

REGIONE PIEMONTE  
COMUNE DI MORETTA

PIANO REGOLATORE GENERALE  
COMUNALE

VARIANTE GENERALE

(ex secondo comma art. 17 L.R. 56/77 e succ. mod. ed int.)

PROGETTO DEFINITIVO

Adottata con Del. C.C. n.            del

ELABORATO E6.3.1  
VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL  
RISCHIO LUNGO IL RETICOLO IDROGRAFICO  
MINORE-BEALERE DEL MOLINO E SAN  
MARTINO – RELAZIONE

L'ASSESSORE ALL'URBANISTICA  
Geom. Carlo Cortassa

IL SINDACO  
Avv. Sergio Banchio

IL SEGRETARIO COMUNALE  
Dott. Nadia Moreal

IL GEOLOGO  
Dott. Geol. Marco Novo

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
Geom. Roberto Mina

DATA: Settembre 2010

**Studio  
PROGEOA** *di Marco Novo Geologo*  
Via Carducci 15, 13044 CRESCENTINO (VC)  
Tel. 0161-842055/348-2443334  
[www.studioprogea.com](http://www.studioprogea.com)

E6.3.1

## 1 PREMESSA

Nel presente allegato viene illustrata la metodologia adottata ed il procedimento seguito per la realizzazione dello studio di dettaglio idrologico ed idraulico lungo i tratti interferenti con il concentrico della Bealera del Molino e della Bealera San Martino.

I due corsi d'acqua sono stati studiati in modo congiunto a seguito della comprensione dell'assetto e del comportamento geomorfologico ed idraulico del sistema; anche grazie alla ricostruzione dell'evento di riferimento (evento 1973), si è compreso infatti che in caso di eventi di piena eccezionali, la Bealera del Molino, tendendo a riattivare un suo antico percorso naturale, scarica in corrispondenza alla regione C.na Prese Basse, gran parte della propria portata verso la Bealera San Martino; tali portate, trattenute a valle dal rilevato insormontabile della strada provinciale per Murello, vanno pertanto ad alimentare un vasto bacino di laminazione in derivazione, con portate di scarico possibili unicamente dai fornicci presente sotto il rilevato stesso.

Nel dettaglio, le analisi per la valutazione della pericolosità e del rischio sono state compiute tramite l'implementazione di n. 2 distinti modelli idraulici in moto permanente mediante l'uso dello specifico codice di calcolo HEC - RAS (versione 3.1.1); a tal scopo è stato programmato ed effettuato un rilievo topografico di dettaglio che ha permesso, dapprima, la costruzione di un modello digitale del terreno e, in successione, l'interpolazione di 40 sezioni trasversali per la Bealera Molino e di 32 sezioni trasversali per la Bealera San Martino, su tratti rispettivamente di 2130 metri e di 1720 metri di lunghezza complessiva.

La stima delle portate da utilizzarsi per le suddette simulazioni è stata prodotta sulla base di un modello idrologico sull'ampio bacino della Bealera del Molino e considerando le partizioni di portata che si producono in corrispondenza del bacino di laminazione di C.na Prese Basse e del canali scolmatori presenti nel concentrico.

Le elaborazioni realizzate hanno consentito di ricostruire i profili di piena per condizioni di portata relativa a tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, tramite i quali sono state definite le fasce inondabili a diversa pericolosità, in conformità a quanto stabilito dall'allegato 3 della D.G.R. 15 luglio 2002, n. 45-6656.

## 2 VALUTAZIONI PRELIMINARI

### 2.1 Individuazione del bacino idrografico

La delimitazione del bacino è stata effettuata con il supporto di un modello digitale di elevazione in formato Grid a maglia di 50 metri di lato, costruito sui dati del D.T.M. della Carta Tecnica Regionale; essendo l'area collocata in un settore di alta pianura con una fitta rete di irrigazione antropica, si è reso necessario un'importante operazione di verifica diretta eseguita attraverso sopralluoghi di terreno; in caso di attribuzione incerta dei limiti di bacino è stato utilizzato il criterio di minima distanza dal recapito.

Il bacino risultante è stretto e allungato e si sviluppa sul settore sinistro del conoide del torrente Varaita; la testata di tale bacino si colloca in frazione Falicetto in comune di Verzuolo.

### 2.2 Rilievo della rete idrografica

Il rilevamento della rete idrografica del bacino è stata preliminarmente eseguita attraverso analisi fotointerpretativa; successivamente si è provveduto a verifiche di terreno.

### 2.3 Dati pluviometrici e sugli allagamenti storici

A partire dall'analisi dei dati delle piogge intense della stazione pluviografica di Saluzzo, si è osservato che fenomeni di una certa intensità, per durate di 1 o 2 giorni, si sono registrati negli anni 1933, 1937, 1960, 1973 e 1981. Per tali eventi la distribuzione delle quantità di pioggia sono riassunte nella tabella seguente.

Giorni	h 1 giorno (mm)	h 2 giorni (mm)
14-15 aprile 1933	148	185
6-7 giugno 1937	136	167
17-18 dicembre 1960	155	173
17-18 settembre 1973	152	189
31 marzo-1 aprile 1981	149	192

Tabella 1

Sulla base di interviste ai residenti si è avuta informazione che il più importante evento alluvionale sulla bealera del Molino è stato quello del 18-19 settembre 1973 (tavola 1).

Il picco della portata si è avuto in regione Prese alle ore 23 circa del 18 settembre 1973.

Le acque di allagamento nella vasta area di laminazione hanno cominciato a defluire a partire solo dal mattino successivo.

L'analisi pluviografica dell'evento evidenzia che alla stazione di Saluzzo si sono registrati 187 mm di pioggia in 24 ore (in 10 ore tra le 6 e le 16 del 18 settembre si sono avuti 116,8 mm di pioggia con un picco principale tra le 11 e le 12).

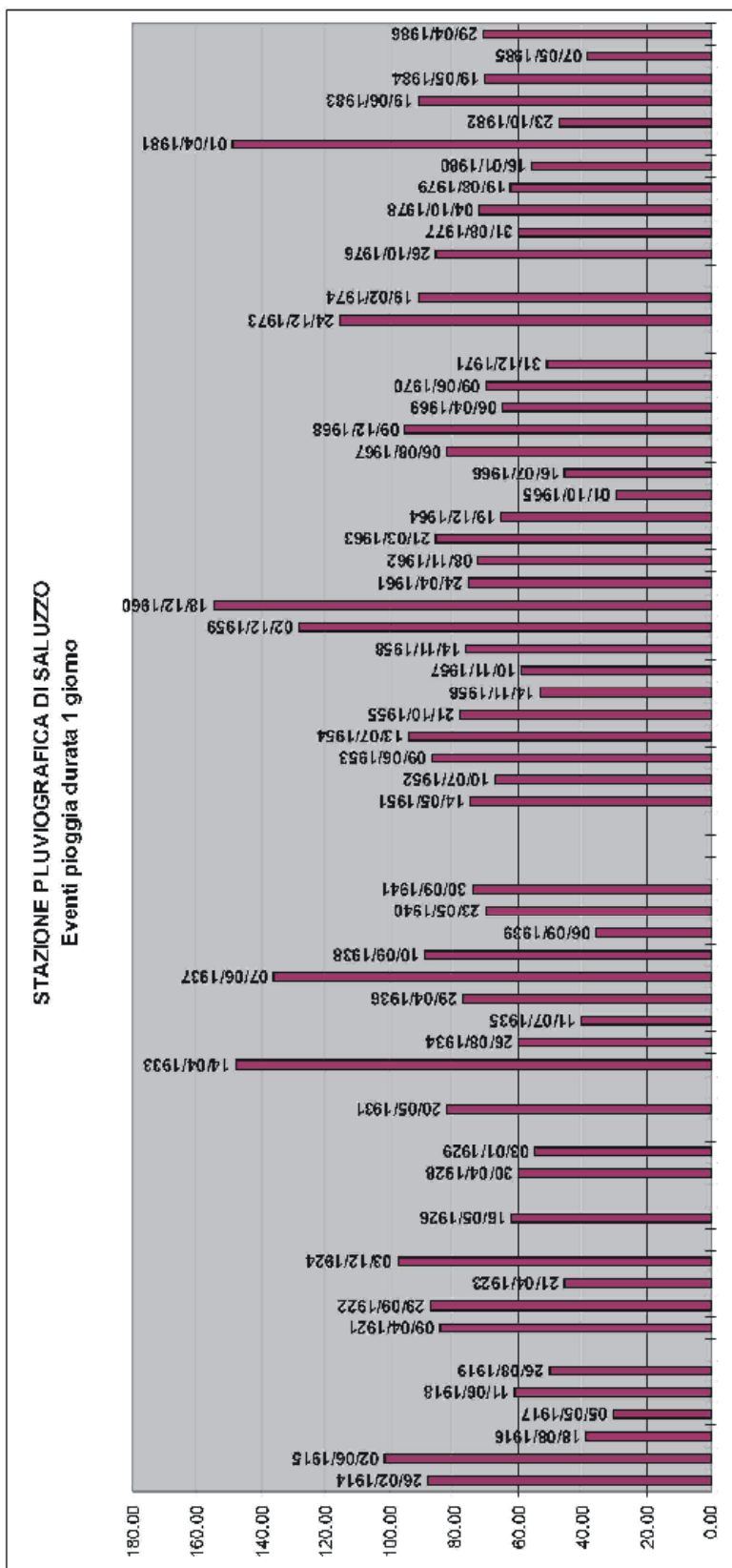


Figura 1

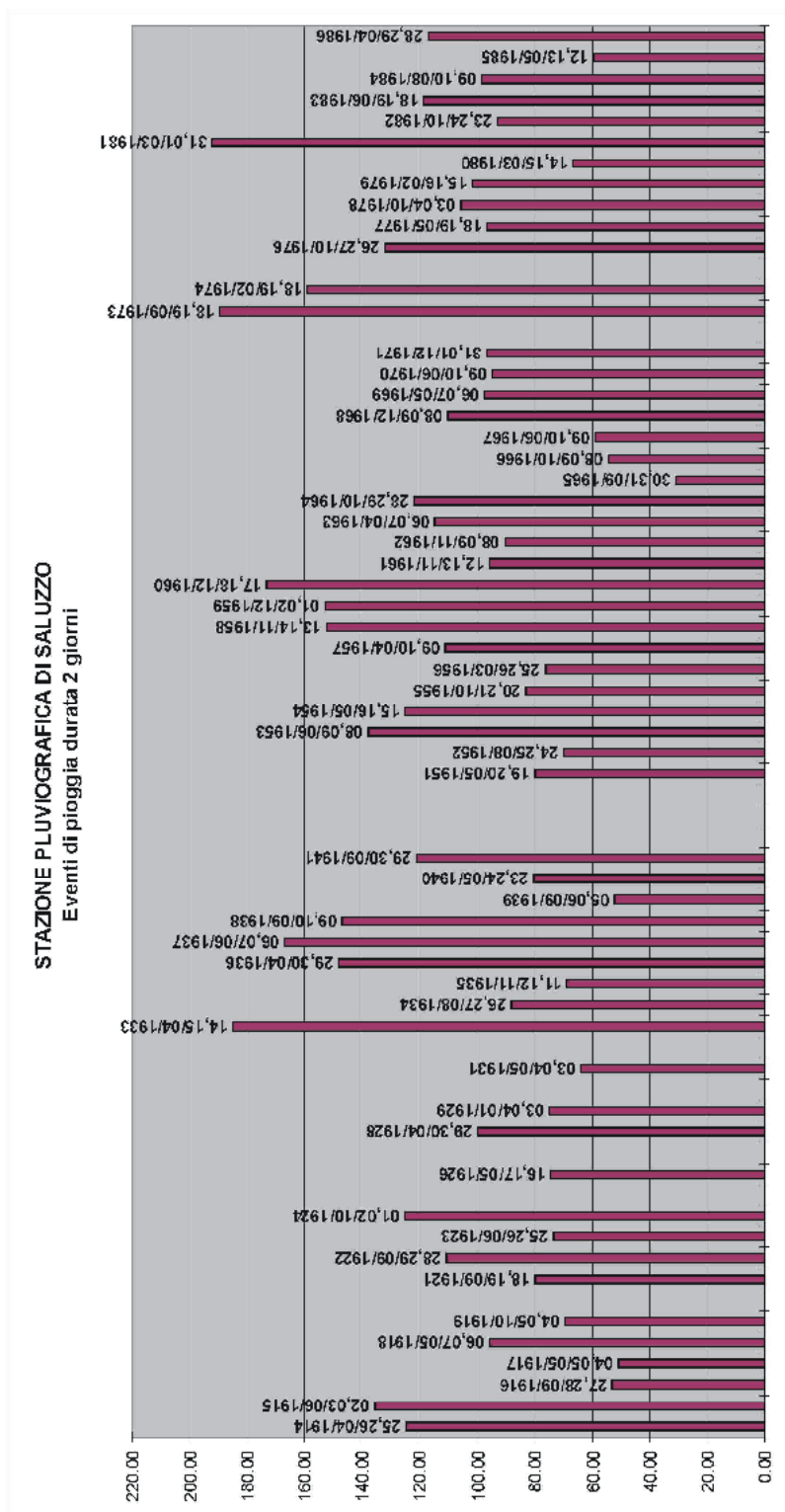


Figura 2

Data/ora	h pioggia (mm)	h pioggia cumulata (mm)
17/9/73 20.00	10.6	
17/9/73 21.00	5.6	16.2
17/9/73 22.00	3.8	20
17/9/73 23.00	14.6	34.6
18/9/73 0.00	4.6	39.2
18/9/73 1.00	11.4	50.6
18/9/73 2.00	0.6	51.2
18/9/73 3.00	1.4	52.6
18/9/73 4.00	3	55.6
18/9/73 5.00	6	61.6
18/9/73 6.00	6.8	68.4
18/9/73 7.00	5.6	74
18/9/73 8.00	8.2	82.2
18/9/73 9.00	10	92.2
18/9/73 10.00	8.6	100.8
18/9/73 11.00	21	121.8
18/9/73 12.00	22.8	144.6
18/9/73 13.00	10.8	155.4
18/9/73 14.00	12.6	168
18/9/73 15.00	8.4	176.4
18/9/73 16.00	8.8	185.2
18/9/73 17.00	0.4	185.6
18/9/73 18.00	0	185.6
18/9/73 19.00	0.8	186.4
18/9/73 20.00	0.2	186.6

Tabella 2

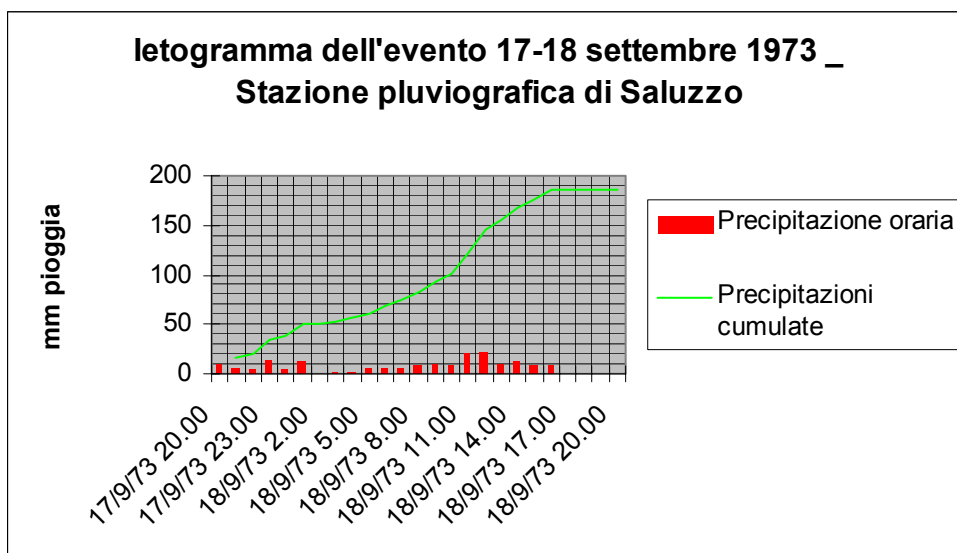


Figura 3

## 2.4 Rilievo topografico di dettaglio

Per i tratti oggetto di modellizzazione idraulica è stato eseguito un dettagliato rilievo topografico, articolato in 4 fasi successive:

- Individuazione sul terreno delle localizzazioni per il posizionamento della stazione totale e dei punti di “aggancio” delle opere idrauliche  
In tale fase, mediante il posizionamento di picchetti e di segni chiaramente visibili sul terreno, si sono individuati i punti che per ubicazione e per caratteristiche di campo visivo sono risultati adatti al posizionamento della stazione totale e all’acquisizione delle caratteristiche geometriche delle opere idrauliche.  
Acquisizione mediante GPS dei dati plano-altimetrici relativi ai punti precedentemente individuati, in modo da creare una maglia di punti topograficamente correlati.
- Acquisizione automatica dei dati topografici mediante GPS trasportato da operatore a piedi od installato su mezzo in movimento.  
Nei settori di territorio in corrispondenza ai quali è risultato possibile il transito con mezzo di locomozione (strade, aree con edifici isolati, ...), le caratteristiche topografiche del piano campagna sono state determinate automaticamente.
- Esecuzione del rilievo con stazione totale per l’acquisizione dei dati topografici necessari alla costruzione delle sezioni idrauliche.  
Nei settori non rilevabili con metodologia automatica mediante GPS, i dati topografici sono stati determinati con l’utilizzo della stazione totale, posizionate in corrispondenza ai punti individuati durante le precedenti fasi di lavoro.



### 3 IL MODELLO IDROLOGICO

#### 3.1 CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO E DETERMINAZIONE DEI TEMPI DI CONCENTRAZIONE

Le caratteristiche morfometriche comprendono i caratteri geometrici, di superficie e di altitudine del bacino in esame. Tali caratteristiche sono state valutate con metodologia automatica a partire da un modello digitale di elevazione in formato Grid a maglia di 50 metri di lato, costruito sui dati del D.T.M. della Carta Tecnica Regionale.

A tal fine è stata utilizzata una specifica estensione del modulo Spatial Analyst di Arcview 3.3 (basin1), che consente di produrre, a seguito della delimitazione dei bacini, una agevole e rapida elaborazione dei calcoli.

Le valutazioni morfometriche sono state effettuate considerando inizialmente un unico bacino con sezione di chiusura situata in prossimità dell'attraversamento della strada comunale per C.ne Prese.

Nella seguente Tab. 1 sono sintetizzate le caratteristiche determinate.

Parametro	Unità di misura	BACINO Bealera del Molino
Superficie	Km <sup>2</sup>	40,4
Lunghezza asta principale	Km	19,3
Quota media	m s.l.m.	326
Pendenza media del Bacino	m/m	0,0085
Quota sezione di chiusura	m s.l.m.	254

**Tabella 3:** *Caratteristiche morfometriche del bacino della Bealera del Molino.*

Sulla base di tali caratteristiche sono stati calcolati i tempi di corrivazione (o tempi di ritardo), utilizzando i numerosi metodi presenti in letteratura che presentano diversi livelli di adattabilità ai bacini di medie dimensioni.

**Ventura (1905):**  $t_c = 0,127 (A/p)^{0,5}$

**Pezzoli (1970):**  $t_c = 0,055 L/(p)^{0,5}$

**Pasini:**  $t_c = 0,108 (A.L)^{1/3} (p) - 0,5$   
**Puglisi (1978):**  $t_c = 6 L^{2/3} (H_{max} - H_0)^{-1/3}$

Con :

$t_c$  = tempo di corrivazione (ore);

A = superficie del bacino (Kmq);

$p$  = pendenza media

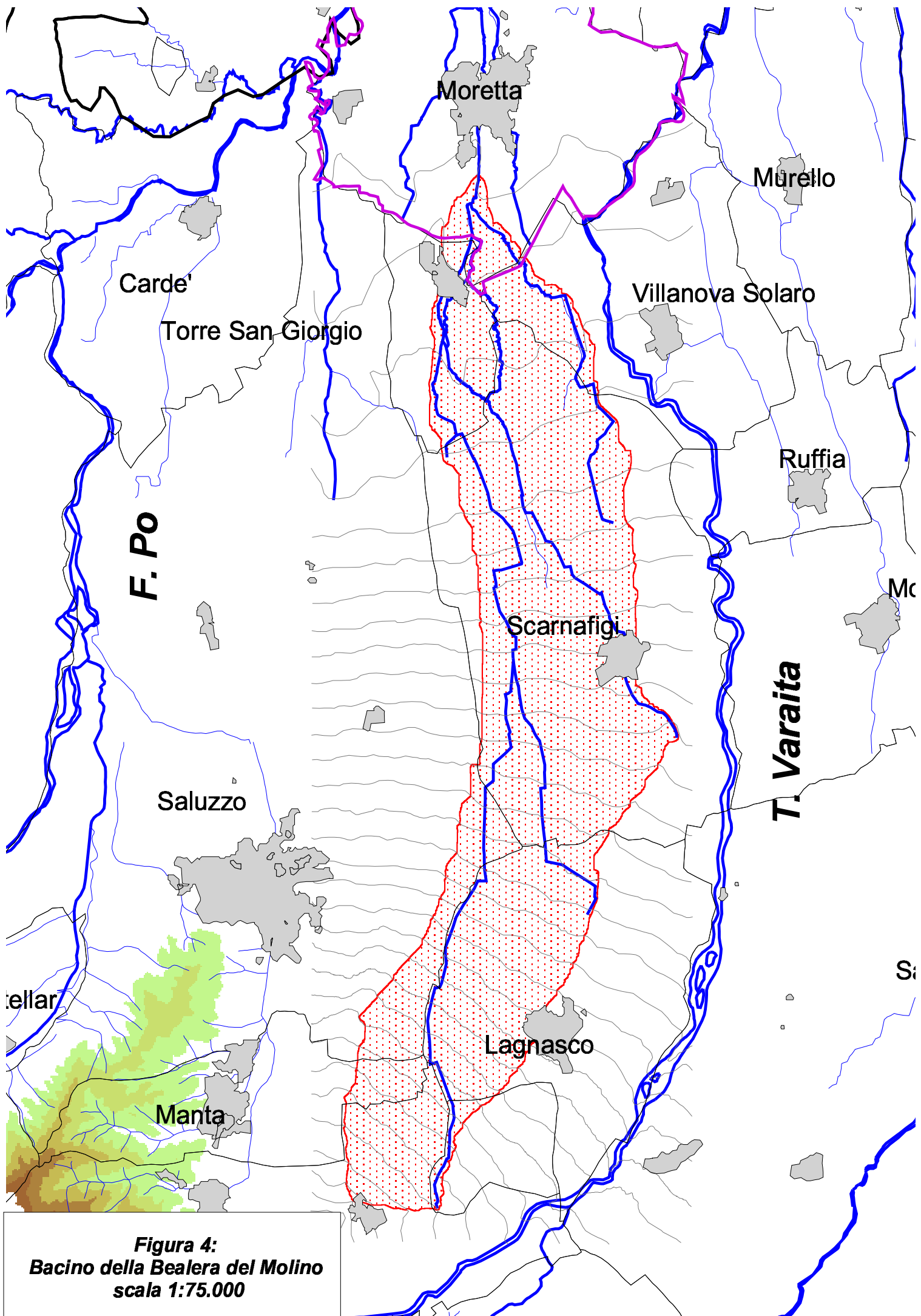
L = lunghezza dell'asta principale (km);

$H_{max}$  = altezza massima del bacino

$H_0$  = altezza della sezione di chiusura (m).

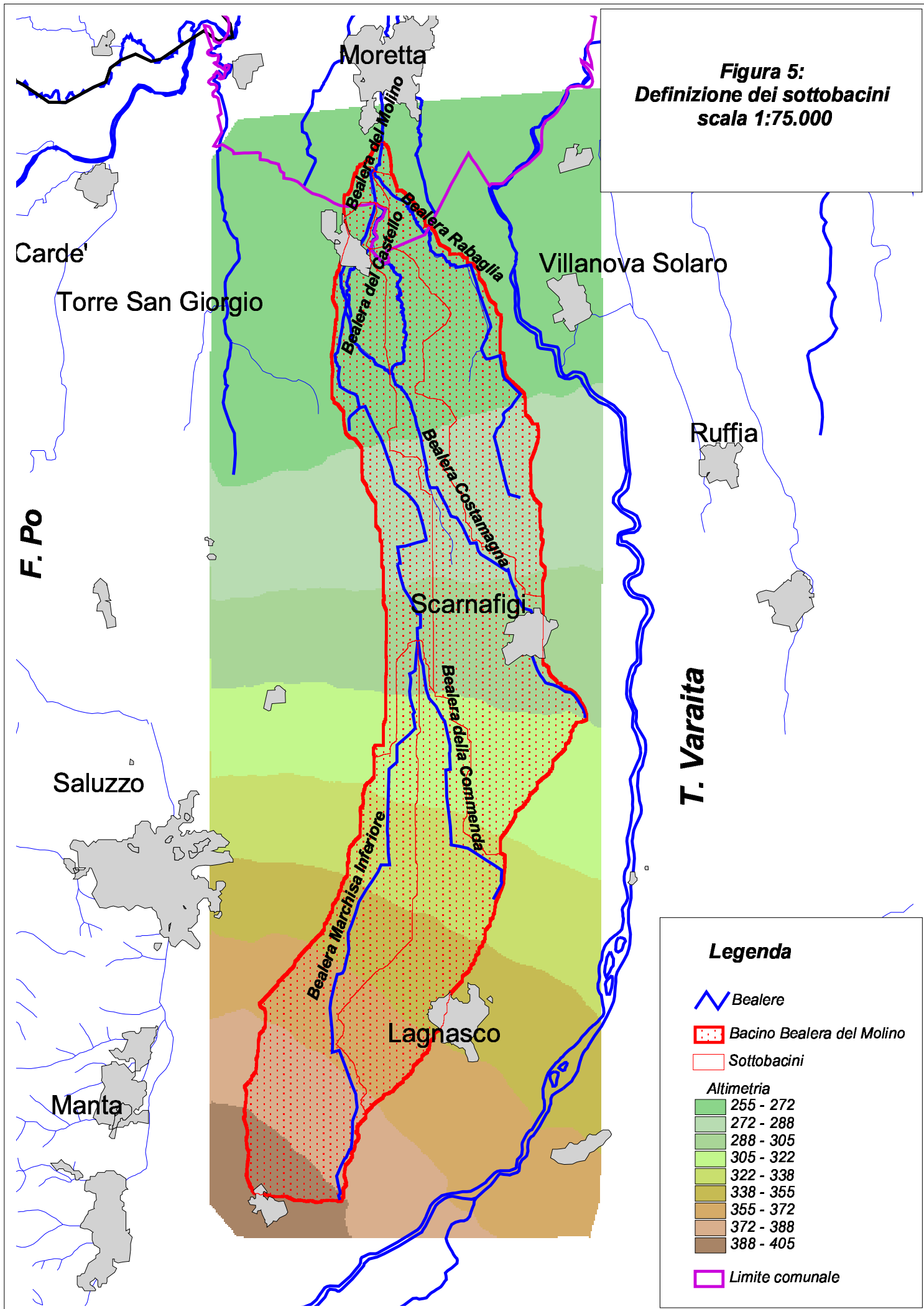
	Bacino Molino
VENTURA	8,75
PEZZOLI	11,51
PASINI	10,78
PUGLISI	10,38
<b>MEDIA</b>	<b>10,35</b>

**Tabella 4:** Valori del tempo di corrivazione in ore.
















**Figura 4:**  
**Bacino della Bealera del Molino**  
**scala 1:75.000**

**Figura 5:  
Definizione dei sottobacini  
scala 1:75.000**



**Legenda**

-  Bealere
-  Bacino Bealera del Molino
-  Sottobacini
- Altimetria**
-  255 - 272
-  272 - 288
-  288 - 305
-  305 - 322
-  322 - 338
-  338 - 355
-  355 - 372
-  372 - 388
-  388 - 405
-  Limite comunale

### 3.2 DETERMINAZIONE DELLE ALTEZZE DI PRECIPITAZIONE

La determinazione delle portate affluenti ad una determinata sezione di chiusura, in assenza di una serie storica di misure dirette su sezioni strumentate con idrometro, deve necessariamente passare attraverso metodi indiretti, che consentono di ottenere i valori della lama d'acqua defluita in funzione delle precipitazioni affluite al bacino preso in considerazione. Pertanto, prima di determinare i valori di portata è stato necessario determinare i valori di altezza di precipitazione, procedimento effettuato sfruttando le metodologie e i dati contenuti nella "Direttiva Piene di progetto" dell'Autorità di Bacino.

Per la suddetta direttiva la previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Si ricorda che con il termine altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) e in assenza di perdite.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

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

con

$h$  = altezza di pioggia (in mm) per precipitazioni di durata  $t$

$t$  = durata della precipitazione (in ore)

$a, n$  = parametri dimensionali che dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

Per determinare le curve di probabilità pluviometrica per i bacini considerati, sono stati utilizzati i dati regionalizzati dell'Autorità di Bacino, che ha prodotto sull'intero bacino del Po un'interpolazione dei parametri "a" e "n" e fornito una distribuzione discreta degli stessi su una griglia quadrata di 2 km di lato.

Tale interpolazione ha utilizzato le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive. L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono da ricercare le durate critiche per la maggior parte dei corsi d'acqua per i quali la stima della portata di piena può essere effettuata tramite l'utilizzo delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica.

La stima dei parametri delle curve di probabilità pluviometrica è stata effettuata sfruttando la legge del valore estremo del primo tipo (EV1 o di Gumbel), sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate considerate, definendo i parametri  $a$  ed  $n$  per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

I valori indicati costituiscono riferimento per le esigenze connesse a studi e progettazioni che, per dimensioni e importanza, non possano svolgere direttamente valutazioni idrologiche più approfondite a scala locale.

L'elaborazione è stata realizzata sfruttando le funzionalità GIS ed effettuata sulla base delle seguenti espressioni.

$$a_{\text{bacino 1}} = \sum \frac{S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + \dots + S_n \cdot a_n}{S_{\text{tot}}}$$

$$n_{\text{bacino 1}} = \sum \frac{S_1 \cdot n_1 + S_2 \cdot n_2 + \dots + S_n \cdot n_n}{S_{\text{tot}}}$$

Dove

$S_1$  = superficie del quadrato o della porzione di quadrato

$a_1, n_1$  = parametri riferiti al quadrato 1

$S_{\text{tot}}$  = superficie del bacino

I valori calcolati sono riportati nella sottostante tabella 5.

	TR = 10 anni		TR = 20 anni		TR = 50 anni		TR = 100 anni		TR = 200 anni		TR = 500 anni	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Bacino Molino	39,26	0,329	45,61	0,326	53,86	0,319	60,04	0,315	66,11	0,312	74,30	0,308

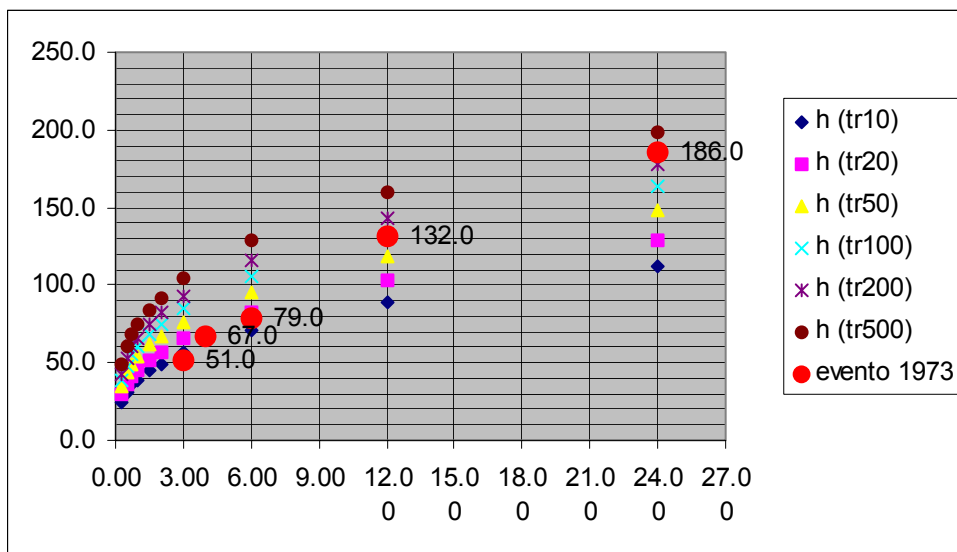
**Tabella 5:** Parametri "a" ed "n" interpolati dai dati regionalizzati dell'Autorità di Bacino, riferiti al bacino di studio

Sulla base dei tempi di corrivazione determinati in precedenza, sono state calcolate, per ciascun tempo di ritorno, le altezze di precipitazione; la precipitazione "critica" è quella corrispondente alla pioggia di durata pari al tempo di corrivazione. Tali valori sono stati riportati in Tab. 6.

durata(ore)	h TR10 (mm)	h TR20 (mm)	h TR50 (mm)	h TR100 (mm)	h TR200 (mm)	h TR500 (mm)	h (evento 1973)
1	39.3	45.6	53.9	60.0	66.1	74.3	
2	44.9	52.1	61.3	68.2	75.0	84.2	
2	49.3	57.2	67.2	74.7	82.1	92.0	
3	56.4	65.3	76.5	84.9	93.2	104.2	51.0
6	70.8	81.8	95.4	105.6	115.6	129.1	79.0
<b>10</b>	<b>83.8</b>	<b>96.7</b>	<b>112.3</b>	<b>124.1</b>	<b>135.6</b>	<b>151.1</b>	
12	88.9	102.6	119.0	131.4	143.6	159.8	132.0
24	111.7	128.6	148.5	163.5	178.2	197.9	186.0

**Tabella 6:** Altezze di precipitazione (in mm)

Se si raffrontano i dati calcolati con quelli misurati nell'evento 1973, si osserva che per la durata di 24 ore, l'intensità di pioggia si colloca tra i tempi di ritorno 200 e 500 anni.



**Figura 6:** distribuzione delle altezze di precipitazione relative ai diversi tempi di ritorno, in funzione della durata

### 3.3 DETERMINAZIONE DELL'INFILTRAZIONE E DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficoltosa e costituisce il maggior elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro, infatti, tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media della pioggia (tipo di terreno, grado di saturazione dello stesso, tipo di copertura vegetale e pendenza); si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio. Le valutazioni derivanti dalla letteratura indicano univocamente che il valore del coefficiente di deflusso in un dato bacino varia in modo consistente da evento ad evento, in funzione delle differenti condizioni di imbibizione del suolo antecedenti l'evento stesso. Uno dei metodi più utilizzati ed attualmente considerato tra i più appropriati e scientificamente testati riportati in letteratura è il "Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method" proposto dal S.C.S. del Dipartimento dell'Agricoltura statunitense nel 1972.

L'equazione usata per calcolare il runoff è la seguente:

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

Q = valore del ruscellamento superficiale ("runoff") in inches [Pollici 1 inc = 2.54 cm];

P = volume affluito con la precipitazione ("rainfall") in inches;

S = massima quantità di acqua assorbita dopo l'inizio del runoff (inches)

I<sub>a</sub> = fattore iniziale di ritenzione.

Il fattore iniziale di ritenzione (I<sub>a</sub>) include tutte quelle perdite prima dell'inizio del runoff, e include l'acqua ritenuta in depressioni naturali, quella trattenuta dalla vegetazione, evaporazione e infiltrazioni. Questo fattore, correlato alle caratteristiche del terreno ed alla sua copertura, è comunque solitamente caratterizzato da un valore prossimo al 20% di S.

$$I_a = 0.2 * S$$

Questa relazione è stata determinata attraverso l'osservazione di numerosi piccoli bacini.

Ponendo il valore di I<sub>a</sub> uguale al 20% di S si ha la seguente semplificazione dell'equazione generale:

$$Q = \frac{(P-0.2*S)^2}{(P+0.8*S)}$$

Il parametro "S" è rappresentato attraverso la relazione delle curve di runoff (CN), che variano tra 0 e 100. Il numero della curva di runoff descrive in percentuale quanta dell'acqua caduta al suolo contribuirà al deflusso superficiale. Pertanto, un'area completamente pavimentata avrà come numero di curva di riferimento un valore molto alto ad esempio 99 mentre un campo coltivato potrà avere quale riferimento la curva numero 35.

$$1000$$



$$S = \frac{\text{-----}}{\text{CN}} - 10$$

Se si vuole esprimere S in mm è necessario utilizzare la seguente conversione:

$$S=254*[(100/\text{CN})-1]$$

CN è determinato attraverso differenti fattori. I più importanti sono la determinazione della tipologia di suolo in riferimento al "hydrologic soil group (HSG)" che suddivide il terreno in quattro categorie A, B, C e D, il tipo di copertura di suolo, l'uso del suolo, le condizioni idrologiche, il susseguirsi dell'evento meteorico ad eventi precedenti, la pendenza del suolo interessati, il sistema di drenaggio eventualmente presente.

TIPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso superficiale-banchi spessi di sabbia, anche con piccole percentuali di limo e argilla; banchi spessi di ghiaie, materiali incoerenti in genere
B	Bassa potenzialità di deflusso superficiale-banchi di medio spessore di sabbie o ghiaie, con maggior propensione alla saturazione
C	Potenzialità di deflusso superficiale medie-banchi di sabbia o ghiaie sottili, con sottostante substrato argilloso impermeabile, sabbie con argilla e limi
D	Potenzialità di deflusso superficiale molto alta-argille con alta capacità di rigonfiamento, in genere materiali impermeabili in superficie

**Tabella 7:** Classi di permeabilità in funzione delle tipologie di substrato (metodo S.C.S.) .

Determinato il tipo di suolo occorre valutare le condizioni iniziali di imbibizione del terreno attribuendo allo stesso una classe AMC (Antecedent Moisture Condition) definita di seguito:

CLASSE A.M.C.	PIOGGIA TOTALE NEI 5 GIORNI PRECEDENTI L'EVENTO	
	STAGIONE DI RIPOSO VEGETATIVO (AUTUNNO-INVERNO)	STAGIONE DI CRESCITA (PRIMAVERA-ESTATE)
I	<13mm	<36mm
II	Tra 13mm e 28mm	Tra 36mm e 53mm
III	>28mm	>53mm

**Tabella 8:** Classe AMC (SCS method)

CN <sub>II</sub>	CATEGORIA DEL SUOLO			
	A	B	C	D
<b>Copertura vegetale</b>				
Pascolo in cattive condizioni (copertura vegetale < del 50% ed elevato sfruttamento)	68	76	86	89
Pascolo in discrete condizioni (copertura tra il 50% ed il 75%, modesto sfruttamento)	49	69	79	84
Pascolo in buone condizioni (copertura tra > del 75%, sfruttamento saltuario)	39	61	74	80
Prato protetto dal pascolo e soggetto a fienagione	≤30	58	71	78
Sterpaglie in cattive condizioni (copertura < del 50%)	48	67	77	83
Sterpaglie in discrete condizioni (copertura tra il 50% ed 75%)	35	56	70	77
Sterpaglie in buone condizioni (copertura >del 75%)	30	48	65	73
Bosco in cattive condizioni (sottobosco scarso)	45	66	77	83
Bosco in discrete condizioni (presenza di sottobosco anche soggetto a sfruttamento, ma al riparo dagli incendi)	36	60	73	79
Bosco in buone condizioni (presenza di sottobosco protetto)	25	55	70	77
Aree industriali con permeabilità inferiore al 72%	81	88	91	93
Aree residenziali con impermeabilità media > del 65%	77	85	90	92
Aree residenziali con impermeabilità media tra il 65% ed il 60%	57	72	81	86
Aree residenziali con impermeabilità media tra il 60% ed il 20%	51	68	79	84
Suolo coltivato con trattamenti di conservazione	72	81	88	91
<b>Suolo coltivato senza trattamenti</b>	<b>62</b>	<b>71</b>	<b>78</b>	<b>81</b>

**Tabella 9:** Valore del CN per zone umide (Classe AMC II) in funzione del tipo di suolo e delle condizioni di uso e copertura vegetale.

Il valore di CN<sub>II</sub> riportato è valido per pendenze del 5% per pendenze diverse il valore del CN<sub>II</sub> può essere ragguagliato con la seguente espressione:

$$CN_{IIS} = 1/3 * (CN_{III} - CN_{II}) [1 - 2^{(-13.86 i)}] + CN_{II}$$

dove:

$CN_{II}$  è il valore del Curve Number di tabella 2.6 in funzione della tipologia di suolo e dell'uso dello stesso,  $CN_{III}$  è il valore del CN per le condizioni di imbibizione iniziali bagnate del terreno e riferite alla classe AMC III,  $CN_I$  condizioni iniziali aride, classe AMC I,  $i$  è la pendenza media del bacino.

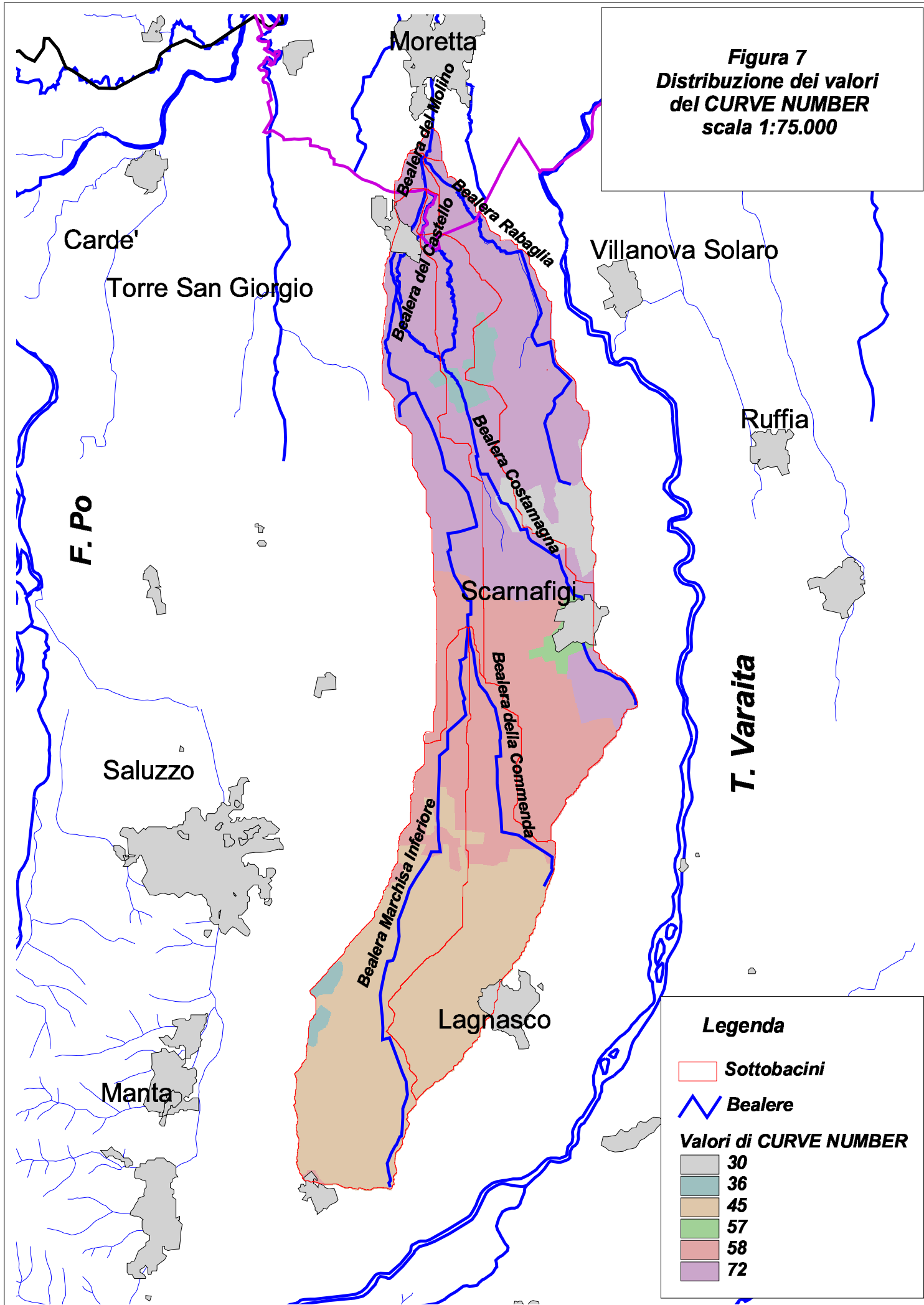
$CN_I$  e  $CN_{III}$ , sono correlate al valore di  $CN_{II}$  dalle seguenti espressioni:

$$CN_I = CN_{III} - [20 * (100 - CN_{II})^{2.5333 - 0.0636 * (100 - CN_{II})}]$$

$$CN_{III} = CN_{II} + CN_{II}^{0.00673 * (100 - CN_{II})}$$

La distribuzione dei valori del CN determinati all'interno del bacino (figura 7) è stata importata tramite specifiche funzioni GIS, all'interno del modello di trasformazione afflussi-deflussi descritto al paragrafo successivo.

**Figura 7**  
**Distribuzione dei valori**  
**del CURVE NUMBER**  
**scala 1:75.000**



### 3.4 DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA CON MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

I *modelli di trasformazione afflussi-deflussi* consentono il calcolo delle caratteristiche salienti di un'onda di piena nella sezione di chiusura di un bacino (portata al colmo, volume totale della piena, forma dell'idrogramma) a partire da precipitazioni estreme statisticamente significative nel bacino medesimo.

La modellizzazione idrologica è stata prodotta con il software **HEC-HMS** del U.S. Army Corps of Engineers', software di nuova generazione per le simulazioni afflussi - deflussi, che ha sostituito il pacchetto HEC-1, con un notevole avanzamento. E' un prodotto del "Corps' Civil Works Hydrologic Engineering R&D Program". In HEC-HMS, rispetto ad HEC-1, vi sono inoltre diverse nuove funzioni: principalmente, simulazioni continue con calcolo di idrogrammi per lunghi periodi temporali e calcolo di deflussi spazialmente distribuiti, ottenuti caratterizzando il bacino mediante un sistema a reticolo regolare.

HEC-HMS comprende un'interfaccia grafica (GUI) in ambiente Windows, componenti di analisi idrologiche integrate, funzioni di management e di memorizzazione dei dati, servizi di grafica e di relazioni dei dati. Anche se collegati in un unico programma, vi sono delle chiare separazioni tra GUI, le librerie, i databases ed il motore principale di calcolo. Questo design facilita l'uso di altri componenti, anche successivi nel tempo, senza dover revisionare la parte di calcolo del software.

Tutti i componenti del software fanno riferimento al sistema metrico.

#### Caratteristiche di funzionamento

HEC-HMS è progettato per simulare i processi relativi alla trasformazione afflussi – deflussi di sistemi idrografici con struttura ad albero. È stato creato per essere applicabile in un ampio campo di problemi idrologici:

- studio dei deflussi in grandi bacini idrografici
- analisi dei deflussi di piena
- analisi dei deflussi provenienti da piccoli bacini urbani o rurali
- disponibilità idriche di regioni geografiche
- studio dei sistemi di drenaggio urbani
- previsione dei deflussi
- riduzione dei danni dovuti alle piene fluviali
- gestione delle aree golenali
- regolazione di sistemi idraulici

L'esecuzione di una simulazione idrologica richiede la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):

1. Basin Model: rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico
2. Meteorologic Model: dati meteorologici relativi alle precipitazioni e alla evapotraspirazione
3. Control Specifications: informazioni temporali necessarie per la simulazione

#### La componente Basin Model

Tale componente permette di specificare:

- Elementi Idrologici:

Subbasin, Reach, Reservoir, Junction, Diversion, Source, Sink

- Metodi di calcolo delle perdite di bacino:

Deficit/Constant, Green e Ampt, Distribuito SCS Curve Number, Distribuito SMA, Initial/Constant, SCS Curve Number, SMA

- Metodi di calcolo della Trasformazione afflussi – deflussi:  
Idrogramma unitario di Clark, Cinematico, ModClark, Idrogramma unitario di Snyder, Idrogramma unitario SCS, Idrogramma unitario specificato dall'utente

- Metodo di calcolo del deflusso a pelo libero nei corsi d'acqua:  
Cinematico, del Ritardo, Modified Puls, Muskingum, Muskingum-Cunge

Il deflusso sui sottobacini può essere calcolato sia in maniera semplificata (lumped model) che linearmente, in maniera distribuita (distributed model). Nel primo caso le precipitazioni e le perdite sono mediate spazialmente sul sottobacino. Nel secondo caso le precipitazioni sono specificate sulla base di un reticolo a griglia, e le perdite e la pioggia efficace sono considerate separatamente per ogni cella della griglia del sottobacino. In quest'ultimo caso la pioggia efficace è trasformata in deflusso superficiale con il metodo di Clark modificato .

### **La componente Meteorologic Model**

Il set di dati del Meteorologic Model contiene l'insieme di informazioni richieste per la definizione di precipitazioni storiche o ipotetiche, che devono essere usate assieme ad un modello di bacino (Basin Model).

In HEC-HMS si possono utilizzare differenti ietogrammi:

- letogrammi specificati dall'utente*
- letogramma Chicago*
- Standard Project Storm del Corpo degli Ingegneri USA*

Ciascun ietogramma, eventualmente pesato, può essere associato a ciascun sottobacino. È possibile anche inserire precipitazioni su un reticolo regolare (ad esempio da misure radar).

Nella componente Meteorologic Model vengono inoltre definiti i dati necessari per il calcolo delle perdite per evapo-traspirazione.

### **La componente Control Specifications**

Il set di dati del Control Specifications comprende i dati di inizio e fine di una simulazione idrologica, e l'intervallo temporale da utilizzare nei calcoli.

### **Visualizzazione dei risultati**

-*Tabelle:*

- Tabella riassuntiva principale (Global Summary Table)
- Tabella riassuntiva dei singoli elementi idrologici
- Serie temporale dei risultati per i singoli elementi idrologici

-*Grafici:*

- Idrogramma dei deflussi
- Andamento nel tempo delle altezze idrometriche
- Perdite idrologiche

Le operazioni di input dei dati nel software Hec-HMS sono state sviluppate attraverso il pacchetto Hec-GeoHms, un'interfaccia che costituisce un'estensione GIS del software Arcview 3.3, che consente attraverso procedure guidate di visualizzare le informazioni spaziali, delineare i sottobacini ed il reticolo idrografico e costruire i dati di input del modello idrologico.

Al fine di produrre una taratura del modello idrologico si è operato in due fasi:

- 1) preliminarmente si è realizzata una simulazione con i dati reali dello ietogramma dell'evento 1973 registrato nella stazione pluviometrica di Saluzzo, ottenendo in output la ricostruzione dell'onda di piena, dalla quale è possibile estrarre il valore della portata al colmo  $Q$  e dei volumi di piena  $V$ . I metodi di calcolo che hanno consentito una migliore rispondenza al fenomeno realmente verificatosi un'onda di piena teorica alla sezione di chiusura, alle ore 18,32 del 18 settembre 1973 sono stati i seguenti:
  - Metodo di calcolo delle perdite di bacino: **SCS Curve Number**
  - Metodo di calcolo della Trasformazione afflussi – deflussi: **Cinematico**,
  - Metodo di calcolo del deflusso a pelo libero nei corsi d'acqua: **Cinematico**
- 2) successivamente si sono inseriti gli ietogrammi di progetto “sintetici” (relativi ai TR50, 200 e 500 anni) costruiti a partire dalle corrispondenti curve di possibilità pluviometrica e di durata corrispondente alla precipitazione critica. L'onda di piena ottenuta in output conduce alla definizione di idrogrammi  $q(t)$  caratterizzati da valori della portata al colmo  $Q$  e del volume di piena  $V$  statisticamente significativi, cioè tali da corrispondere nelle distribuzioni di probabilità  $Q(Tr)$  e  $V(Tr)$  ai medesimi tempi di ritorno  $Tr$  prefissati. Per la definizione degli ietogrammi sintetici è stato utilizzato il software “PioGGia” (Moisello 1999).

t (ore)	TR 50	TR200	TR500
1	5.38	0.53	7.25
2	4.75	5.76	6.4
3	5.2	6.31	7.02
4	5.88	7.13	7.92
5	13.2	15.8	16.45
6	32.03	38.42	40.48
7	27.26	32.64	34.05
8	15.66	19.39	20.88
9	6.68	8.1	9
10	1.29	1.56	1.73
<b>TOTALE</b>	<b>112,3</b>	<b>135,6</b>	<b>151,1</b>

Tabella 10: dati ietogrammi di progetto

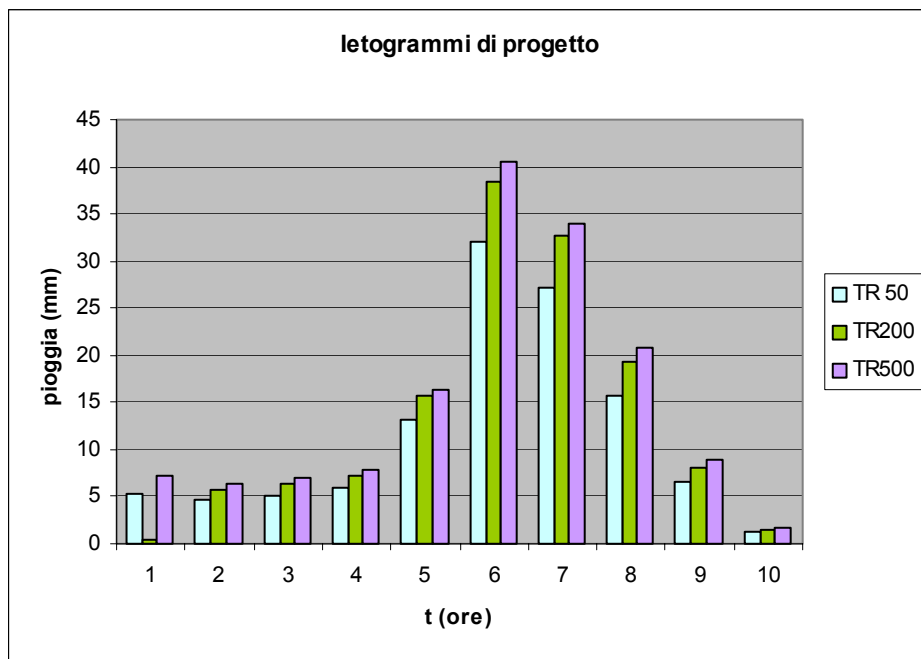


Figura 8: Ietogrammi di progetto

Gli idrogrammi di portata ottenuti sono riportati nel diagramma di figura 9.

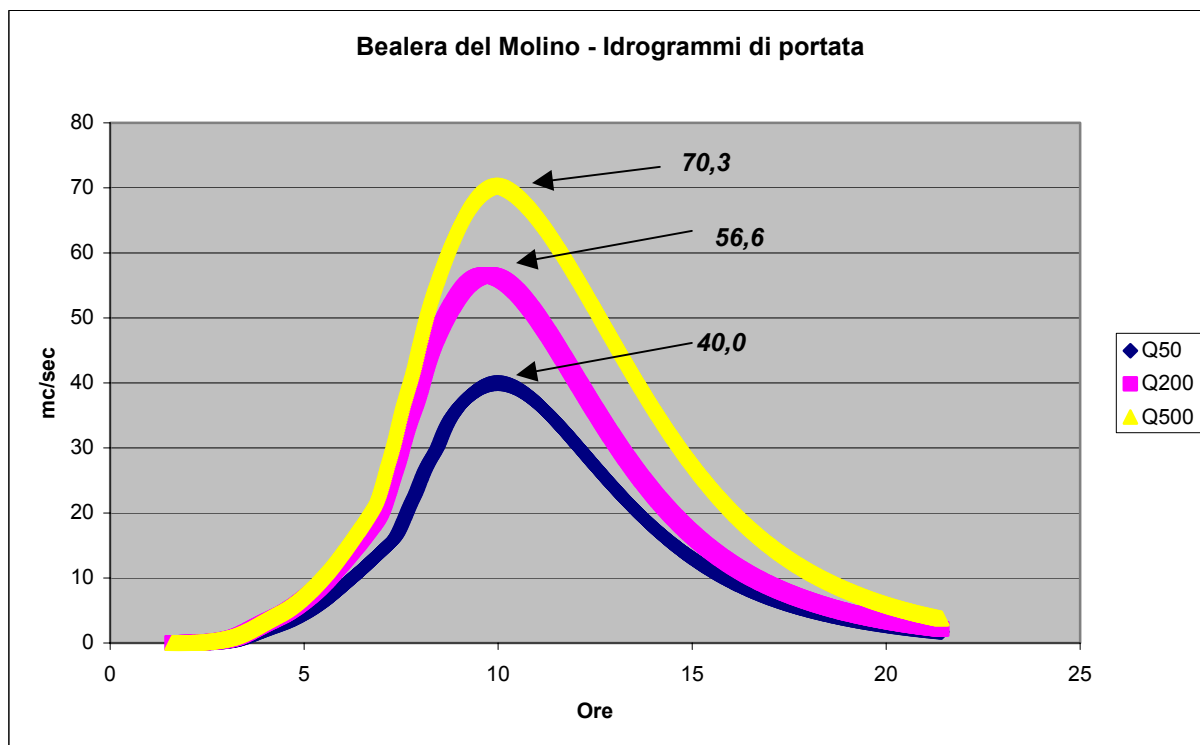


Figura 9: idrogrammi di progetto



## 4 IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI DI SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE

### 4.1 Procedimento di analisi

La determinazione del profilo di moto permanente nel tratto d'alveo in esame è stata condotta mediante l'uso dello specifico codice di calcolo HEC - RAS (U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center; versione 3.1.1 ).

La procedura utilizzata dal codice citato è basata sulla risoluzione dell'equazione del moto delle correnti a pelo libero nella schematizzazione monodimensionale. Il calcolo delle perdite di carico è effettuato mediante l'equazione di Manning. Nella letteratura anglosassone la procedura in questione è indicata come Standard Step Method.

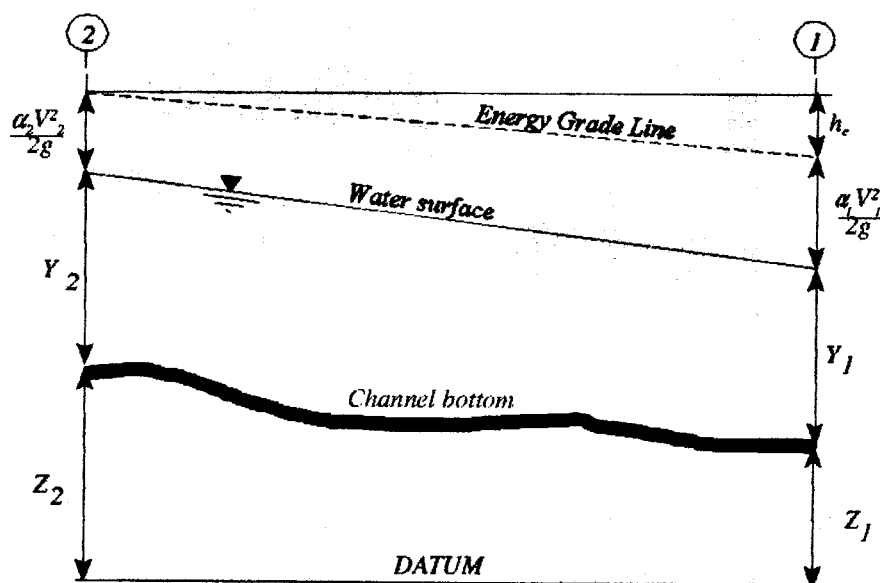


Figura 10: rappresentazione dei termini delle equazioni del codice di calcolo

Le equazioni fondamentali su cui essa si basa sono le seguenti:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2 / 2g = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g + h_e$$

$$h_e = L S_f + C / \alpha_2 V_2^2 / 2g - \alpha_1 V_1^2 / 2g |$$

dove (con riferimento alla Fig. 1):

$Y_1, Y_2$  = profondità della corrente nelle sezioni agli estremi del tratto

$Z_1, Z_2$  = quote del punto più basso del fondo alveo nelle sezioni agli estremi del tratto  
 $V_1, V_2$  = velocità medie (rapporto portata / sezione bagnata)  
 $\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti di ragguglio dell'energia cinetica  
 $g$  = accelerazione di gravità  
 $h_e$  = perdita di carico  
 $L$  = lunghezza del tratto (corretta secondo la distribuzione delle portate)  
 $S_c$  = cadente del carico totale  
 $C$  = coefficiente di perdita per contrazione - espansione.

Il calcolo è eseguito iterativamente a partire da una condizione al contorno (all'estremo di monte o di valle del tronco fluviale); la soluzione si propaga alla sezione successiva dopo aver bilanciato il carico fra due sezioni contigue con uno scarto assegnato, che nel caso in esame è stato posto inferiore a 5 centimetri.

Per i dettagli computazionali si rimanda alla documentazione del codice di calcolo (U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center: HEC-RAS River Analysis System, HYDRAULIC REFERENCE MANUAL; Version 3.1.1).

L'applicazione della procedura per la determinazione del profilo di moto permanente associato alle portate di progetto richiede di disporre dei seguenti dati fondamentali, necessari per una corretta modellazione del corso d'acqua:

- descrizione geometrica completa del tronco fluviale: deve essere costituita dalla rappresentazione geometrica delle sezioni trasversali e dal loro posizionamento piani - altimetrico;
- definizione del tipo di corrente (lenta o veloce) nel tronco;
- condizioni al contorno di valle o di monte, rispettivamente per correnti lente o veloci;
- caratterizzazione della resistenza dell'alveo mediante la definizione del coefficiente di scabrezza  $n$  (secondo Manning) e dei coefficienti di contrazione  $C_c$  e di espansione  $C_e$ ;
- definizione geometrica ed idraulica di eventuali singolarità presenti in alveo (ponti, confluenze, salti di fondo, etc.).

## 4.2 Dati di input del modello di simulazione

Il tratto studiato è stato descritto sulla base di un rilievo topografico di dettaglio, effettuato con stazione totale ed integrato con GPS; i dati plano-altimetrici hanno permesso la costruzione di un modello digitale del terreno dal quale sono state interpolate 40 sezioni topografiche trasversali all'asse; tali sezioni sono state opportunamente dettagliate tramite rilievi diretti per i particolari di importanza idraulica e tramite interpolazione automatica di sezioni intermedie di supporto.

Per quanto riguarda il tipo di corrente, sulla base delle caratteristiche di pendenza del fondo, è stata attribuita una tipologia di corrente lenta (o subcritica).

Le condizioni al contorno del modello idraulico di moto permanente sono i livelli del pelo libero noti nelle sezioni di partenza, ovvero quelle da cui ha inizio la procedura di

calcolo del profilo: in particolare, per un regime idraulico di *corrente lenta* la condizione al contorno è la quota del pelo libero nella sezione più a valle, mentre per un regime di *corrente veloce* occorre introdurre la quota del pelo libero nella sezione più a monte del tratto di corso d'acqua considerato.

Nel caso in oggetto, essendo la simulazione stata effettuata in corrente lenta, si è assegnata all'estremo di valle la transizione attraverso la profondità critica.

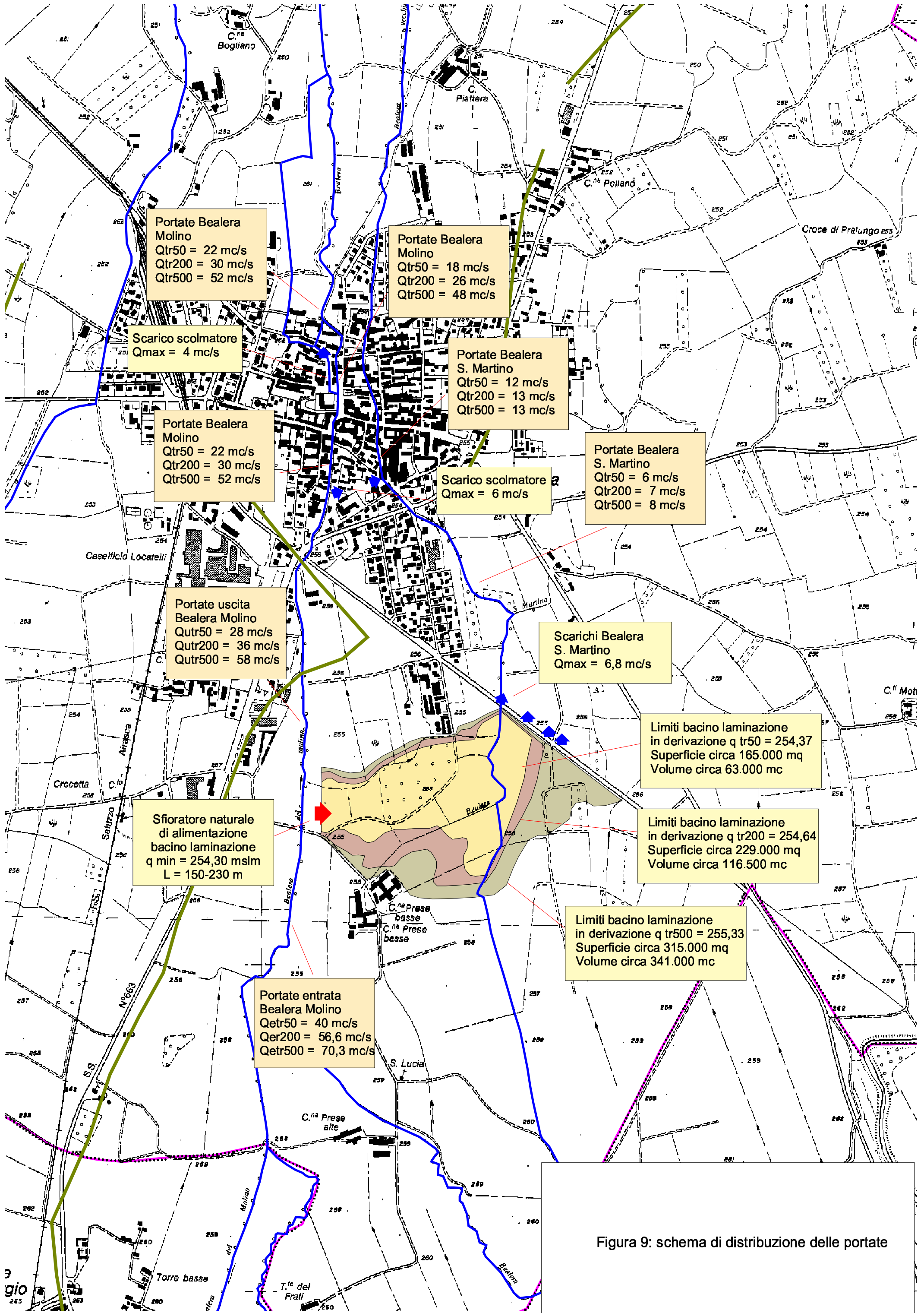
Per la caratterizzazione della scabrezza dell'alveo e delle aree circostanti, da esprimere in termini del coefficiente  $n$  di Manning (in  $m^{-1/3} \cdot s$ ), si è fatto ricorso ai valori riportati in varie tabelle disponibili sia nel manuale di riferimento prima citato, sia in altra documentazione bibliografica.

Per le sezioni d'alveo naturale i valori di tale parametro sono stati imposti uguali 0.035 (valore valido per corsi d'acqua naturali piuttosto regolari, con pochi ciottoli, ghiaia e vegetazione variabile, con talora zone di ristagno); in corrispondenza ai segmenti nei quali l'alveo è artificializzato, caratterizzato quindi da una superficie in calcestruzzo, il coefficiente  $n$  è stato imposto uguale a 0,015; per le aree esterne all'alveo, interessabili dal flusso idrico, sono stati posti valori di 0.04.

Per quanto riguarda invece i coefficienti di espansione e contrazione, il loro valore è stato imposto rispettivamente uguale a 0,1 e 0,3.

Di fondamentale importanza per la definizione della modellizzazione è stato l'inserimento di una Storage Area in sponda destra alimentata da una Lateral structure tra le sezioni 37.1 e 33, che ha consentito al modello di valutare, a seguito di calcoli iterativi per la definizione delle portate di diversione, i volumi oggetto di laminazione e le portate residue defluenti nella Bealera del Molino.

Le portate di simulazione inserite nei vari tratti dei due modelli sono riassunte in figura 11.



## 5 Sintesi dei risultati

Applicando la metodologia illustrata nel paragrafo precedente è stata effettuata la simulazione, in moto permanente, del deflusso nel tratto esaminato.

I risultati dei calcoli sono riportati in Appendice 1 (tabella riassuntiva dei profili longitudinali per la portata di progetto e relazione di calcolo dettagliata), dove sono riportati gli elaborati grafici di output del modello che consentono di descrivere il comportamento della Bealera del Molino e della Balera San Martino nelle condizioni ipotizzate.

L'implementazione del modello idraulico ha messo in evidenza la presenza di alcune criticità lungo alcuni tratti dei corsi d'acqua analizzati.

Per la Bealera del Molino, nel tratto più a monte, fino all'attraversamento posto in corrispondenza alla sezione idraulica 37.25, l'alveo si presenta insufficiente già per la portata relativa al TR 50; le aree inondabili con tempo di ritorno di 500 anni sono estese in sponda destra fino ad alcune centinaia di metri, con tiranti anche superiori a 50 centimetri. In riferimento all'attraversamento di cui sopra, la luce risulta insufficiente allo smaltimento della portata relativa al TR 50.

A valle di tale opera idraulica, fino in corrispondenza alla sezione 33, fenomeni di inondazione interessano estese aree su entrambe le sponde; tali settori, che rappresentano un bacino di laminazione parzialmente in derivazione e parzialmente in linea, sono caratterizzati da tiranti idrici anche superiori al metro.

Nel segmento della Bealera del Molino compreso tra le sezioni 33 e 27.25 sono associate aree inondabili per portate con tempo di ritorno di 500 anni, caratterizzate soprattutto in sponda destra da una fascia di ampiezza superiore a 100 metri.

A valle dell'attraversamento di sezione 27.25 aumenta notevolmente la capacità di smaltimento dell'alveo; solo la portata relativa al TR 500 risulta localmente non contenuta nel canale, interessando peraltro aree estese poche decine di metri sulla sola sponda destra. Gli attraversamenti delle sezioni 26.25 e 23.25 risultano insufficienti alla sola portata del TR 500, mentre l'attraversamento di sezione 25.25 è in grado di smaltire anche quest'ultima.

Per quanto riguarda il tratto compreso tra l'attraversamento 23.25 e l'imbocco di monte della canalizzazione 14.25, il modello implementato sottolinea la presenza di alcune situazioni di criticità: in corrispondenza alla sezione 20 l'alveo della Bealera del Molino risulta insufficiente già per la portata relativa al TR 50; tale criticità interessa esclusivamente la sponda sinistra, essendo la sponda opposta caratterizzata dalla presenza di un muro in calcestruzzo. Il segmento di corso d'acqua ubicato immediatamente a valle risulta delimitato su entrambi i lati da muri in calcestruzzo: l'opera realizzata sulla sponda sinistra è in grado però di contenere la sola portata relativa al TR 50, consentendo per portate maggiori la formazione di aree inondate estese fino ad oltre 50 metri dall'asse del canale.

Per ciò che concerne la sezione di monte della canalizzazione 14.25, essa risulta essere dimensionata per lo smaltimento della sola portata relativa al TR50; in riferimento alle portate maggiori, il modello evidenzia una situazione piuttosto critica:

sulla sponda destra, infatti, le aree interessate da fenomeni di inondazione si estendono a circa 100 dall'asse della Bealera del Molino.

A valle della canalizzazione di cui sopra, invece, la sezione d'alveo migliora nettamente la capacità di smaltimento, risultando, fino in corrispondenza alla sezione 8, in grado di contenere la portata con TR 500. A valle di tale segmento, in particolare tra le sezioni 7 e 4, la simulazione evidenzia l'insufficienza del canale per portate relative al tempo di ritorno di 500 anni.

In corrispondenza all'ultimo tratto modellizzato non sono emerse particolari criticità; solo all'altezza della sezioni 3 e 2, immediatamente a valle della derivazione del canale irriguo per Faule, l'area compresa tra quest'ultimo e la Bealera del Molino risulta allagabile per portate relative al TR 500.

Per quanto riguarda la Balera San Martino, le uniche aree inondabili già a partire da portate relative al TR50 sono presenti a monte della sezione 23 ed in corrispondenza dell'area ribassata presente sulla sponda destra in sezione 22.