto descritto pocanzi.

Fatte queste considerazioni possiamo indicare con buona approssimazione, che per il bacino della Stura di Lanzo chiuso a Lanzo, la portata dei 100 anni si attesta intorno ai 1300 mc/s con un'area di bacino pari a 581 kmq per un contributo $q = 2.23 \text{ mc/s kmq}$



Valori dei Contributi specifici calcolati rispetto a un centinaio di sezioni di chiusura dei corsi d'acqua dell'Italia nord-occidentale e della Svizzera. Sono riportate anche le curve si inviluppo: Formula di DeMarchi, curva a); Formula di Tournon, curva b); Bacini orientati N-S, curva c); Bacini orientati E-O, curva d); (da Anselmo, 1985).

La portata della Stura di Lanzo chiusa a Lanzo Tr 100 $q = 2.23 \text{ mc/s kmq}$ sulle curve di inviluppo (rosso) insieme al dato relativo al T. Tesso Tr 100 $q = 7.6 \text{ mc/s kmq}$ (blu) e ragguagliato con la formulazione Gherardelli- Marchetti in (verde)

Dal diagramma di inviluppo delle portate, si nota sin da subito che i valori ottenuti relativi alla q del Tesso e della Stura seguono esattamente la bisettrice tra le curve c e d dimostrando la congruità dei dati calcolati. Altro metodo di comparazione dei valori per similitudine idrologica e quello che si ottiene con l'utilizzo della correlazione Gherardelli – Marchetti:

$$\frac{q_A}{q_S} = \left(\frac{S_A}{S_S} \right)^{-2/3}$$

Tale metodo prevede di correlare il valore di contributo unitario di portata nella sezione di interesse (q_A) con quello calcolato nella sezione in cui è presente l'idrometro (q_S), in funzione delle superfici sottese dalle due sezioni.

In cui:

q ($m^3/s \text{ km}^2$) ed S (km^2) sono rispettivamente i contributi specifici di piena e la superficie del bacino idrografico;

- S indica le caratteristiche della sezione in cui il valore risulta noto (Stura a Lanzo)

In base dunque alla formulazione Gerardelli -Marchetti il q del tesso chiuso alla centrale a Lanzo si attesterebbe intorno ai 12 $mc/s \text{ km}^2$ valore in ogni caso confrontabile con il valore di contro i 7.6 $mc/s \text{ km}^2$ ottenuto dal modello afflussi – deflussi. (Tr 100 anni). Tale valore inserito nella curva di inviluppo sembrerebbe sovrastimare il dato relativo al contributo specifico unitario di portata portandolo verso la curva “a” tipica dei bacini appenninici dove i contributi di portata sono più rilevanti.

Tempo di ritorno (TR) (anni)	Q (m^3/s)	q ($m^3/s \text{ km}^2$)
Elaborazioni statistiche PAI (1930 – 1994)		
<i>TR 20 anni</i>	1.080	1,86
<i>TR 100 anni</i>	1.590	2,73
<i>TR 200 anni</i>	1.810	3,11
<i>TR 500 anni</i>	2.120	3,65

Tabella delle portate al colmo presso l'idrometrografo di Lanzo e contributi unitari q segnalati nel PAI (piano di assetto idrogeologico) del Bacino della Stura di Lanzo chiuso a Lanzo T.se.

In Conclusione se osseviamo dunque i diversi valori ottenuti, riportandoli sulle curve di Inviluppo possiamo con buoni margini di sicurezza, ritenere che i modelli utilizzati e i risultati ottenuti siano attendibili.

Pertanto i valori di portata da utilizzare nelle successive verifiche idrauliche sono i seguenti:

PONTE COASSOLO	PONTE	
234.83	CIRCONVALLAZIONE	Tr 200 anni
	384.28	VALORE MEDIO mc/s

Tabella 30

3 INDAGINE IDRAULICA (hec-ras)

1 Verifiche idrauliche

1.1.1.1 Procedura di calcolo

HEC-RAS tiene conto delle considerazioni precedentemente svolte e suddivide l'area totale in modo tale che la velocità sia uniformemente distribuita.

Per ogni partizione della sezione il programma calcola, ad ogni iterazione, l'area Ω_j , il perimetro bagnato B_j , il raggio medio idraulico $R_j = \Omega_j / B_j$ e, fornitagli la scabrezza con la n_j di Manning, calcola il coefficiente K_j , utilizzato per tenere conto della capacità di trasporto, applicando la seguente espressione, basata su unità di misura inglesi:

$$K_i = \frac{1.486}{n_i} \cdot \Omega_i \cdot R_i^{\frac{2}{3}}$$

Avendo definito per ogni partizione la propria capacità di trasporto, la portata con cui ciascuna contribuirà, sarà pari a:

$$Q_j = K_j \cdot \sqrt{i_f}$$

ottenuta tenendo conto che:

$$Q_j = \chi \cdot \Omega_j \cdot \sqrt{R_j \cdot i_f}$$

$$\chi = \frac{1}{n_j} R_j^{\frac{1}{6}}$$

Si calcolano poi le stesse grandezze relative all'intera sezione: Ω area e B perimetro bagnati, R raggio idraulico, e quindi si individua il valore di n complessivo attraverso la seguente formula:

$$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (B_i \cdot n_i^{1.5})}{B} \right]^{\frac{2}{3}}$$

dove:

N è il numero delle parti
e quindi i valori:

$$L = \frac{\sum L_i \cdot Q_i}{Q}$$

L lunghezza del tronco:

$$\alpha = \frac{\Omega^2 \sum \frac{K_i^3}{\Omega_i^2}}{K^3}$$

α coefficiente di velocità

La perdita per attrito è valutata, in HEC-RAS, come il prodotto di i_f e L dove i_f è rappresentativo delle perdite per attrito definite secondo la seguente espressione:

$$i_f = \left(\frac{\sum Q_i}{\sum K_i} \right)^2$$

HEC-RAS calcola l'altezza d'acqua in una determinata sezione trasversale per mezzo di una soluzione iterativa delle equazioni del paragrafo precedente, secondo il procedimento descritto nel seguito.

Partendo da una sezione nota, ed assumendo un valore del livello del pelo libero nella sezione successiva, vengono calcolati i predetti parametri.

I valori trovati vengono inseriti nell'equazione di equilibrio energetico lasciando la **Z** come incognita. Trovato il nuovo valore del livello **Z_c** lo si confronta con quello ipotizzato **Z_{ip}**, se la differenza, cioè l'errore, è maggiore di 0.003 m si corregge opportunamente la **Z_{ip}** e si ripete il procedimento. Il sistema converge rapidamente ed il più delle volte non raggiunge il numero massimo di iterazioni che, di default, è 20 (può essere aumentato fino a 40).

Si ricorda che le assunzioni effettuate sono:

moto permanente,
moto gradualmente variato,
flusso monodimensionale,
canale con piccole pendenze (<10%).

Metodo della conservazione della quantità di moto

Quando il regime della corrente passa da veloce a lento o viceversa, come in prossimità di ponti, traverse o brusche variazioni di pendenza o, in caso di confluenze di corsi d'acqua, non è possibile applicare il predetto procedimento. Si utilizzano allora equazioni empiriche opportunamente definite oppure l'equazione di conservazione della quantità di moto.

L'equazione della quantità di moto deriva dalla relazione di Newton per la quale la Forza è data dal prodotto tra la massa e l'accelerazione.

Applicando questa espressione tra due sezioni si ottiene:

$$p_1 - p_2 + W_x - F_f = \rho \cdot Q \cdot \Delta U$$

La forza della pressione idrostatica nella direzione del moto è calcolata come:

$$p = \gamma \cdot \Omega_i \cdot Y_i \cdot \cos \theta$$

Assumere la distribuzione della pressione idrostatica è possibile solo per pendenze ridotte in tal senso sono considerate valide solo quelle inferiori al 10%.

Si precisa che:

Y_i è la profondità media nella sezione considerata

Ω area bagnata della sezione trasversale

W_x è la componente della forza peso nella direzione del moto

$$W_x = \gamma \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} L \cdot \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{z_1 - z_2}{L} = S_0$$

L distanza tra le sezioni trasversali nella direzione del moto

S_0 pendenza del canale

z_i differenza di quota tra le sezioni

F_f indica la forza di attrito lungo il fondo e le pareti dell'alveo:

$$F_f = \tau \cdot B \cdot L$$

dove:

B : contorno bagnato medio tra le due sezioni

τ : tensione di attrito (shear stress): $\tau = \gamma \cdot R \cdot i$

R : raggio idraulico medio tra le due sezioni

i : pendenza della linea dei carichi.

quindi:

$$F_f = \gamma \cdot \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} i \cdot L.$$

Essendo la forza di inerzia posseduta dal liquido pari a :

$$\rho \cdot Q \cdot \Delta U$$

Q portata

ρ densità dell'acqua

ΔU_x cambiamento di velocità tra le due sezioni nella direzione del moto

è possibile esprimere la seguente eguaglianza:

$$m \cdot a = \rho \cdot Q \cdot \Delta U_x$$

$$\text{dove: } \Delta U_x = \beta_2 \cdot U_2 - \beta_1 \cdot U_1$$

β è un coefficiente correttivo che tiene conto del fatto che la velocità non è costante.

Per cui è possibile riscrivere l'equazione precedente come:

$$m \cdot a = \frac{Q \cdot \gamma}{g} (\beta_2 \cdot U_2 - \beta_1 \cdot U_1)$$

infine l'equazione della quantità di moto diventa:

$$p_1 - p_2 + W_x - F_f = \rho \cdot Q \cdot (\beta_2 \cdot U_2 - \beta_1 \cdot U_1)$$

Sfruttando questo equilibrio il programma perviene alla definizione dei livelli in tutte le sezioni del corso d'acqua.

3.1 Metodologia di indagine

Come già evidenziato in premessa, i tronchi d'alveo che devono essere verificati sono DUE:

- Tronco d'alveo presso il ponte detto di Coassolo che attraversa il T. Tesso. Per la verifica della traversa di derivazione della roggia dei Mulini. L'opera in questione sarà la ristrutturazione della traversa stessa e l'inserimento in traversa della scala di risalita della fauna ittica.
- Tronco d'alveo dell'omonimo torrente dopo la confluenza del tessuolo tratto a monte del ponte della circonvallazione.

Per procedere con la modellistica nei due punti anzidetti sono stati condotti i rilievi con l'ausilio di stazione totale e laser scanner, nonché volo fotogrammetrico.

tutti i rilievi sono stati ricondotti in quota ortometrica su livello del mare facendo riferimento al caposaldo presente a Lanzo sul ponte della circonvallazione con quota 501.68 m.

Attraverso tali rilievi si sono costruite le geometrie per i dati di ingresso del modello.

L'analisi idraulica è stata condotta in condizioni di moto permanente mediante applicazione del codice numerico HEC-RAS, di provenienza statunitense ed ormai largamente utilizzato anche nel nostro Paese.

Si sono rilevate le sezioni fondamentali, numerate da monte verso valle, come richiede il modello.

Per le finalità del presente studio è stato valutato il comportamento idraulico di due tronchi d'alveo con le seguenti condizioni al contorno:

1. Analisi dello stato attuale (ante operam), a fronte del transito della portata liquida duecentennale
Per il tronco a monte del ponte di coassolo e a monte del ponte della circonvallazione
2. Analisi dello stato di progetto (post operam), a fronte del transito della portata liquida duecentennale
Per il tronco a monte del ponte di coassolo e a monte del ponte della circonvallazione

La simulazione è stata condotta considerando coefficienti di resistenza al moto riconducibili a situazioni di macroscabrezza.

I profili e le tabelle per i differenti casi esaminati, sono riportate di seguito, le sezioni, sono riportate in allegato.

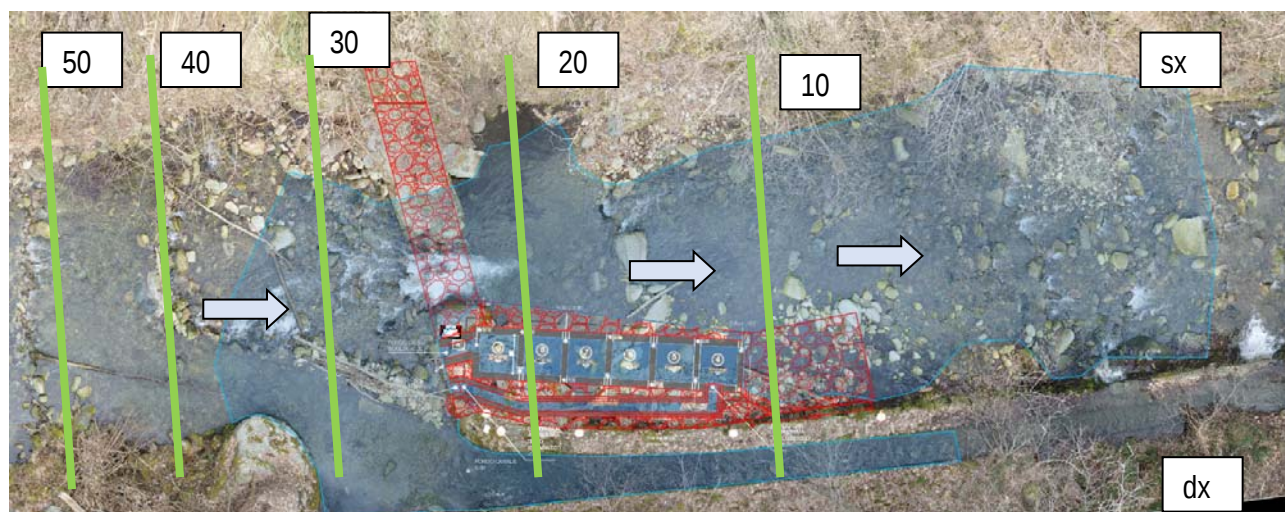
1.2 Condizioni al contorno utilizzate

Per la modellazione di moto permanente con l'ausilio del metodo di calcolo HEC-RAS descritto in precedenza, i parametri utilizzati sono i seguenti:

- ❑ Condizione di monte pendenza 0.06
- ❑ condizione e di valle: pendenza della livelletta, 0.06 velocità critica o Know Water (dove conosciuto o per derivazione di altra modellazione
- ❑ Valore di scabrezza: si è utilizzato il valore di Manning, pari a 0.035 prima degli interventi di manutenzione, poi valori variabili PARI A 0.03; Valore di scabrezza delle sponde e del piano campagna 0.05
- ❑ Condizioni di moto misto laminare e turbolento
- ❑ Per le portate fare riferimento alla tabella 30 pagina 48

3.2 Analisi dello stato attuale (ante operam) –tronco a monte del ponte di coassolo transito portata liquida (234 mc/s);

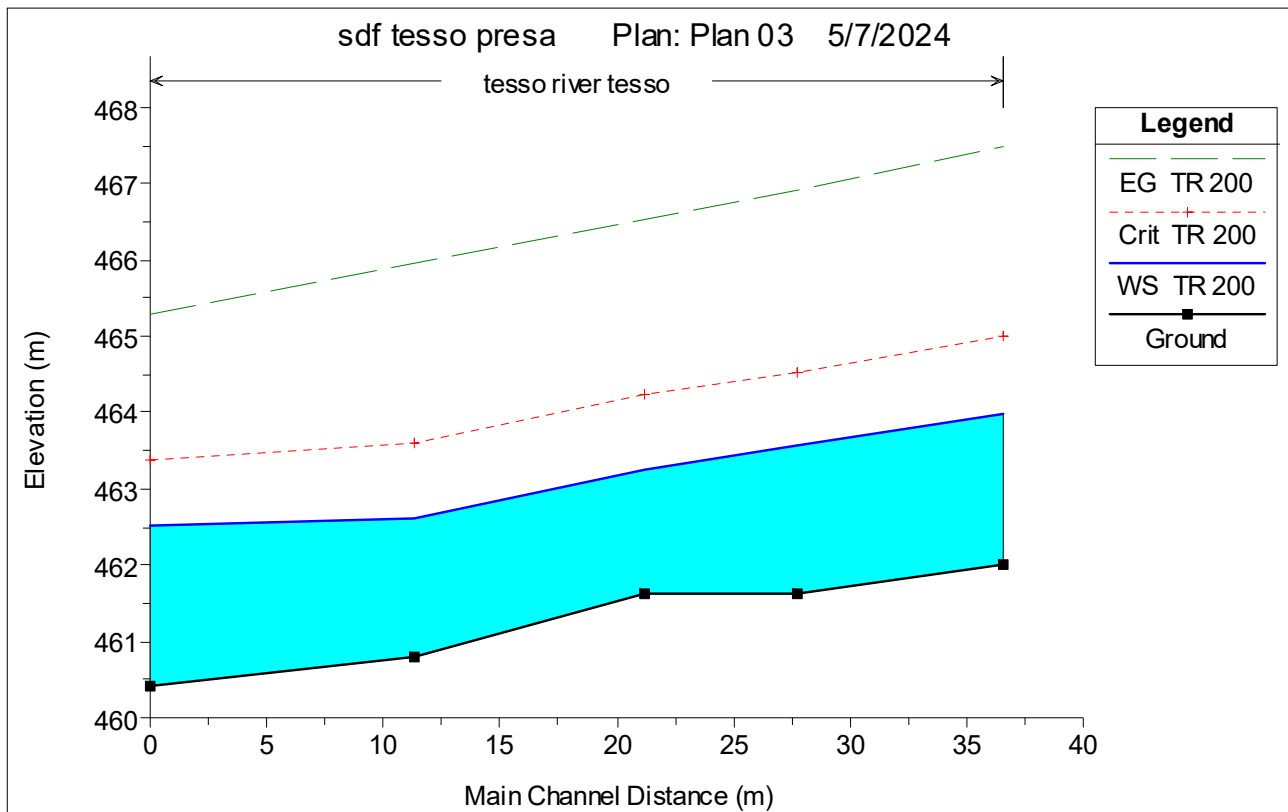
estratto planimetrico del modello presso l'opera di presa della roggia dei mulini



La seguente tabella riporta i valori idraulici di interesse: Plan 04 progetto e Plan 03 stato di fatto

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
river	50	TR 200	Plan 04	234.00	462.01	463.97	465.00	467.50	0.060026	8.31	28.14	20.73	2.28
tesso													
river	50	TR 200	Plan 03	234.00	462.01	463.97	465.00	467.50	0.060026	8.31	28.14	20.73	2.28
tesso													
river	40	TR 200	Plan 04	234.00	461.61	463.57	464.52	466.92	0.058712	8.11	28.84	22.04	2.26
tesso													
river	40	TR 200	Plan 03	234.00	461.61	463.57	464.52	466.92	0.058712	8.11	28.84	22.04	2.26
tesso													
river	30	TR 200	Plan 04	234.00	461.61	463.27	464.24	466.52	0.055403	7.98	29.33	21.88	2.20
tesso													
river	30	TR 200	Plan 03	234.00	461.61	463.26	464.23	466.52	0.055334	7.99	29.29	21.86	2.20
tesso													
river	20	TR 200	Plan 04	234.00	460.81	462.71	463.68	465.98	0.053711	8.00	29.25	20.15	2.12
tesso													
river	20	TR 200	Plan 03	234.00	460.81	462.62	463.61	465.97	0.052998	8.12	28.83	19.95	2.16
tesso													
river	10	TR 200	Plan 04	234.00	460.41	462.52	463.39	465.34	0.037796	7.44	31.46	19.05	1.85
tesso													
river	10	TR 200	Plan 03	234.00	460.41	462.53	463.39	465.30	0.036806	7.37	31.74	19.09	1.83
tesso													

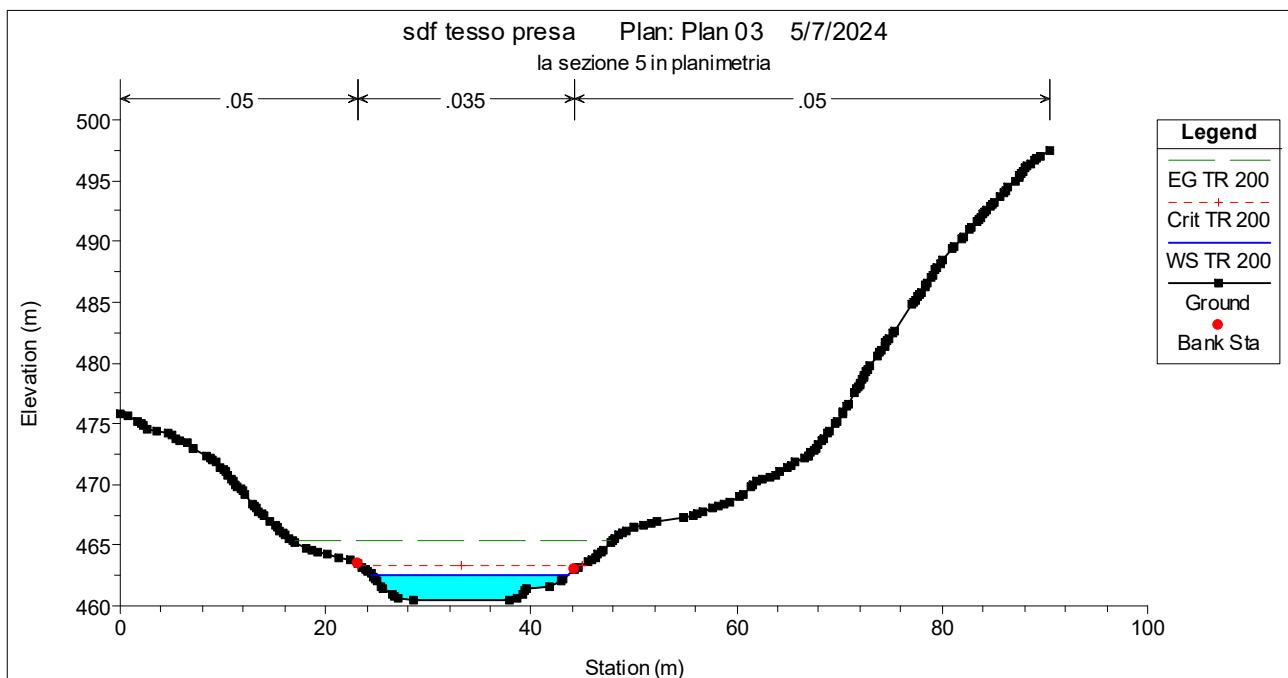
Profilo:

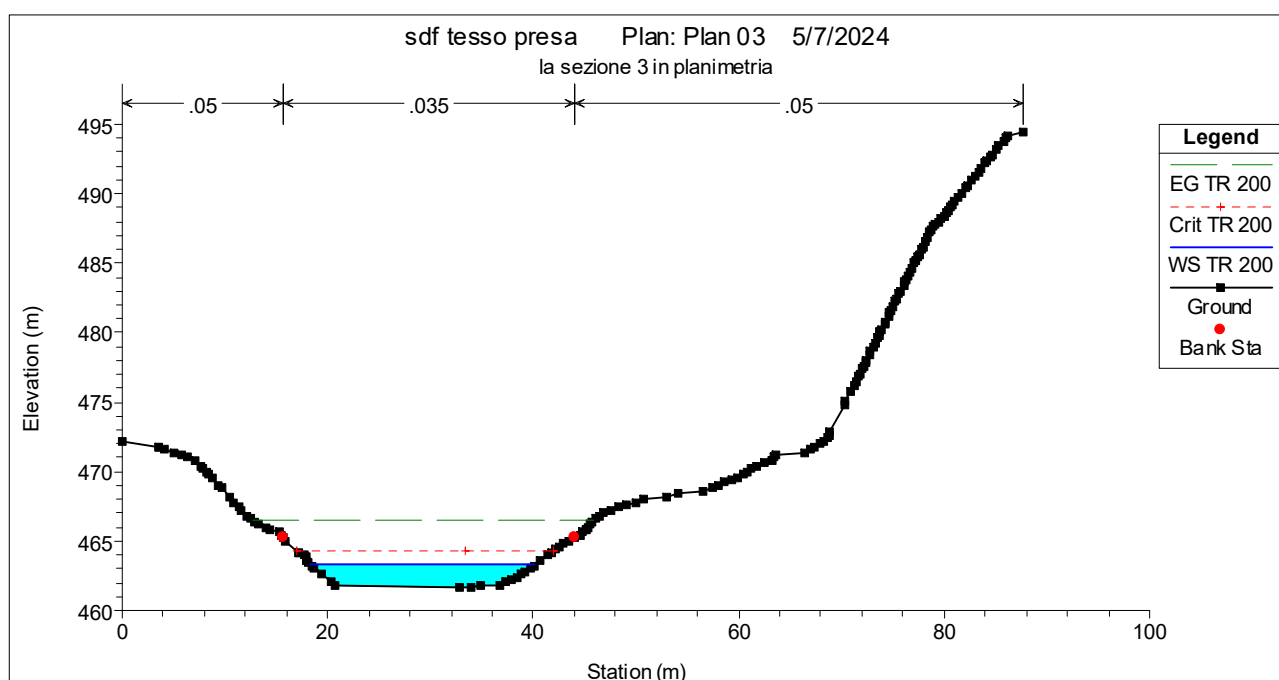
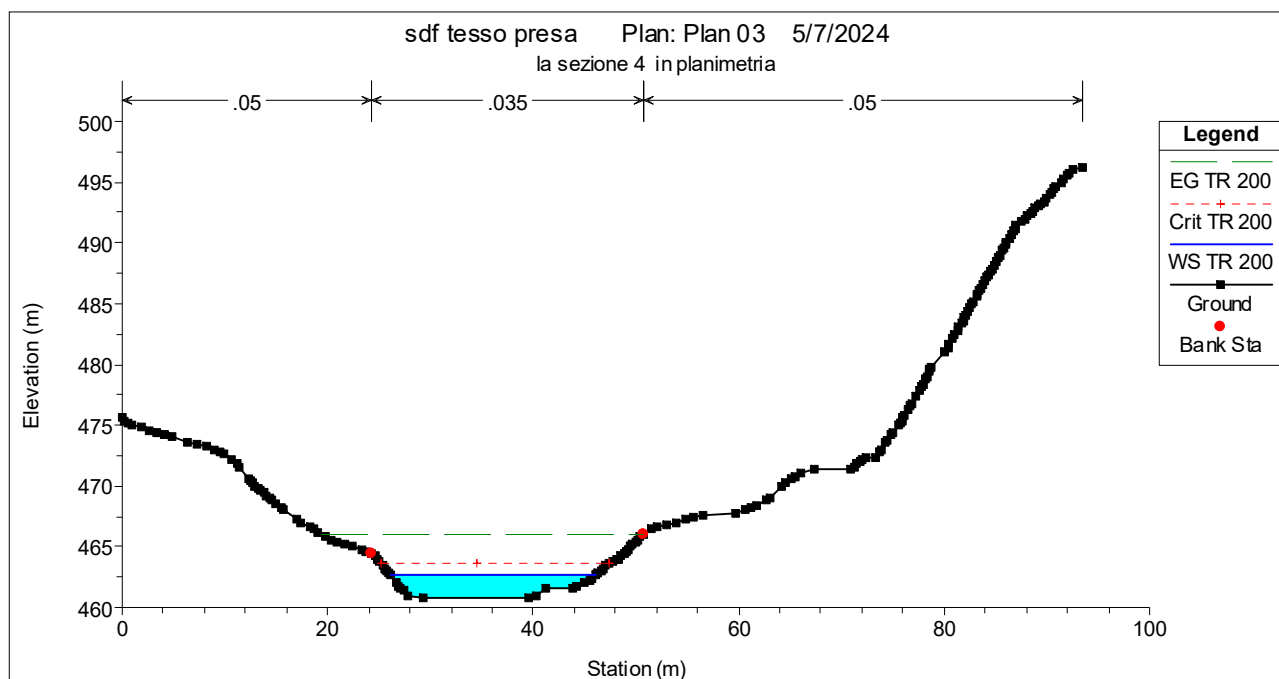


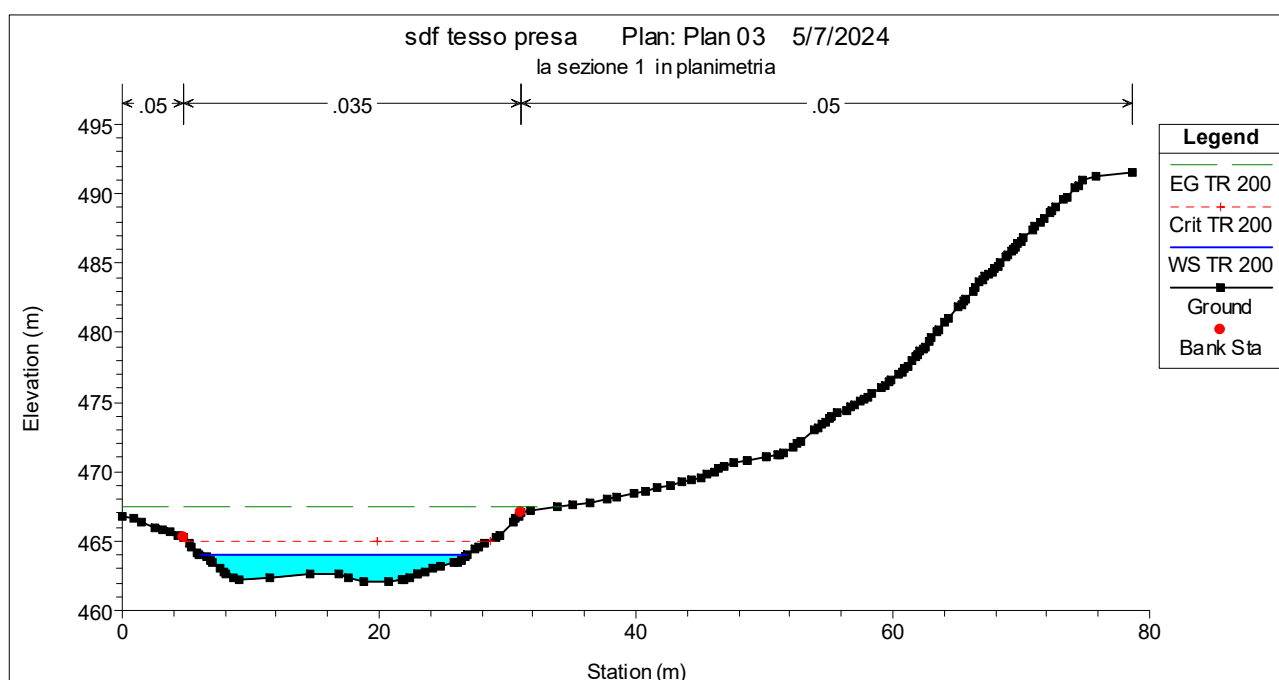
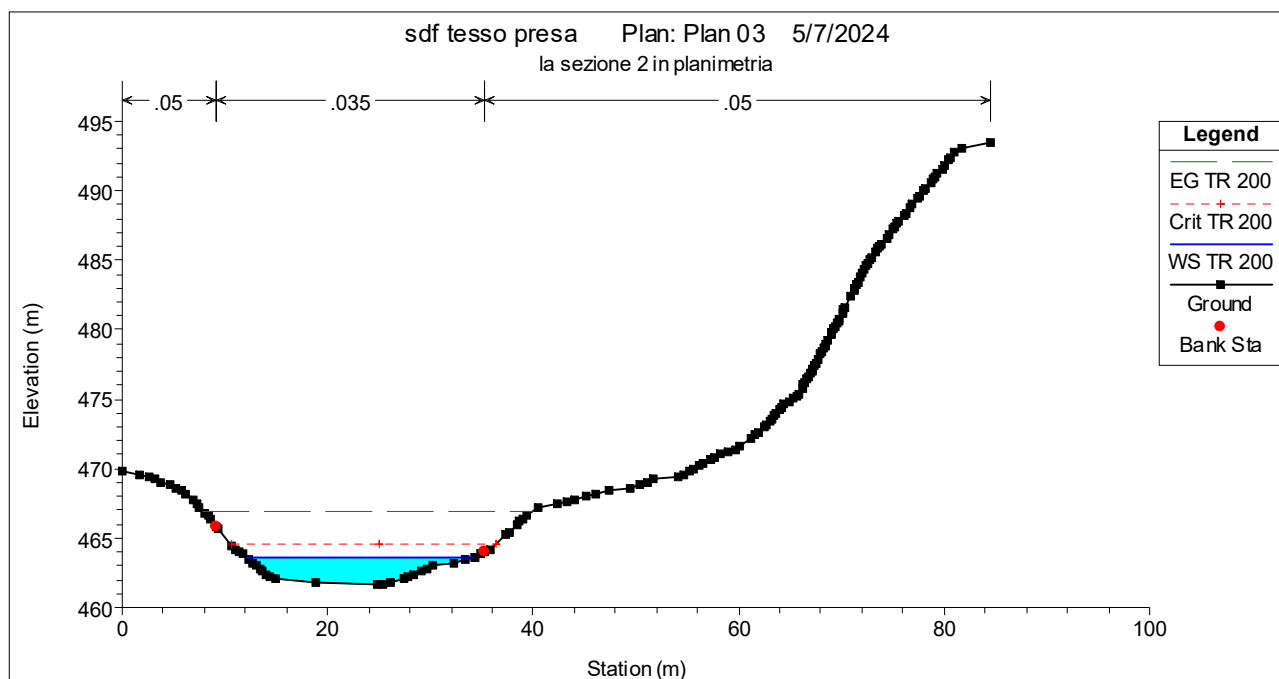
Da cui si osserva che ;

- La portata di riferimento è costantemente contenuta nell'ambito dell'alveo e transita senza fuoriuscite;
- Le velocità medie sono tali da indurre fenomeni di erosione di fondo e al piede delle sponde non protette da opere di difesa.

Le sezioni:

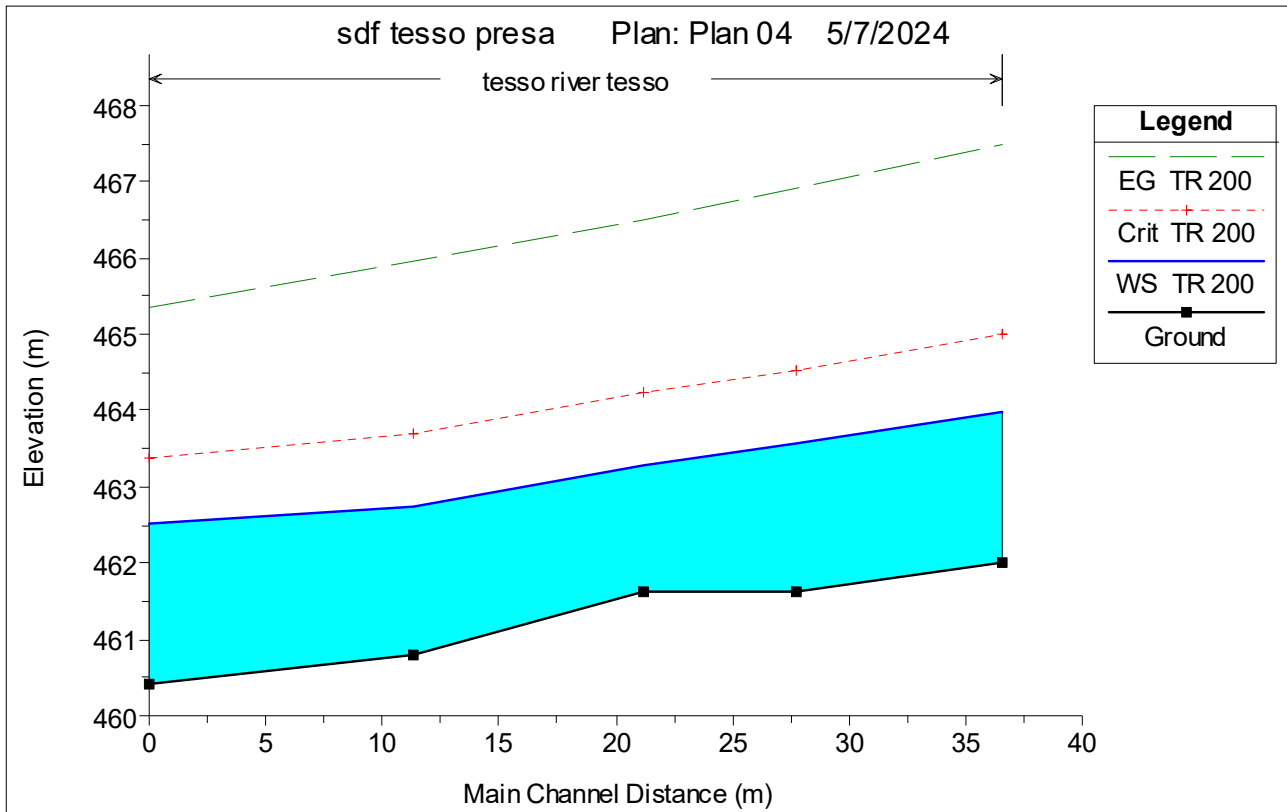






3.3 *Analisi dello stato di progetto (post operam) tronco a monte del ponte di coassolo transitato portata liquida (234 mc/s);*

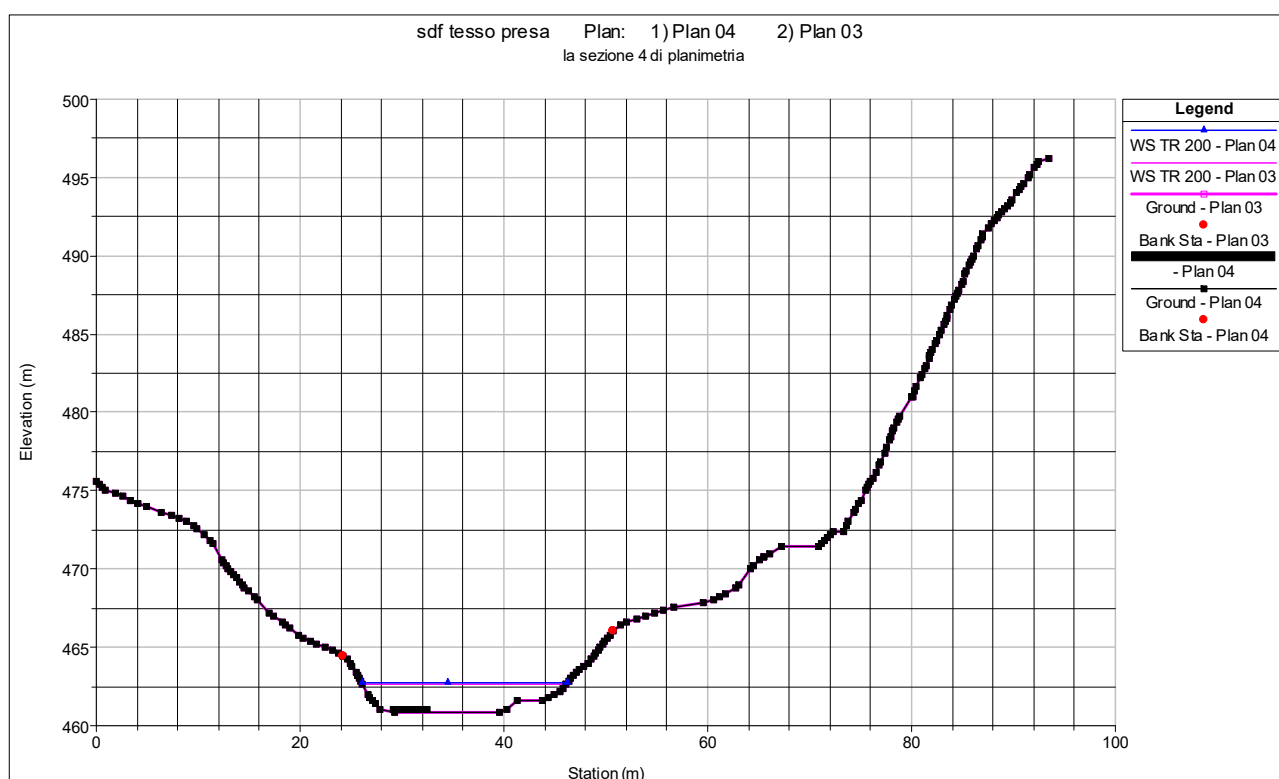
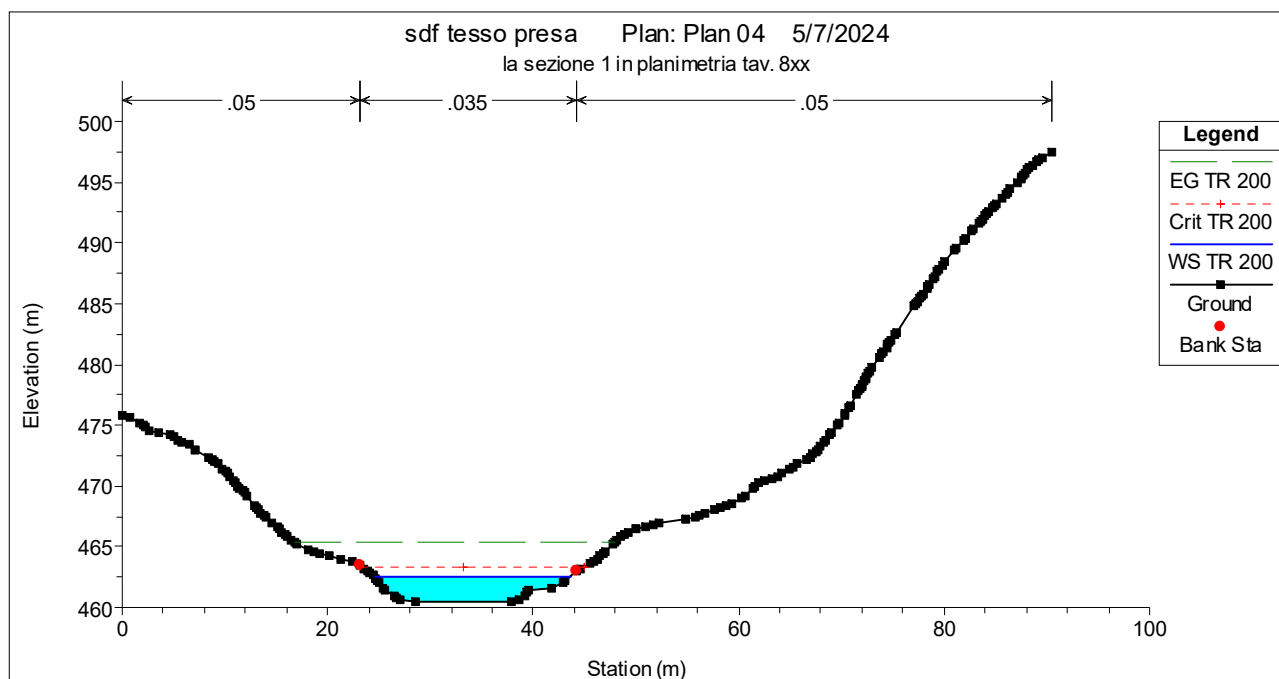
Profilo:

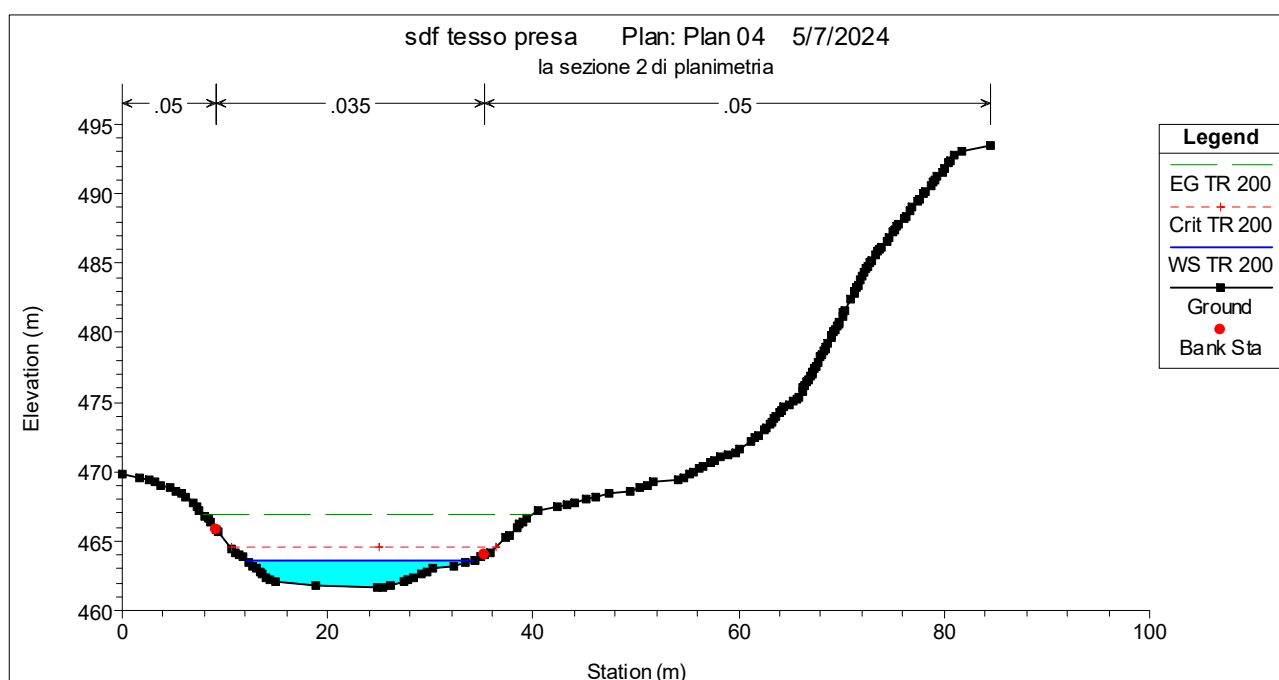
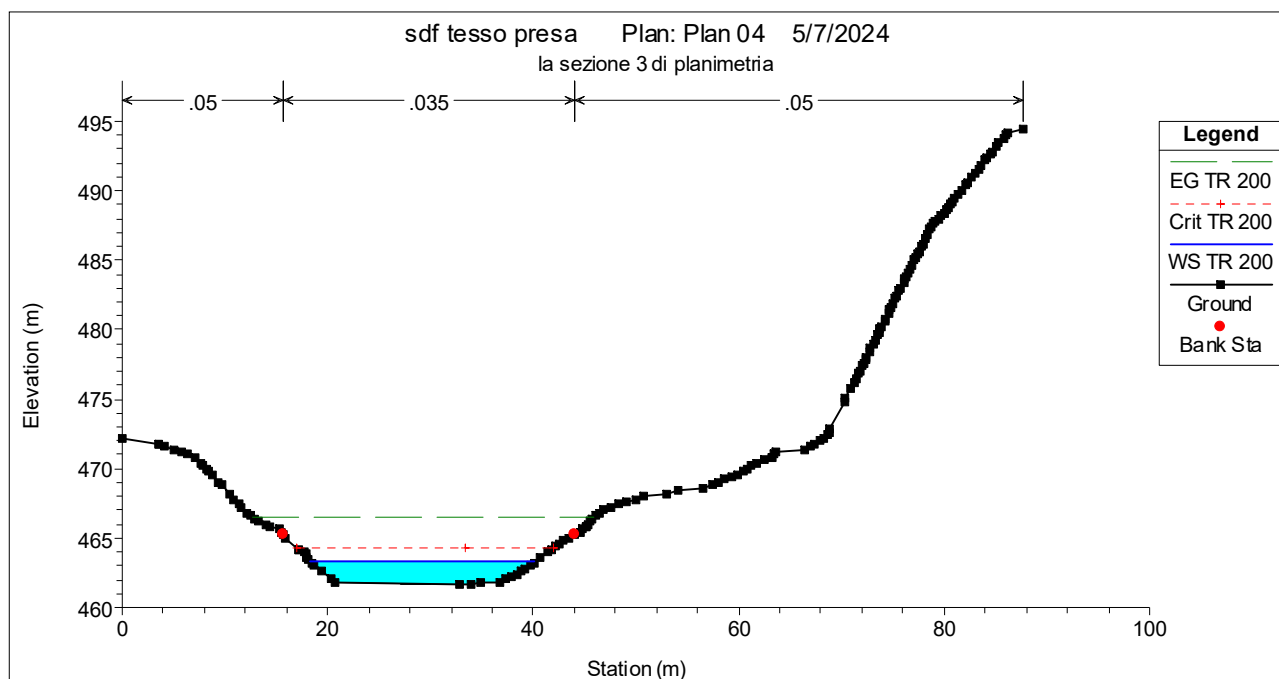


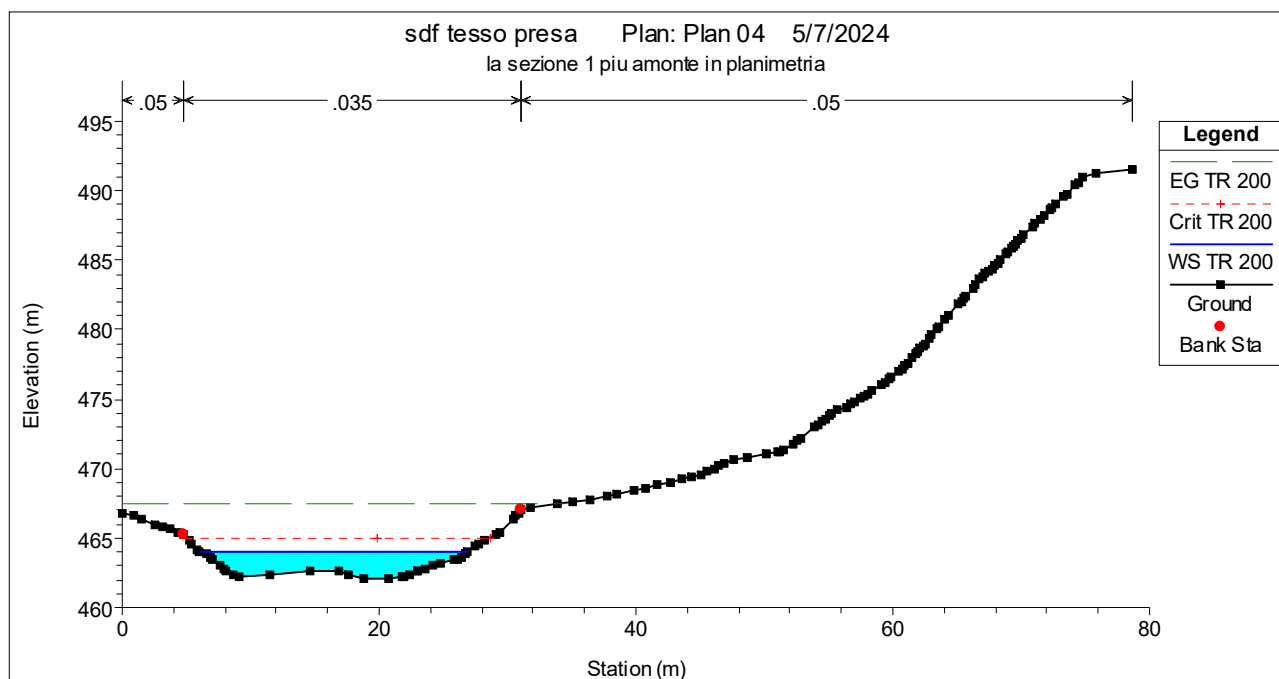
Da cui si osserva che ;

- La portata di riferimento è costantemente contenuta nell'ambito dell'alveo e transita senza fuoriuscite;
- Le velocità medie sono tali da indurre fenomeni di erosione di fondo e al piede delle sponde non protette da opere di difesa. Pertanto la traversa e la scala di risalita devono essere adeguatamente fondate.
- Le opere realizzate non influiscono in maniera sensibile sul regime della corrente e sul comportamento idraulico del corso d'acqua

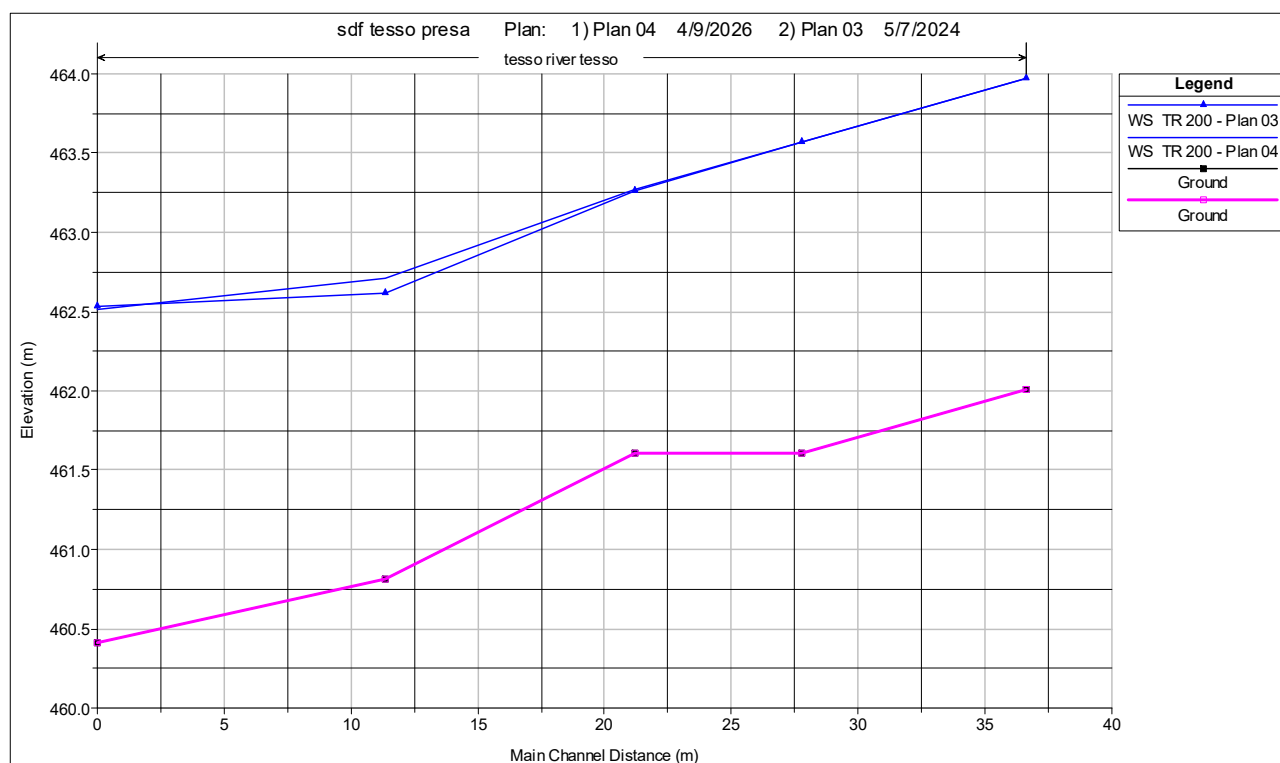
Le sezioni:







PROFILO DI CONFRONTO



4 RAMPA DI RISALITA DELL'ITTIOFAUNA

4.1 Introduzione

Il presente capitolo è dedicato alla progettazione della rampa di risalita dell'ittiofauna in corrispondenza dell'opera di presa di cui si prevede la rifunzionalizzazione. L'attuale proposta di variante della scala si inserisce in funzione di criticità emerse durante sopralluoghi successivi, pertanto è stato deciso di variare la tipologia e la disposizione della scala all'interno dell'alveo affinché si raggiungesse la completa funzionalità del nodo idraulico.

4.2 Progettazione della rampa di risalita

La progettazione della rampa di risalita, che si sviluppa nel rispetto dei contenuti e delle indicazioni delle Linee Guida regionali, si articola nei seguenti step:

1. Individuazione delle condizioni al contorno che determinano in modo vincolante l'impostazione della soluzione progettuale;
2. Individuazione della tipologia di rampa ai sensi dei criteri contenuti del Manuale Regionale recante "Linee guida per la progettazione e verifica dei passaggi per pesci"
3. Dimensionamento della rampa secondo quanto contenuto nelle citate Linee Guida.

4.2.1 Localizzazione della rampa

La rampa sarà localizzata in prossimità dell'opera di presa, in corrispondenza della porzione di monte dello sfioratore delle portate eccedenti presente in sponda destra del ramo sinistro del T. Tesso che alimenta il Canale di dei Mulini.

Gli estremi della rampa presentano le seguenti coordinate (proiezione UTM, zona 32N, datum WGS84)

Estremo di monte:

E = 379549 m ; N = 5016176 m

Estremo di valle:

E = 379560 m ; N = 5016176 m

4.2.2 Individuazione della tipologia di rampa

Si valuta innanzitutto la possibilità di realizzare un passaggio di tipo naturalistico.

Attualmente il tratto di alveo nell'intorno della traversa dell'opera di presa del canale irriguo, ove si intende realizzare la rampa di risalita, presenta una larghezza di circa 15 m e pendenza media prossima al 2%.

L'andamento planimetrico risulta a canale singolo, alluvionale a sedimenti grossolani-misti, a forma rettilinea – sinuosa, con sedimenti misti (massi, ciottoli e ghiaie), a letto piano con unità di fondo poco definite, barre imposte, *Pool* imposte indotte da ostruzione da parte di massi o materiale legnoso di grosse dimensioni, occasionalmente anche *Rapid* (rapida a scivolo), in corrispondenza di sporadici affioramenti del substrato roccioso, e senza canali secondari.

Data l'impossibilità di realizzare una rampa tipo 'Bottom' a tutta larghezza d'alveo in quanto sarebbero richieste ingenti opere di consolidamento affinché la struttura possa reggere, in maniera estesa e diffusa (la

rampa presenterebbe lunghezza pari a circa 40 m e larghezza di circa 15 m) alle sollecitazioni a cui sarebbe sottoposta in caso di piena ($T_r = 200$ anni, $Q_{200} = 480$ mc/s circa), e considerando che topograficamente non è proponibile nemmeno la tipologia del 'canale bypass', si valuta la tipologia 'fish ramp', realizzabile su porzione dell'alveo anziché a tutta larghezza.

4.3 Comunità ittica di riferimento

Durante le operazioni di recupero dell'ittiofauna sono state rinvenute le seguenti specie:

<i>Specie</i>	<i>Numero esemplari</i>
Vairone (Telestes souffia)	50
Scazzone (Cottus gobio)	15
Barbo canino (Barbus meridionalis caninus)	3
Trota fario (Salmo trutta)	3
Trota iridea (Oncorhynchus mykiss)	1

La progettazione della fish ramp è stata sviluppata assumendo come specie guida lo Scazzone (Cottus gobio), considerato il taxon maggiormente limitante in ragione della ridotta capacità natatoria, del comportamento bentonico e della necessità di disporre di rifugi e discontinuità idrauliche lungo il percorso di risalita.

4.4 Descrizione della soluzione progettuale

La struttura prevista consiste in una fish ramp naturalistica sviluppata all'interno del sedime disponibile in sponda, con andamento planimetrico curvilineo a "U".

Tale configurazione permette di incrementare lo sviluppo longitudinale dell'opera contenendo il dislivello effettivamente superato e limitando l'occupazione di nuove superfici.

La rampa presenta le seguenti caratteristiche principali:

<i>Parametro</i>	<i>Valore</i>
Tipologia	Fish Ramp naturalistica
Larghezza utile	1.5 m
Lunghezza complessiva	circa 25 m
Dislivello superato	circa 0,85 m
Pendenza media	3,5 %
Portata principale in rampa	150 l/s
Portata di richiamo	20 l/s
Deflusso Ecologico complessivo	170 l/s

La portata ecologica viene ripartita in:

- 150 l/s destinati all'alimentazione della fish ramp;
- 20 l/s destinati ad un rilascio secondario di richiamo in prossimità dell'imbocco della rampa.

La corrente di richiamo consente di incrementare l'attrattività del dispositivo senza aumentare le velocità interne alla struttura e senza modificare la morfologia della pozza esistente a valle della traversa.

4.5 Caratteristiche costruttive

La fish ramp viene realizzata mediante struttura a scogliera in pietrame naturale.

La stabilità dell'opera è affidata ad una scogliera portante costituita da massi ciclopici ammorsati nel piano di posa.

La sezione trasversale viene modellata attraverso una graduale riduzione della pezzatura dei materiali verso l'asse della rampa, formando una cunetta centrale di magra.

La composizione granulometrica prevista è indicativamente la seguente:

Massi strutturali

- diametro medio 50÷80 cm;
- funzione portante e dissipativa.

Pietrame intermedio

- diametro medio 20÷50 cm;
- funzione di raccordo e modellazione della cunetta.

Ciottolame superficiale

- diametro medio 8÷20 cm;
- funzione ecologica e di incremento della macro-scabrezza.

Al termine della posa è previsto il lavaggio del materiale al fine di eliminare i fini e mantenere aperti gli interstizi tra gli elementi lapidei.

La disposizione dei massi viene effettuata in modo irregolare e sfalsato, evitando allineamenti trasversali continui e favorendo la formazione di:

- micro-rifugi;
- aree a bassa velocità;
- piccole pozze;
- corridoi preferenziali di risalita.

4.6 Verifiche idrauliche

La verifica idraulica è stata effettuata mediante modellazione numerica con il software HEC-RAS.

La fish ramp è stata schematizzata come canale equivalente avente medesima lunghezza, pendenza, dislivello e portata della configurazione reale.

Per simulare la presenza dei massi principali previsti in progetto sono stati inseriti elementi di ostruzione all'interno delle sezioni di calcolo.

Le simulazioni sono state eseguite sia in regime subcritico sia in modalità Mixed Flow.

I risultati ottenuti risultano sostanzialmente coincidenti e confermano il funzionamento dell'opera in regime subcritico.

I principali parametri idraulici risultano:

<i>Parametro</i>	<i>Valore</i>
Portata	0,15 m ³ /s
Tirante medio	0,25÷0,26 m
Velocità media	0,70÷0,80 m/s
Velocità massime locali	circa 0,90 m/s
Numero di Froude	0,55÷0,65

I valori di Froude risultano costantemente inferiori all'unità, evidenziando condizioni di moto subcritico lungo l'intero sviluppo della rampa.

7. Compatibilità con la fauna ittica

Le condizioni idrauliche simulate risultano compatibili con la risalita delle specie rinvenute durante il recupero fauna.

Particolare attenzione è stata rivolta allo Scazzone (*Cottus gobio*), specie bentonica caratterizzata da limitata capacità natatoria.

La presenza della macro-scabrezza prevista in progetto permette la formazione di zone di rifugio e di corridoi a velocità ridotta non rappresentabili integralmente nel modello monodimensionale, ma essenziali per la progressione della specie lungo il percorso.

La rampa non è pertanto assimilabile ad un canale uniforme, bensì ad una successione di microhabitat caratterizzati da differenti condizioni di velocità e profondità.

Tale configurazione risulta favorevole anche per vairone, barbo canino e trota fario, consentendo la risalita dell'intero popolamento ittico presente nel tratto di intervento.

5 CONCLUSIONI

L'analisi idrologica porta all'individuazione delle portate di riferimento per il bacino del T. Tesso. Riferite a tempo di ritorno duecentennale esse sono:

Sintesi dei valori massimi di portata ottenuti dalle diverse simulazioni				
durata critica		PONTE COASSOLO	PONTE CIRCON.	
5 ore		238.3	385.58	ietogrmma a scroscio finale
3 ore		187.14	303.32	ietogrmma rettangolare
8-10 ore		280.1	454.2	ietogramma HUFF
3 ore		231.8	380.41	ietogramma CHICAGO

tc		236.82	397.89	valori metodo razionale
		234.83	384.28	VALORE MEDIO
sup bacino		27	43.8	
contributo unitario mc/s*kmq		8.70	8.77	

Q = 234.83 sezione corrispondente al Ponte di Coassolo (bacino del T. Tesso chiuso con sup, 26.5 kmq)

Q = 384.28 sezione corrispondente al bacino del T. Tesso a valle della confluenza con il bacino del T. Tessuolo con sup, 43.8 kmq)

L'analisi idraulica invece mette in luce una sostanziale adeguatezza delle dimensioni delle sezioni di deflusso al convogliamento delle portate, sia nello scenario ante che in quello post operam.

La realizzazione degli interventi, sono come descritto dettagliatamente in relazione illustrativa, volti al ripristino della continuità longitudinale tramite l'inserimento di scala di risalita presso la sezione 3 in corrispondenza della traversa esistente da ristrutturare. Qui come ci si poteva aspettare, visto l'esiguo ingombro in alveo, le condizioni post operam variano di pochi cm, in considerazione comunque delle portate in gioco, e della velocità della corrente, (decisamente importante) è necessario ammorsare il manufatto idraulico su solide fondazioni e il pietrame deve essere cementato.

In merito alla sola fish ramp, dove si allegano le verifiche idrauliche per la portata del DE, La soluzione proposta consente di sostituire il precedente passaggio tecnico con una fish ramp naturalistica pienamente integrata nel contesto fluviale.

Le verifiche idrauliche effettuate evidenziano condizioni di moto subcritico, tiranti e velocità compatibili con le specie ittiche presenti e adeguata funzionalità del dispositivo.

La struttura proposta garantisce la continuità ecologica del corso d'acqua, la compatibilità con il Deflusso Ecologico previsto e il mantenimento delle caratteristiche morfologiche esistenti dell'alveo immediatamente a valle della traversa.

Il tecnico

Dott. For. Carlo Grosso Nicolini Carlo

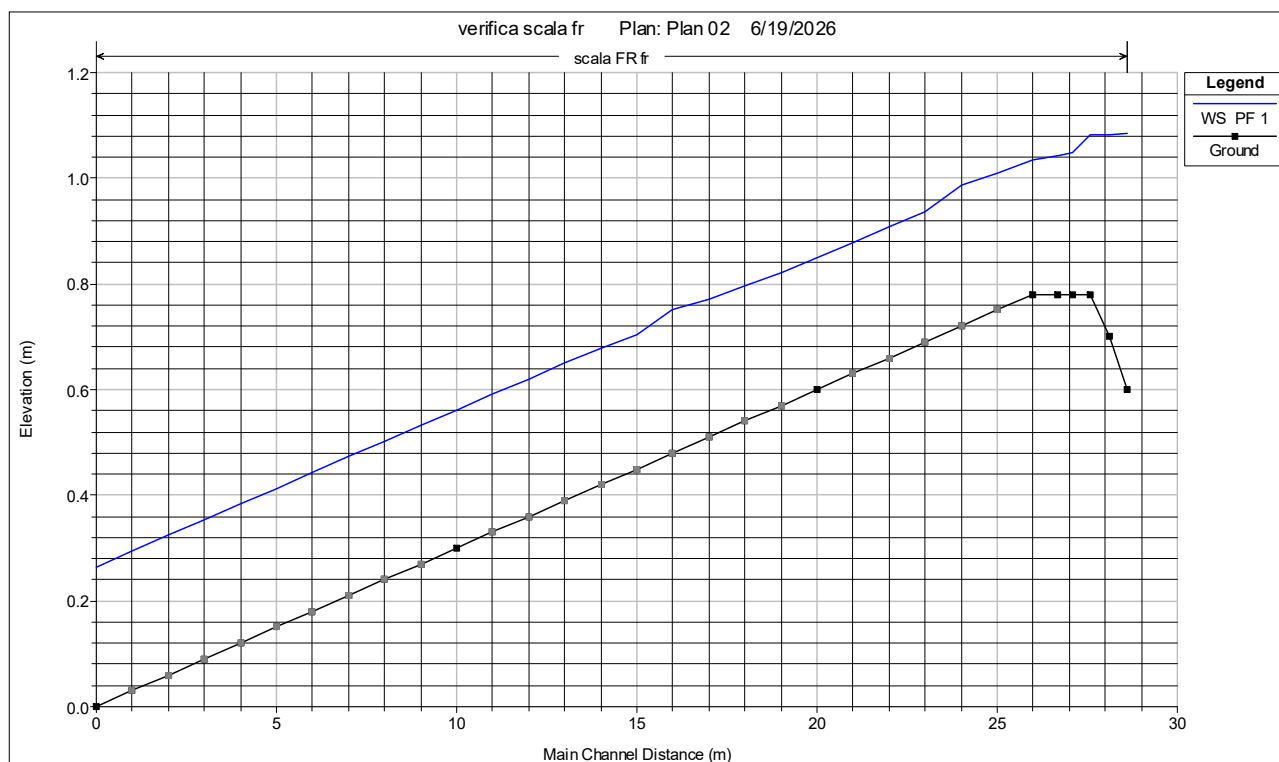
6 i risultati della modellazione idraulica riferita alla sola scala di risalita:

si premette che per simulare la presenza dei bulders all'interno della scala nelle sezioni sono stati introdotti degli ostacoli che schematizzano tale effetto.

tabella

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
fr	90	PF 1	0.15	0.60	1.08		1.08	0.000165	0.09	1.58	5.07	0.05
fr	80	PF 1	0.15	0.70	1.08		1.08	0.000221	0.11	1.34	4.96	0.07
fr	70	PF 1	0.15	0.78	1.08		1.08	0.000281	0.13	1.16	4.84	0.08
fr	60	PF 1	0.15	0.81	1.05		1.08	0.008357	0.78	0.19	0.82	0.51
fr	50	PF 1	0.15	0.81	1.04		1.08	0.008994	0.80	0.19	0.81	0.53
fr	40	PF 1	0.15	0.78	1.04		1.07	0.029326	0.77	0.20	1.41	0.64
fr	38.333*	PF 1	0.15	0.75	1.01		1.04	0.026530	0.75	0.20	1.42	0.61
fr	36.667*	PF 1	0.15	0.72	0.99		1.01	0.021614	0.70	0.22	1.43	0.56
fr	35.000*	PF 1	0.15	0.69	0.94		0.98	0.043589	0.91	0.16	1.30	0.77
fr	33.333*	PF 1	0.15	0.66	0.91		0.94	0.031008	0.73	0.19	1.40	0.60
fr	31.667*	PF 1	0.15	0.63	0.88		0.91	0.030111	0.72	0.20	1.40	0.60
fr	30	PF 1	0.15	0.60	0.85		0.88	0.028091	0.71	0.20	1.40	0.58
fr	29.000*	PF 1	0.15	0.57	0.82		0.85	0.027676	0.70	0.20	1.41	0.57
fr	28.000*	PF 1	0.15	0.54	0.80		0.82	0.026648	0.69	0.20	1.41	0.56
fr	27.000*	PF 1	0.15	0.51	0.77		0.80	0.024263	0.67	0.21	1.42	0.54
fr	26.000*	PF 1	0.15	0.48	0.75		0.77	0.020618	0.63	0.22	1.44	0.50
fr	25.000*	PF 1	0.15	0.45	0.70		0.74	0.040420	0.88	0.17	1.32	0.74
fr	24.000*	PF 1	0.15	0.42	0.68		0.71	0.028446	0.75	0.20	1.42	0.62
fr	23.000*	PF 1	0.15	0.39	0.65		0.68	0.028509	0.75	0.20	1.42	0.62
fr	22.000*	PF 1	0.15	0.36	0.62		0.65	0.028582	0.75	0.20	1.42	0.62
fr	21.000*	PF 1	0.15	0.33	0.59		0.62	0.029131	0.75	0.20	1.42	0.62
fr	20	PF 1	0.15	0.30	0.56		0.59	0.029136	0.82	0.20	1.42	0.69
fr	19.000*	PF 1	0.15	0.27	0.53		0.56	0.029603	0.75	0.20	1.42	0.63
fr	18.000*	PF 1	0.15	0.24	0.50		0.53	0.029626	0.75	0.20	1.42	0.63
fr	17.000*	PF 1	0.15	0.21	0.47		0.50	0.029562	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	16.000*	PF 1	0.15	0.18	0.44		0.47	0.029738	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	15.000*	PF 1	0.15	0.15	0.41		0.44	0.029554	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	14.000*	PF 1	0.15	0.12	0.38		0.41	0.029712	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	13.000*	PF 1	0.15	0.09	0.35		0.38	0.029580	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	12.000*	PF 1	0.15	0.06	0.32		0.35	0.029688	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	11.000*	PF 1	0.15	0.03	0.29		0.32	0.029769	0.75	0.20	1.43	0.63
fr	10	PF 1	0.15	0.00	0.26	0.23	0.29	0.030005	0.75	0.20	1.43	0.63

Come si evince dalla tabella le velocita nella fish ramp sono nell'ordine di 0.75 m/s

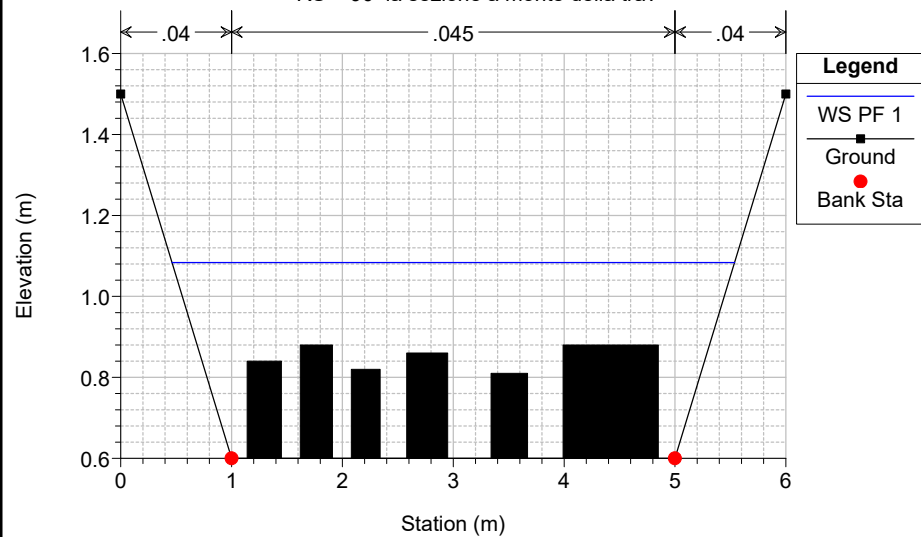


Profilo della rampa

Nelle pagine seguenti le sezioni relative alla simulazione.

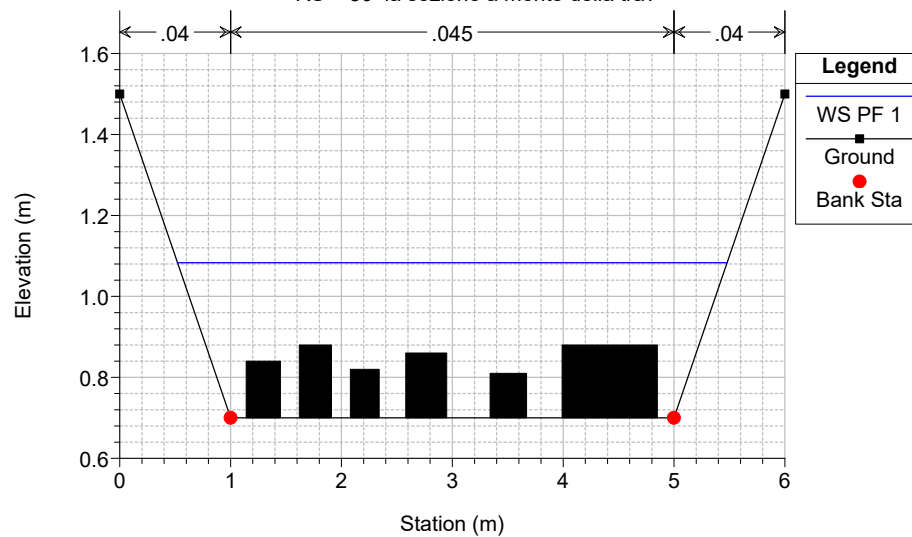
verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026

RS = 90 la sezione a monte della trav



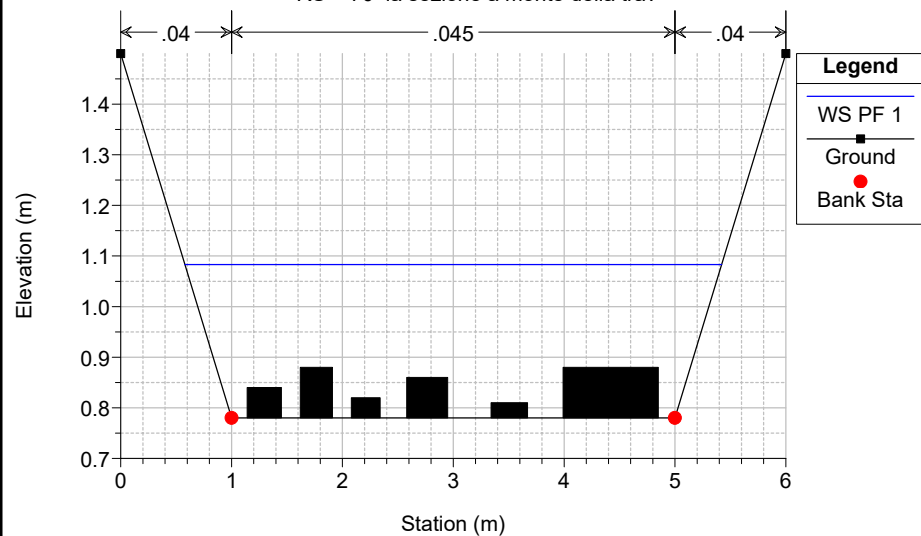
verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026

RS = 80 la sezione a monte della trav



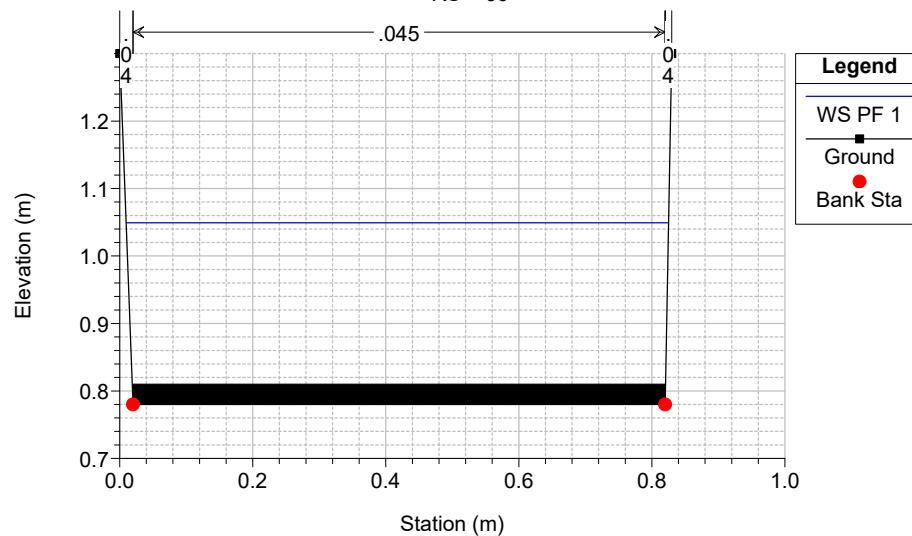
verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026

RS = 70 la sezione a monte della trav

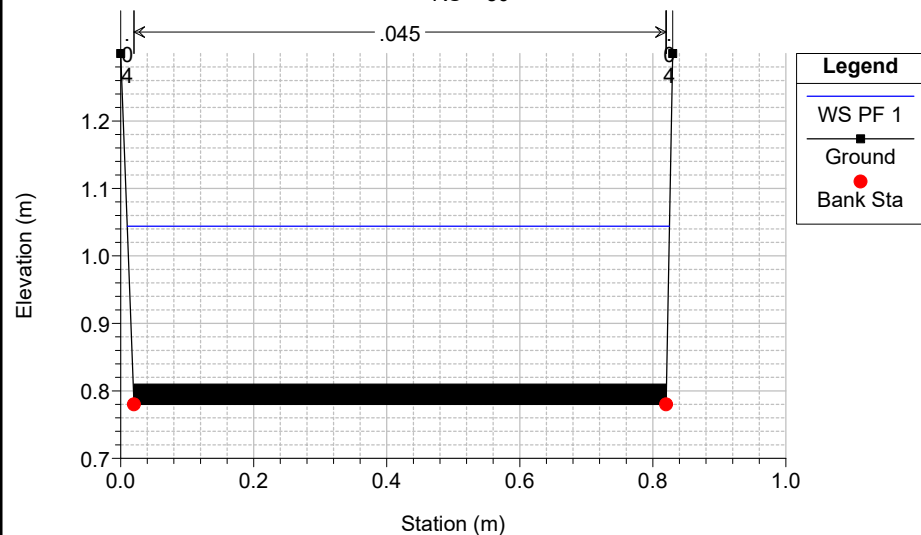


verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026

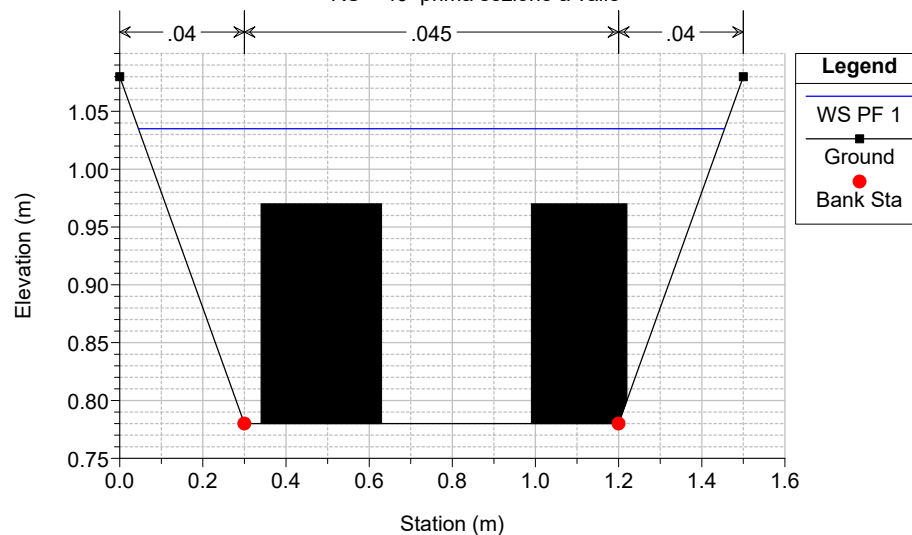
RS = 60



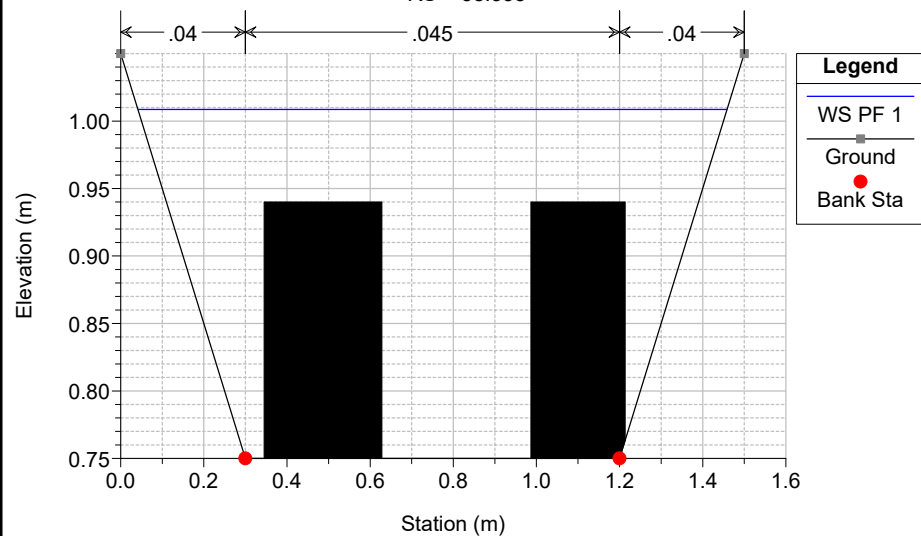
verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026
RS = 50



verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026
RS = 40 prima sezione a valle



verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026
RS = 38.333*



verifica scala fr Plan: Plan 02 6/19/2026
RS = 36.667*

