

COMUNE DI CAMERI  
REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI NOVARA

*PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI*

*"Legge 18 Maggio 1989, n° 183 e successive modifiche e integrazioni, Art. 17, comma 6 ter,  
approvato con D.P.C.M. 24 Luglio 1998"*

*VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITA' IDRAULICA DEGLI INSEDIAMENTI  
PREVISTI LUNGO IL T. TERDOPPIO ALL'INTERNO DELLE FASCE A E B  
DEL PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI*

RELAZIONE GEOIDROLOGICA

ARONA, OTTOBRE 1999

STUDIO GEOLOGICO EPIFANI  
Via XX Settembre, 73 - 28041 ARONA (NO)

☎ 0322/241531 - 📠 0322/48422  
E-MAIL: EPIFANI@INTERCOM.IT

DOTT. GEOL. F. EPIFANI

## SOMMARIO

1. PREMESSA .....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO .....	4
2.1 COMMENTO ALLA CARTA RELIZZATA .....	5
3. CARATTERIZZAZIONE FISICA DEL BACINO.....	7
4. ANALISI IDROGEOLOGICA .....	11
4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO .....	11
4.2 ANALISI CLIMATOLOGICA .....	16
4.3 EQUAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA.....	18
4.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA.....	22
4.4.1 Generalità.....	22
4.4.2 Metodologia utilizzata.....	24
4.5 VERIFICA DELLE SEZIONI DI DEFLUSSO.....	25
4.5.1. Generalità.....	25
4.5.2 Commento dei risultati e proposte d'intervento .....	26
5. FASCE FLUVIALI: PROPOSTA DI MODIFICA.....	30

## 1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Cameri con Delibera di Consiglio n° 7 del 18.02.1991 approvava il Piano Esecutivo Convenzionato (PEC) sulla S.S. 32 "Ticinese".

A distanza di anni le varie attività esistenti in questo settore dovendo ampliarsi richiedevano al Comune la concessione edilizia al fine di procedere con i lavori; anche più a Sud di questa zona in prossimità della Strada Provinciale n° 2 Cameri - Novara, sono presenti delle aziende che dovendo espandersi rivolgevano formale domanda di autorizzazione.

Entrambe le aree però, trovandosi in sponda sinistra del T. Terdoppio a distanze differenti mai comunque superiori ai 100 metri, ricadono all'interno delle fasce "A" e "B" del PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (Legge 18 Maggio 1989, n° 183 e successive modifiche e integrazioni, Art. 17, comma 6 ter, approvato con D.P.C.M. 24 Luglio 1998) e come tali sono sottoposte a specifiche normative; in particolare l'Art. 15 delle Norme di Attuazione sancisce: *"all'interno della fascia "A" e "B" è consentita la realizzazione di nuove opere pubbliche di competenza degli organi statali, regionali o degli altri enti territoriali e quelle di interesse pubblico a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo nelle fasce, costituendo significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità d'invaso. I progetti devono essere corredati da uno studio che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni. Gli interventi e gli studi sono sottoposti all'Autorità idraulica competente ai fini dell'espressione di parere di compatibilità rispetto al Piano di Bacino o ai suoi stralci"*.

Alla luce di questi elementi l'Amministrazione Comunale incaricava lo scrivente di redigere uno studio idrogeologico per verificare la compatibilità degli interventi con lo stato dei luoghi.

Con la Deliberazione n° 2/99, dell'11 Maggio 1999, veniva pubblicata la Direttiva "CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE INFRASTRUTTURE PUBBLICHE E DI INTERESSE PUBBLICO ALL'INTERNO DELLE FASCE A E B", alla quale faremo riferimento per l'indagine in questione. Lo studio in particolare dovrà soddisfare i seguenti punti, che costituiscono la caratterizzazione conoscitiva del sistema fluviale e la valutazione degli effetti ascrivibili al progetto di intervento:

- assetto geometrico dell'alveo;
- caratteristiche morfologiche dell'alveo;
- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo;
- caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale;

- portate di piena;
- opere di difesa idrauliche;
- manufatti interferenti;
- modalità di deflusso in piena;
- effetti degli interventi in progetto.

Per ottemperare alle richieste formulate si è proceduto come segue:

- esecuzione di una serie di sopralluoghi durante i quali si è provveduto al rilievo topografico del tratto di corso d'acqua interessato dal progetto;
- studio morfometrico del bacino idrografico del Torrente Terdoppio;
- analisi delle portate affluenti alla sezione di chiusura;
- verifiche delle sezioni di deflusso.

Le presenti note rappresentano la sintesi delle indagini e delle verifiche effettuate.



## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area in esame, situata nella pianura piemontese ad Ovest del Fiume Ticino, presenta una morfologia e dei litotipi principalmente legati ad una successione di eventi di origine fluvioglaciale e fluviale.

In particolare, la pianura situata a Nord del limite dei fontanili risulta costituita da alluvioni prevalentemente ghiaiose, localmente molto grossolane, di età würmiana e rissiana (Auct.), che formano il terrazzo principale con andamento continuo in direzione NO-SE, subparallelo all'alveo attuale del F. Ticino, limitato da una scarpata di modesta pendenza, di altezza circa 20 metri. Si tratta di ghiaie con paleosuoli argillosi giallo-rossicci, di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti, distinte sul Foglio Geologico n° 44 "NOVARA" con la sigla fg<sup>wr</sup>.

A Sud del limite dei fontanili affiorano alluvioni fluvioglaciali ghiaioso ciottolose e fluviali, prevalentemente sabbioso-limose, con un debole strato di alterazione brunastro, risalenti al Würm (fg<sup>w</sup> nella Carta Geologica d'Italia). In questo caso, dunque, la linea dei fontanili demarca un episodio di incisione e di conseguente sedimentazione dei corsi d'acqua durante il periodo glaciale würmiano (Pleistocene superiore finale) a spese del terrazzo del Riss-Würm (Pleistocene superiore).

Da un punto di vista litostratigrafico, si può così notare come la successione fluvioglaciale würmiano-rissiana sia inclinata moderatamente verso SE, e risulti di composizione eterogenea, prevalentemente ghiaiosa; in particolare, a tetto lo spessore ghiaioso-ciottoloso risulta pressoché continuo, mentre inferiormente si rilevano intervalli sabbiosi e più limitatamente limosi. Il deposito presenta da Nord a Sud una potenza variabile da 40 a 50 m; nella successione si riconoscono geometrie lenticolari, nell'ordine dei due tre metri di spessore.

A letto della coltre fluvioglaciale si evidenzia un complesso costituito da alternanze di livelli prevalentemente sabbioso-limosi e sabbiosi, in minor misura ghiaiosi. Gli intervalli hanno spessori estremamente variabili, da 1-2 m fino ad alcune decine di metri, mostrando generalmente geometrie lenticolari. Il passaggio al complesso superiore non è netto, ma graduale, in parte riconoscibile per le granulometrie più grossolane dei depositi sommitali e per la presenza di intervalli limoso-sabbiosi.

## 2.1 COMMENTO ALLA CARTA RELIZZATA

Nella "CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA" (Tavola 1), in scala 1: 10.000, viene analizzato il settore Sudorientale del territorio comunale di Cameri, in quanto costituente l'intorno significativo rispetto alla sezione di chiusura del bacino idrografico del T. Terdoppio.

Sono stati cartografati i principali depositi e gli elementi geomorfologici presenti sul territorio, rilevati mediante sopralluoghi in sito con il supporto di foto aeree e mediante il confronto con lavori precedenti svolti dallo scrivente, senza trascurare la cartografia ufficiale "Carta Geologica d'Italia" in scala 1: 100.000 Fg. n° 44 "NOVARA".

In generale le diverse facies individuabili sul terreno non sono state distinte in carta perché del tutto insignificanti alla scala proposta e perché appartengono alla stessa unità litologica, infatti sono attribuibili principalmente a depositi di canale e di barre fluviali trasversali e longitudinali e, localmente, dove maggiore è la quantità di sedimenti fini, a facies di argine naturale.

L'elemento che appare evidente da un primo sguardo alla carta è il "*limite settentrionale dei fontanili*", cartografato in colore arancio con un tratteggio, ad indicare un limite teorico, che condiziona la posizione dei diversi depositi che andremo di seguito analizzando in dettaglio. Questo limite è ubicato ad Est del corso del Torrente Terdoppio: a monte affiorano le alluvioni fluvioglaciali ghiaiose ( $fg^{WR}$ ) del Pleistocene medio-superiore, mentre a valle i depositi fluvioglaciali e fluviali ( $fg^W$ ) del Pleistocene superiore.

- Alluvioni fluviali e fluvioglaciali ( $fg^W$ ): si tratta di alluvioni ghiaioso-ciottolose le prime, mentre le seconde sono prevalentemente sabbioso-limose, con un debole strato di alterazione brunastro, risalenti al Würm;
- Alluvioni fluvioglaciali ( $fg^{WR}$ ): sono costituiti in genere da ghiaie con ciottoli e sabbie (i clasti, come del resto i ciottoli, sono ben arrotondati, di forma allungata o sferoidale e di natura differente), localmente limosi riferibili ad ambiente di sedimentazione alluvionale di corsi d'acqua a canali anastomosati. Presentano paleosuoli argillosi giallo-rossicci, di ridotto spessore, talora ricoperti da limi più recenti.

Dal punto di vista geomorfologico il territorio è subpianeggiante, digradante verso S-SE con una pendenza di circa 0.18%.

Sono presenti sul territorio un numero ridotto di elementi legati alla dinamica fluviale: si tratta di orli di terrazzo e tracce di corsi d'acqua estinti (paleoalvei); per un maggior dettaglio si rimanda però alla Tavola 2, che focalizzando l'attenzione sul tratto di Terdoppio oggetto delle

osservazioni (dal Canale Regina Elena al ponte sulla Strada Provinciale n° 2 Cameri-Novara) riporta in scala adeguata 1: 2500, gli elementi morfologici individuati durante il sopralluogo.

Gli orli di terrazzo sono originati dall'erosione spondale del corso d'acqua, a causa del graduale approfondimento: si tratta di orli pressoché continui con dislivello limitato.

Per quanto concerne possibili paleoalvei, è presente una traccia di corso d'acqua estinto in prossimità della sponda idrografica destra del T. Terdoppio a Nord della carta.

Il corpo idrico principale è costituito dal T. Terdoppio che scorre con direzione N-S, relativamente incassato rispetto a piano campagna. Accanto ad esso è stata rilevata sull'intero territorio una fitta rete idrografica, principalmente artificiale, a distribuzione capillare, che comprende cavi e rogge con fossi distributori e colatori relativi alle pratiche irrigue: essi formano nel complesso un reticolo superficiale a maglie abbastanza regolari attorno ai campi, essendo l'attività principale costituita dall'agricoltura.

La maggior parte di essi sono però asciutti durante i periodi che non comportano l'irrigazione dei campi, mentre i canali artificiali più rilevanti, diramazioni dai grossi corsi d'acqua, quali il F. Ticino, lo stesso T. Terdoppio, essendo regimati non costituiscono problema alcuno e risultano asciutti limitatamente ai periodi necessari per eseguire le operazioni di pulizia e di manutenzione delle strutture.

### 3. CARATTERIZZAZIONE FISICA DEL BACINO

Prima di entrare nel dettaglio delle caratteristiche morfometriche e idrogeologiche del bacino del T. Terdoppio, si vogliono fornire alcune informazioni generali sul corso d'acqua in studio.

Con il nome di Terdoppio si intende quel torrente che in origine certamente costituiva un unico corso d'acqua ma che a partire dall'epoca medioevale è stato interrotto per dar luogo a numerose derivazioni irrigue; allo stato attuale risulta infatti suddiviso in due tronchi distinti tra loro non più collegati, ossia il *Terdoppio Novarese*, dalle sorgenti all'immissione nella Roggia di Cerano, e il *Terdoppio Lomellino*, dai vari fontanili che lo riformano (Senella, Refreddo, ecc.) alla confluenza nel Po.

In questo ambito focalizzeremo l'attenzione sul solo tratto Novarese, in quanto l'area d'intervento è ubicata in Comune di Cameri.

Il corso d'acqua nasce dai rilievi collinari di Divignano e Agrate Conturbia, scende verso la pianura novarese; l'alveo fino all'altezza di Cameri, è di tipo monocursale, con andamento da sub-rettilineo a sinuoso a meandriforme.

Il bacino idrografico del T. Terdoppio, considerato alla sezione di chiusura (ponte sulla Strada Provinciale n° 2 che da Cameri porta a Veveri), ha un'estensione di 97.88 kmq; esso coinvolge numerose Sezioni delle Carte Tecniche Regionali piemontesi (si precisa che per motivi grafici la stampa del bacino idrografico, Tavola 3, è stata effettuata però a scala 1: 25.000, sebbene la base topografica sia stata assemblata a scala 1: 10.000), in particolare:

- n° 094110 "BOGOGNO";
- n° 094120 "VARALLO POMBIA";
- n° 094150 "SUNO";
- n° 094160 "OLEGGIO";
- n° 116030 "MOMO";
- n° 116040 "BELLINZAGO NOVARESE";
- n° 116070 "SOLOGNO";
- n° 116080 "CALTIGNAGA";
- n° 116110 "SAN PIETRO MOSEZZO";
- n° 116120.

Per quanto riguarda la sezione di chiusura scelta per il bacino idrografico si vogliono fare alcune precisazioni: sebbene le aree oggetto di investigazione, una all'altezza della S.S. 32

“Ticinese”, l'altra sulla Provinciale n° 2, distino 1.5 km circa, cautelativamente si è ritenuto opportuno considerare il punto più meridionale per la chiusura (S.P. n° 2) e lavorare così a favore della sicurezza. Le caratteristiche fisiografiche del bacino in questo settore sono comunque tali da non compromettere i risultati: infatti i bassi dislivelli altimetrici, l'omogeneità stratigrafica e morfologica sono elementi che portano a valori del tutto confrontabili, a prescindere dal punto di chiusura prescelto.

La forma del bacino idrografico del T. Terdoppio è subtriangolare, si allarga gradualmente dalla sezione di chiusura, verso l'area di sorgente nei pressi di Agrate Conturbia: la maggior distribuzione areale delle fasce si registra tra i 160 e i 260 m s.l.m..

La sezione di chiusura è ubicata a quota 153 m s.l.m.: nella parte sommitale del bacino, l'asta principale, che coincide in carta con il corso d'acqua denominato Rio Oriale, si origina a quota 322 m s.l.m., e alla sezione di chiusura presenta una lunghezza pari a 29.96 km, con una pendenza media pari a 0.557%.

Non si nascondono le difficoltà incontrate nel tracciare il bacino, soprattutto nelle aree più pianeggianti presenti in sponda idrografica destra (zone di Suno, Momo, Caltignaga e la stessa Cameri); la presenza inoltre del T. Agogna ad Ovest del T. Terdoppio (i due corsi d'acqua sono separati da una fascia a bassissima pendenza sia in direzione Nord-Sud che Est-Ovest), ha reso più complicato l'individuazione del limite. Si sono dovute tracciare le isoipse principali (non segnate sulla base cartografica a scala 1: 10.000) per apprezzare tutte le vallecole e i dossi presenti e stabilire quali facenti parti di un bacino piuttosto che dell'altro.

Come evidenziato nella Tavola 3 “BACINO IDROGRAFICO E FASCE ALTIMETRICHE”, la morfologia appare disomogenea: nella parte alta del bacino, a partire da quota 240 m s.l.m. fino alle quote superiori (360 m s.l.m.), le pendenze raggiungono i valori maggiori compresi tra il 15% e il 25% (si raggiungono punte massime, isolate, intorno al 40% in corrispondenza di alcune scarpate). Grazie ai nostri sopralluoghi effettuati in territorio di Agrate Conturbia, per la redazione del P.R.G.C., si è potuto effettivamente osservare che in questo settore, il territorio è molto articolato per la presenza di numerosi impluvi, con scarpate scoscese, in cui scorrono gli affluenti del T. Terdoppio, e per la presenza di svariati dossi.

Al di sotto dei 240 m s.l.m. invece, le pendenze diminuiscono repentinamente fino a raggiungere valori minimi di 0.18%.

Il bacino presenta di conseguenza una pendenza media pari allo 0.867%.

Le quote altimetriche del bacino variano da un minimo di 153 m s.l.m. ad un massimo di 360.5 m s.l.m.; l'altitudine media derivata dallo sviluppo dell'integrale della curva ipsografica  $h_m$  è risultata pari a 260.90 m s.l.m. (si veda il grafico nella pagina seguente).

La curva, che permette anche di sintetizzare le caratteristiche orografiche del bacino, si traccia in funzione delle altezze e delle rispettive aree cumulate, suddividendo il bacino in intervalli di quota, da quella minima alla massima, e valutandone l'area di ciascuno (fasce altimetriche). Si devono quindi eseguire i rapporti tra le aree dei singoli intervalli ( $a$ ) e l'area totale del bacino ( $A$ ), e quelli tra i dislivelli degli intervalli rispetto al piano di base ( $h$ ) ed il dislivello totale del bacino ( $H$ ). La funzione della curva che si ottiene è del tipo:

$$y = f(x) \quad \text{dove:}$$

$$y = h/H;$$

$$x = a/A.$$

Dalla curva ipsometrica si ricava l'altezza media del bacino, risolvendo il seguente integrale:

$$H_m = (1/A) \cdot \int_A a_i \cdot h_i, \text{ con}$$

$A$  = area totale del bacino;

$a_i$  = area del bacino compresa nell'intervallo  $i$ -esimo di quota;

$h_i$  = altitudine media dell'intervallo di quota  $i$ -esimo.

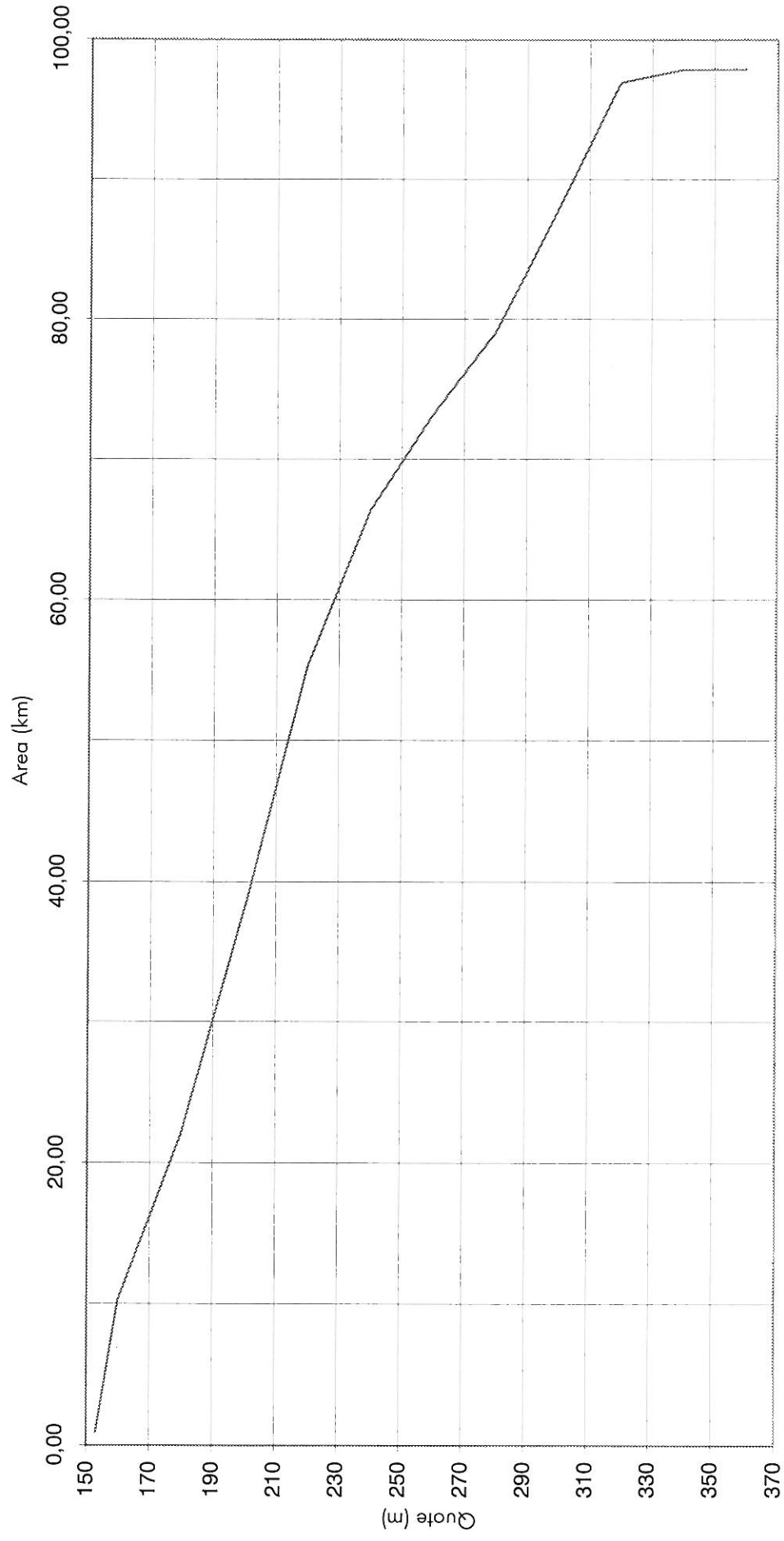
L'analisi della curva ottenuta permette di valutare il grado di evoluzione raggiunto dal bacino esaminato. In merito allo stadio evolutivo di un bacino, si deduce che esso può trovarsi in una delle seguenti fasi:

FASE	CONSIDERAZIONI
GIOVANILE	la curva ipsometrica presenta una prevalente convessità verso l'alto con un valore medio dell'integrale superiore al 60%.
MATURA	la curva ipsometrica presenta un flesso prossimo al 50%.
SENILE	la curva ipsometrica presenta una prevalente concavità verso l'alto con un valore medio dell'integrale inferiore al 30%.

È bene puntualizzare che in una curva ipsometrica la distribuzione relativa delle aree e delle quote è subordinata alla forma della proiezione orizzontale del bacino sulla carta topografica, la curva assume un significato positivo solo se la forma del bacino stesso è regolare e di tipo subrettangolare, cosa difficile da verificarsi.

## Curva ipsografica del bacino del T.Terdoppio

Flesso = 50,4%      Bacino in fase matura  
Altezza media = 260,90 m s.l.m.      Altezza massima rispetto alla sezione di chiusura = 207,5 m s.l.m.





È quindi più rappresentativo limitare l'analisi alla parte centrale della curva ipsometrica, cioè quella compresa tra il 15 e l'85% dell'area totale, in quanto è quella che permette l'indagine appropriata del grado di evoluzione raggiunto.

Per la costruzione della curva ipsografica si è suddiviso l'intero bacino in dodici fasce altimetriche con dislivello pari a 20 m, le cui superfici sono raccolte nella tabella qui riportata.

FASCIA ALTIMETRICA (m s.l.m.)	AREA (kmq)
< 160	0.9057
160÷180	9.3377
180÷200	11.8571
200÷220	16.0693
220÷240	17.1576
240÷260	11.0533
260÷280	6.7983
280÷300	5.8858
300÷320	8.7587
320÷340	9.1103
340÷360	0.9428
> 360	0.0102

Dall'esame delle distribuzioni percentuali si nota che:

- le fasce comprese tra 180 m s.l.m. e 260 m s.l.m. presentano l'estensione maggiore, superiore ai 10 kmq;
- le fasce comprese tra 160 m s.l.m. e 180 m s.l.m. e quelle comprese tra 260 m s.l.m. e 340 m s.l.m., sono caratterizzate da un'estensione areale inferiore alle precedenti, in ogni caso considerevole, più precisamente compresa tra 5 e 10 kmq;
- le porzioni rimanenti del bacino (fasce <160 m s.l.m. e >340 m s.l.m.) presentano una superficie areale inferiore a 1 kmq.

L'analisi della curva ipsometrica ha permesso di valutare inoltre, il grado di evoluzione del bacino: poiché la curva presenta un flesso pari al 50.4% si ritiene che il bacino del T. Terdoppio si trovi in fase matura.



## 4. ANALISI IDROGEOLOGICA

### 4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO

Rifacendosi alla direttiva allegata alla deliberazione n° 2/99 dell'11 Maggio 1999 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, nel seguente paragrafo provvederemo a descrivere in dettaglio quanto rilevato durante il sopralluogo del 14 Ottobre 1999: nel tratto di asta torrentizia del Terdoppio, compreso tra l'intersezione del Canale Regina Elena con il corso d'acqua e il ponte sulla strada che da Cameri porta a Veveri, si è avuta cura di annotare tutti gli elementi morfologici, ambientali, le opere di difesa spondali esistenti, al fine di caratterizzarne la dinamica fluviale. Suddividendo il tratto suddetto in tre tronconi, nelle pagine seguenti illustreremo le peculiarità morfologiche di ciascuno di essi, integrando i dati con relativa documentazione fotografica riportata nell'apposito Allegato 1.

#### I. TRATTO - CANALE REGINA ELENA, S.S. 32 TICINESE

Il tratto in narrativa del Terdoppio ha fatto registrare una lunghezza complessiva di 1 km circa: il corso è abbastanza rettilineo con sezione di deflusso regolare, fatta eccezione per un ampio meandro rilevato all'intersezione della strada sterrata proveniente dalla Ditta IGOR (produzione di gorgonzola) con l'alveo del torrente stesso.

Il punto più settentrionale del tratto in narrativa è visibile in foto 3, dove il Canale Regina Elena interseca il corso d'acqua, defluendo al di sopra dello stesso. La particolare conformazione dell'alveo nel tratto immediatamente a monte dell'intersezione con il canale, fa in modo che la sponda destra sia soggetta a fenomeni erosivi, mentre su quella sinistra prevalgano le forme deposizionali. A conferma della tipologia evolutiva descritta si è constatato che a protezione della sponda destra è stato eseguito un muro in cemento armato ulteriormente rinforzato da blocchi ben squadriati in calcestruzzo; anche in sponda sinistra comunque sono state rilevate delle difese spondali costituite dagli stessi blocchi di cui sopra ma per un'estensione inferiore (si faccia riferimento alla Tavola 2 "RILIEVO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO" per apprezzare l'esatta posizione delle suddette opere di difesa spondale, limitate nel tratto d'ingombro del Canale Regina Elena). Occorre inoltre precisare che in sponda sinistra la tendenza alla deposizione del corso d'acqua ha portato alla formazione di una barra laterale, caratterizzata da una folta e fitta vegetazione arbustiva (in primo piano nella foto 3): tale barra si chiude immediatamente a valle del canale come è possibile vedere dalla foto 2 (in sinistra fotografica).

Proseguendo verso valle l'alveo mostra una sezione di deflusso regolare, caratterizzata da fondo piatto, sabbioso-limoso, senza ciottoli; le sponde in questo primo tratto, alternano campi coltivati a settori inerbiti con rare piante (talora affondati le proprie radici in acqua, foto 4 e 5), mentre a valle della strada sterrata proveniente dalla IGOR, entrambe le rive risultano fittamente boscate (foto 6).

Per quanto riguarda l'altezza delle sponde si evidenzia:

- la sponda destra, a partire dal canale Regina Elena si mantiene abbastanza costante sui  $2 \div 2.5$  m circa, fino all'altezza della foto 5;
- la sponda sinistra invece, è molto più articolata in quanto va gradatamente diminuendo da Nord verso Sud, si passa infatti dai 2.5 metri in corrispondenza del canale Regina Elena ai 50 cm scarsi all'altezza della strada sterrata della IGOR. Le pendenze della sponda sinistra sono però molto più dolci rispetto a quanto osservato in destra idrografica (il fatto è stato messo in evidenza anche sulla Tavola 2, dove la diversa lunghezza delle barbette dei terrazzi è indicativa della minor o maggior inclinazione delle scarpate di raccordo: più i trattini sono lunghi maggiore è la pendenza).

All'altezza della strada sterrata proveniente dalla IGOR la sponda sinistra fa registrare l'altezza minore (è stata pertanto battuta una sezione trasversale all'alveo da sottoporre a verifica idraulica): il rilevamento di un piccolo terrazzo orientato Nord-Sud (altezza intorno ai 50 cm) a valle della strada sopra citata e arretrato un centinaio di metri dalla sponda attiva del corso d'acqua (per la posizione si faccia riferimento alla Tavola 2), è un elemento naturale che favorisce il contenimento delle acque di un'eventuale piena. Questo terrazzo risulta interrotto in corrispondenza della strada sopra citata, ma a Nord della stessa ne ritroviamo la prosecuzione, ben visibile in sinistra della foto 4. La discontinuità di questo terrazzo è da attribuire con tutta probabilità alla fiorente attività agricola: la coltivazione dei campi può aver parzialmente cancellato il terrazzo in esame.

Continuando a scendere lungo il corso d'acqua si è incontrata all'altezza della Ditta Santi (altra azienda produttrice di gorgonzola) una soglia stabilizzata costituita da pietre sagomate intasate nel calcestruzzo (foto 8 e 9): immediatamente a monte, foto 7 e a valle, foto 9 è stata riscontrata una serie di barre longitudinali, tutte colonizzate da una fitta vegetazione arbustiva, esondabili solo in occasione di eventi di piena eccezionali. Dalla soglia in perfetto stato di conservazione, si diparte un canale in terra (profondità 2 m circa, larghezza variabile dal metro sul fondo a 1.5-2 m circa a piano campagna) che prosegue parallelamente al corso del

Terdoppio, sottopassa la S.S. 32 Ticinese per poi diramarsi nei fossi e nelle canalette dei campi coltivati qui presenti.

La foto 10 riprende un'altra barra longitudinale in sinistra idrografica, anch'essa colonizzata da una discreta vegetazione arbustiva, che può essere temporaneamente invasa dalle acque di piena in occasione di eventi meteorici eccezionali. Durante il sopralluogo si è potuto constatare come sulla parte della barra a ridosso della sponda sia presente un piccolo fosso, via preferenziale di deflusso delle acque durante le piene.

Per quanto riguarda questo tratto compreso dalla soglia sopra citata fino al ponte sulla S.S. 32 Ticinese vanno ancora evidenziati alcuni elementi geomorfologici di notevole rilievo che garantiscono l'incolumità della sponda idrografica sinistra, dove si sono insediati svariati nuclei industriali e artigianali: sono stati individuati due ordini di terrazzo il primo a ridosso del corso d'acqua, il secondo più arretrato e rialzato più di 2.5 metri rispetto all'alveo.

Nel tratto immediatamente a monte del ponte sulla S.S. 32, la sponda destra di altezza circa 1 m, a ridosso dell'alveo è decisamente più bassa (vedi foto 11) rispetto a quella sinistra ripresa in foto 12 di altezza intorno ai 2.5 m: la particolare morfologia della sponda destra funge però da cassa di espansione durante eventi di piena, e riesce a contenere l'innalzamento del livello idrico, grazie ad un secondo terrazzo rialzato di un ulteriore metro rispetto a quello sul corso d'acqua (in foto 11 il terrazzo alto è quello che si intravede sullo sfondo a delineare il limite dei campi coltivati).

## II. TRATTO - S.S. 32 TICINESE, CANALE CAVOUR

Questo secondo tratto, di lunghezza 450 m circa, non presenta elementi morfologici particolari: le sponde sono caratterizzate da una fitta vegetazione boschiva (si faccia riferimento alla foto 14 in cui numerosi alberi intestano le loro radici direttamente nell'acqua), di altezza variabile non solo da una sponda all'altra ma anche nel senso di scorrimento dell'acqua. La sponda destra in corrispondenza della S.S. 32 "Ticinese" fa registrare altezze intorno ai 4-5 m che si riducono a 2 m circa nei pressi del Canale Cavour; la sponda sinistra invece, mostra un andamento contrario, più bassa a valle della S.S. 32, con dislivelli intorno ai 2.5 m che va gradatamente aumentando fino ai 4 m circa vicino al Canale Cavour.

La fiorente attività agricola sviluppata su entrambe le sponde e la mancanza di qualsiasi insediamento residenziale e/o industriale non costituisce problema alcuno anche per eventuali esondazioni, comunque mai documentate negli archivi comunali in questo settore.

La foto 13 inquadra il canale presente appena a valle del ponte sulla S.S. 32 Ticinese: allo stato attuale risulta abbandonato e inutilizzato, tanto che al suo interno è cresciuta una vegetazione spontanea.

### III. TRATTO - CANALE CAVOUR, STRADA CAMERI-VEVERI

L'ultimo tratto preso in considerazione è quello più lungo, esteso per 1200 m circa.

Partendo immediatamente a valle della passerella inquadrata in foto 16, che permette l'attraversamento del T. Terdoppio, abbiamo rilevato che i primi 50 metri circa del corso d'acqua sono caratterizzati da muri d'ala in cemento armato su entrambe le sponde e da tre soglie stabilizzanti a distanza variabile (le prime due ad una decina di metri l'una dall'altra, la seconda e la terza invece ad una ventina di metri). La foto 15 e la 16 citata, inquadrano la situazione adesso descritta: si precisa inoltre che a differenza di quanto osservato per il Canale Regina Elena, il Canale Cavour oltrepassa il T. Terdoppio sifonato (proprio in corrispondenza dell'edificio in mattoni rossi le acque che scorrono a cielo aperto nel canale vengono convogliate sotto l'alveo del Terdoppio per oltrepassarlo).

Anche a valle di questo punto le sponde presentano le medesime caratteristiche del II° tratto: fitta vegetazione boschiva con molti alberi nell'alveo del torrente, talora riversi sullo stesso a causa della continua azione erosiva operata dalla corrente di deflusso.

È bene sottolineare che le caratteristiche geomorfologiche più interessanti sono state individuate ancora una volta, in sponda idrografica sinistra, mentre la riva destra è risultata più omogenea.

All'altezza di C.<sup>na</sup> Bollini, il corso d'acqua forma un ampio meandro destro nel quale sono stati osservati diversi elementi, in particolare:

- nel tratto iniziale del meandro, in sponda sinistra è presente una gabbionata per un centinaio di metri in buono stato di conservazione che viene poi sostituita da un argine in terra: esso prosegue ininterrottamente per tutta l'ampiezza del meandro. L'argine posto a difesa dei campi adiacenti è stato impostato su un terrazzo rialzato rispetto alla quota di fondo alveo: in occasione di eventi di piena eccezionali questo terrazzo viene invaso dalle acque, ma l'argine le contiene abbondantemente come confermano le evidenze osservate in sito. A testimonianza del passaggio delle acque di piena si sono rilevati numerosi assi di deflusso preferenziale, rappresentati da piccoli fossi profondi una ventina di centimetri.

Oltre l'argine in terra, prima di arrivare al piano dei campi coltivati è stato rilevato un altro

orlo di terrazzo (naturale non artificiale come l'argine) che assicura un ulteriore grado di protezione. Su quest'ultimo terrazzo è presente con orientazione grosso modo NNO-SSE una vallecchia a fondo piatto, probabile paleoalveo del Terdoppio, prima della realizzazione delle opere di difesa spondali citate (gabbionata, argine in terra);

- spostandosi in alveo invece, nell'ansa prima del meandro e a ridosso della sponda sinistra dello stesso (foto 17), sono visibili due barre longitudinali interessate da sporadici cespugli d'erba e numerosi ciottoli. Le uniche testimonianze del trasporto solido del corso d'acqua sono rappresentate da queste "barre", in quanto il fondo alveo è ovunque sabbioso-limoso;
- la sponda destra del meandro invece, a causa dell'incisiva azione erosiva della corrente è stata protetta da una scogliera in blocchi irregolari, posati disordinatamente (foto 18).

A valle del meandro, procedendo lungo il corso d'acqua è stata riscontrata una situazione molto particolare sempre in sponda sinistra, all'altezza della strada sterrata proveniente da C.<sup>na</sup> Bollini: un acquitrino circondato da una fitta vegetazione boschiva (foto 19, 20, 21). La sequenza fotografica proposta mostra rispettivamente la zona di testata, il settore intermedio e l'area di valle: l'acquitrino si colloca ad un piano rialzato rispetto all'alveo e a tergo dello stesso si sviluppa un terrazzo naturale, continuo, ben delineato, come è possibile vedere dal rilievo geomorfologico di dettaglio (Tavola 2), che separa la zona stagnante dal piano dei campi coltivati adiacenti. Questi ultimi sono ulteriormente protetti da un argine artificiale in terra anch'esso delineato con precisione sulla Tavola 2.

Nello stesso tratto di sponda interessato dall'acquitrino, in alveo invece si riscontra una situazione uniforme, illustrata nelle foto 22, 23, e 24: prevale la deposizione sull'azione erosiva con relativa formazione di barre longitudinali. Su entrambe le sponde, come del resto in alveo (foto 23) la tipologia è evidente: le zone maggiormente coinvolte dalle acque di piena sono quelle prive di vegetazione, che mettono in risalto la granulometria tipo del corso d'acqua in questo tratto. Si tratta in prevalenza di ciottoli eterogenei, arrotondati di dimensioni massime mai superiori ai 10 cm. Non mancano sparsi lungo l'alveo tronchi d'albero divelti (foto 22) che rappresentano un ostacolo al regolare deflusso delle acque e possono costituire temporanei sbarramenti durante le piene.

A valle della zona acquitrinosa, proseguendo lungo il corso d'acqua, la sponda sinistra risulta sempre più ampia rispetto a quella destra: in particolare quest'ultima risultando anche più ripida è stata protetta alla base da una scogliera in blocchi irregolari (foto 25), in quanto alla sommità (l'altezza varia dai 2 ai 3 metri) si trovano i campi coltivati.

Anche se la situazione descritta è la più frequente, procedendo lungo l'asta torrentizia i tratti in erosione e quelli in deposizione si alternano come ripreso in foto 26: in questa zona l'erosione ha creato piccole conche sulla linea di sponda (riva sinistra) nelle quali si sono accumulate ingenti quantità di detriti e legname secco trasportati dalla corrente, mentre sulla riva opposta si è depositato il materiale in carico al corso d'acqua creando una barra parzialmente inerbata.

Peculiarità del settore è rappresentata ancora una volta dalla movimentata morfologia della sponda sinistra: essa si sviluppa su più ordini di terrazzi prima di arrivare alla piana coltivata. Il terrazzo intermedio è caratterizzato da alcuni fossi profondi 40-50 cm (un esempio è ripreso in foto 27) in cui scorre acqua proveniente dalle rogge e dai canali utilizzati per l'irrigazione dei campi: la diversa erodibilità dei materiali costituenti i terrazzi ha imposto percorsi tortuosi con svariati meandri a stretta curvatura prima di confluire nel corso del T. Terdoppio. Non si sono registrate evidenze di esondazione alcuna.

Poco prima del ponte sulla strada che collega Cameri con Veveri la situazione cambia: su entrambe le sponde, ma in particolare su quella sinistra, si chiudono i terrazzi intermedi e rimangono quelli più alti. Le scarpate di raccordo, molto inclinate, hanno altezze differenti sulle due sponde: in sinistra il dislivello supera i 4-5 metri, mentre in destra esso si aggira intorno ai 3 metri.

L'arcata del ponte di foto 29 non costituisce ostacolo alcuno al deflusso delle acque sia in condizioni ordinarie che in condizioni di piena.

Non va dimenticata la diffusa presenza di tronchi d'albero sradicati, ceppaie e legnami sparsi ovunque prima dell'imbocco del ponte: la pulizia si rende necessaria come il taglio di tutti gli infestanti cresciuti sulle sponde (foto 28).

A valle del ponte il corso d'acqua prosegue con sponde ben definite aventi le medesime caratteristiche sopra descritte (foto 30): fitta vegetazione arbustiva con numerose piante ad alto fusto che contribuiscono alle stabilità della scarpata stessa e preservano allo stesso tempo dall'erosione.

#### 4.2 ANALISI CLIMATOLOGICA

Per la determinazione degli afflussi è necessario fare una piccola introduzione sulle caratteristiche climatiche dell'area in esame.

Fra i diversi fattori che influenzano il clima, infatti, la piovosità è un dato fondamentale.

In quasi tutta la Regione Piemonte prevale il regime pluviometrico del tipo "Sublitoraneo



Occidentale" con un massimo primaverile ed un altro autunnale e due minimi, estivo ed invernale.

Esso si suddivide in vari sottotipi:

- a) "*Sublitoraneo padano*": caratterizzato da due massimi e due minimi equivalenti, tipico soprattutto della Valle del Tanaro (Casale Monferrato);
- b) "*Sublitoraneo alpino*": con due massimi e due minimi nell'anno medio, con moderata prevalenza del massimo primaverile su quello autunnale e con un minimo invernale inferiore a quello estivo;
- c) "*Sublitoraneo appenninico*": con un massimo autunnale nettamente prevalente su quello primaverile ed il minimo estivo inferiore a quello invernale.

Per il bacino idrografico di nostra competenza si è fatto riferimento alle stazioni meteorologiche di Borgomanero (306 m s.l.m.) e Cameri (173 m s.l.m. aeroporto militare).

Per quanto riguarda la stazione di Borgomanero si ha a disposizione un maggior numero di dati: le tabelle allegate delle precipitazioni sono riferite al periodo 1953÷1972 e agli anni 1988, 1989, 1992 e 1993 (refer. "Annali meteorologici" della Regione Piemonte); per Cameri invece, i dati disponibili sono stati ricavati solo dagli Annali citati.

Le registrazioni pluviometriche nella stazione di Borgomanero, indicano tendenzialmente un regime di tipo "*Sublitoraneo alpino*": i minimi invernali sono nettamente inferiori rispetto a quelli estivi, mentre i massimi primaverili sono molto variabili in quanto equivalgono, superano e talora sono inferiori ai valori autunnali.

Analizzando per puro confronto i dati degli Annali disponibili, si è comunque visto che la tendenza conferma il tipo di regime sopra indicato: le medie ottenute in 4 anni di misure sono infatti comparabili con quelle dei 20 anni.

Lo stesso discorso vale anche per la stazione di Cameri, ubicata più a Sud di Borgomanero, nell'ambito della pianura Novarese: se per le precipitazioni invernali ed estive l'andamento rimane sempre lo stesso, la forte variabilità dei valori primaverili ed autunnali è dovuta alla posizione geografica delle stazioni meteorologiche che ubicate rispettivamente in pianura e nell'ambito dei primi rilievi collinari risentono poco dell'effetto delle Alpi.

Per quanto riguarda la pluviometria media annua si è deciso di assumere un valore rappresentativo, coincidente con la media calcolata per la stazione di Borgomanero (periodo di osservazione 1953-1972): essa è risultata pari a 1250 mm.

PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI in mm (ANNI 1953-1972)  
STAZIONE DI BORGOMANERO

Anno	Genn	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Tot. Anno
1953	25.2	2.2	-	104.0	48.4	323.0	153.4	44.0	181.8	316.2	8.8	26.2	1233.2
1954	14.4	40.2	115.0	93.4	131.8	210.1	63.4	163.2	57.6	43.6	109.0	142.6	1206.6
1955	47.6	101.0	28.0	-	38.0	129.6	193.8	58.6	155.4	139.0	46.2	37.6	974.8
1956	15.8	9.0	189.2	256.4	70.4	79.2	153.8	156.4	132.2	86.0	37.0	4.4	1139.3
1957	55.2	102.5	62.6	116.2	205.2	321.8	129.6	55.8	6.6	67.0	254.5	223.0	1600.0
1958	8.8	71.4	20.6	264.8	119.2	167.4	79.4	107.4	46.2	196.4	164.6	191.2	1437.4
1959	18.6	30.6	196.4	271.0	186.2	109.8	93.6	95.8	NP	NP	NP	NP	[2037.0]
1960	NP	NP	NP	73.2	136.8	226.4	113.6	113.0	436.6	472.4	175.2	133.0	[2248.2]
1961	72.2	48.2	0.8	224.6	127.0	210.6	73.8	37.2	8.6	166.4	255.8	22.6	1247.8
1962	30.4	14.0	53.0	137.0	105.8	58.4	47.4	21.0	58.6	73.2	235.8	18.8	903.4
1963	69.4	34.4	121.4	223.4	148.0	202.8	129.6	131.2	158.8	66.4	263.0	40.8	1589.2
1964	30.6	68.0	134.0	168.8	82.8	160.2	35.6	92.2	59.6	77.8	40.4	40.4	990.4
1965	43.4	3.0	99.4	21.8	78.2	88.8	103.8	124.6	285.0	129.2	74.6	12.0	1063.8
1966	8.2	188.0	24.0	225.8	113.3	22.4	133.6	127.8	63.4	266.8	153.2	19.8	1346.8
1967	6.4	48.0	129.6	69.0	137.0	35.0	98.0	110.8	104.4	57.8	177.4	27.0	1000.4
1968	1.6	117.8	51.4	96.6	248.6	210.0	64.6	259.4	149.2	73.4	411.6	28.4	1712.6
1969	83.2	70.6	79.6	61.6	220.0	187.8	80.8	53.0	245.0	0.8	93.6	13.8	1189.8
1970	126.0	9.4	39.0	45.4	103.2	89.6	13.2	175.8	98.2	105.6	143.4	41.4	990.2
1971	85.8	75.0	17.0	125.6	333.4	234.2	65.2	54.8	10.6	9.2	159.4	48.6	1318.8
1972	103.6	287.2	191.8	128.6	95.4	176.6	107.6	56.0	330.4	103.8	6.8	113.0	1700.8



PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI (esprese in mm) PER LE STAZIONI DI CAMERI E BORGOMANERO

STAZIONE	QUOTA (m s.l.m.)	PERIODO (anni)	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SETT.	OTT.	NOV.	DIC.	ANNO
CAMERI	173	5/1988-'89 '92-'93	21.1	47.5	52.9	192.1	91.4	99.6	88.6	70.9	120.9	143.7	52.1	33.0	1013.8
BORGOMANERO	300	3-12/1989, '92,1 ÷ 6, 10 ÷ 12/'93	25.2	33.5	72.2	241.8	92.6	136.0	99.1	56.0	170.5	177.6	70.7	28.3	1203.4

Per quanto concerne da ultimo la regimazione annua delle temperature si nota che i valori minimi si riscontrano nei mesi di Gennaio e Dicembre, mentre i massimi nei mesi di Luglio e Agosto: la temperatura media annuale risultante è di circa  $11^{\circ}\text{C}$  per la stazione di Borgomanero, mentre è pari a circa  $9^{\circ}\text{C}$  per la stazione di Cameri (si vedano le tabelle allegate nella pagina seguente). La differenza di temperature tra le due stazioni è dovuta al fatto che Borgomanero è molto probabilmente influenzata dalla presenza del Lago Maggiore, elemento mitigatore che crea un anomalo microclima, mentre la stazione di Cameri è ubicata molto più a Sud nella pianura e non risente dell'effetto lacustre.

La regimazione degli afflussi meteorici e quella delle temperature, sin qui descritti, mettono entrambi in evidenza una doppia oscillazione degli afflussi con due massimi (primavera ed autunno) e due minimi (inverno ed estate) con scarsa presenza, negli ultimi anni, di precipitazioni nevose nel periodo invernale.

Tale situazione influenza necessariamente la regimazione del deflusso nel bacino considerato; infatti nell'area in esame si osserva un deflusso di tipo pluviale, ossia caratterizzato da un andamento delle portate del corso d'acqua che segue in genere quello delle precipitazioni.

Si precisa però che per lo studio in questione, scopo principale è la valutazione delle portate di massima piena con vari tempi di ritorno, pertanto è ora necessario prendere in considerazione gli eventi meteorici a carattere eccezionale, in particolare le precipitazioni massime di un giorno, per affrontare lo studio statistico nelle condizioni più cautelative.

#### 4.3 EQUAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA

Lo studio del regime pluviometrico ed in particolare delle piogge di breve durata e forte intensità cadute nel bacino di interesse è, come già detto, di fondamentale importanza.

Tale studio viene eseguito applicando una metodologia di tipo statistico ai dati di precipitazione massima annuale delle stazioni pluviometriche più vicine all'area di interesse, per un arco di tempo accettabile.

Lo scopo è quello di determinare la "*Curva di massima possibilità climatica*", la cui espressione è del tipo:

$$h_t = a \cdot t^n$$

in cui  $h_t$  rappresenta il massimo valore annuale di precipitazione di durata  $t$  che può essere eguagliato o superato mediamente una volta ogni  $T$  anni, dove  $T$  è il cosiddetto "*Tempo di*

# TEMPERATURE DELL'ARIA (°C) PERIODO 3-12/1989-1992-1-6÷10-12/1993

STAZIONE DI BORGOMANERO (QUOTA 300 m s.l.m.)

MESI	MASS. ASSOL.	MEDIA MASS. MENSILE	MEDIA MASS. GIORNALIERA	MEDIA MENSILE	MEDIA MIN. GIORNALIERA	MEDIA MIN. MENSILE	MIN. ASSOL.
GENNAIO	15.5	14.9	7.3	1.7	- 2.2	- 6.8	- 8.4
FEBBRAIO	16.8	16.4	10.2	3.2	- 2.0	- 7.1	- 7.7
MARZO	23.7	22.7	14.6	8.0	2.5	- 0.8	- 4.6
APRILE	25.1	22.6	15.5	10.3	5.5	0.4	- 0.1
MAGGIO	29.1	28.1	22.5	16.4	10.8	7.0	5.8
GIUGNO	30.5	29.3	24.8	18.5	12.7	7.4	5.0
LUGLIO	33.3	32.1	27.4	21.0	15.3	10.1	8.5
AGOSTO	33.4	32.7	29.0	21.9	16.1	9.6	5.8
SETTEMBRE	27.2	26.9	22.9	16.5	11.4	5.3	4.1
OTTOBRE	25.8	22.6	16.3	10.3	5.9	1.7	0.0
NOVEMBRE	17.6	16.3	11.0	5.5	1.7	- 5.1	- 9.2
DICEMBRE	14.6	13.5	7.6	2.2	1.7	- 7.4	- 9.7
ANNO	33.4	23.2	17.4	11.3	6.6	1.2	- 9.7

# TEMPERATURE DELL'ARIA (°C) PERIODO 5-12/1988 -1989-1992-1993

STAZIONE DI CAMERI (QUOTA 173 m s.l.m.)

MESI	MASS. ASSOL.	MEDIA MASS. MENSILE	MEDIA MASS. GIORNALIERA	MEDIA MENSILE	MEDIA MIN. GIORNALIERA	MEDIA MIN. MENSILE	MIN. ASSOL.
GENNAIO	13.8	12.5	3.8	- 1.2	- 5.3	- 10.9	- 12.5
FEBBRAIO	15.0	13.8	8.4	1.5	- 3.6	- 8.8	- 10.2
MARZO	22.4	21.4	12.9	6.2	0.1	- 5.0	- 7.6
APRILE	23.0	20.9	13.6	8.6	3.8	- 2.4	- 3.3
MAGGIO	26.9	25.7	20.2	14.6	9.2	5.6	3.7
GIUGNO	28.7	27.0	22.9	16.9	11.1	6.2	3.0
LUGLIO	30.0	29.5	25.6	19.6	13.7	9.1	5.5
AGOSTO	30.6	30.1	26.4	19.8	13.9	7.9	5.1
SETTEMBRE	29.6	26.2	21.1	14.9	9.7	1.1	- 5.4
OTTOBRE	24.0	21.4	14.8	9.6	5.5	- 0.3	- 2.8
NOVEMBRE	15.6	11.1	8.0	2.9	- 1.4	- 7.6	- 10.3
DICEMBRE	12.4	21.2	4.6	0.0	- 4.0	- 10.1	- 11.7
ANNO	30.6	23.3	15.2	9.4	4.4	- 1.3	- 12.5

*ritorno*", mentre  $a$  ed  $n$  sono due coefficienti caratteristici della curva, che saranno definiti nel seguito.

Ogni serie storica dei valori osservati dei massimi annuali di precipitazione (ciascuna serie corrisponde ad eventi di durata assegnata) può essere considerata come un campione della variabile casuale "*precipitazione di massima intensità*",  $h$ , che viene definita mediante diverse distribuzioni teoriche del tipo probabilistico, tra cui le più utilizzate sono:

- Funzione di distribuzione di Gumbel;
- Funzione di distribuzione di Galton;
- Funzione di distribuzione di Pearson.

Nelle nostre elaborazioni faremo riferimento per la variabile casuale "*precipitazione di massima intensità*" alla funzione di distribuzione di Gumbel.

Nel caso specifico del bacino idrografico del T. Terdoppio non disponendo di dati già elaborati, come quelli riportati nella "CARTA DELLE PRECIPITAZIONI MASSIME DI UN GIORNO" - periodo di osservazione 1921÷1980, redatta dall'Istituto Idrobiologico di Pallanza - C.N.R., sulla quale sono evidenziati i valori massimi medi di precipitazione che caratterizzano il bacino del Lago Maggiore, con tempo di ritorno pari a 2,333 anni, abbiamo dovuto procedere con l'elaborazione statistica dei dati registrati alle stazioni di Borgomanero (306 m s.l.m.) e Novara (164 m s.l.m.). Sono state scelte due stazioni di riferimento in quanto il bacino idrografico coinvolge porzioni di territorio con caratteristiche morfologiche e geologiche differenti: la parte alta infatti, si sviluppa sui rilievi collinari di Agrate Conturbia, ad Est di Borgomanero, mentre la parte intermedia e quella prossima alla chiusura essendo pianeggianti sono influenzate da regimi pluviometrici più simili a quelli di Novara.

Per entrambe le stazioni sono stati utilizzati i valori di precipitazione massima in mm con durata un giorno (con questi valori è stata calcolata la media da inserire nella formula Chow-Gumbel): i valori forniti dal Servizio Idrografico del Po – Parma, sono riferiti al periodo 1921÷1950 per la stazione di Borgomanero e all'intervallo 1923÷1950 per Novara (si vedano le tabelle allegate, nelle quali vengono mostrati per accuratezza anche i dati relativi ai valori delle precipitazioni massime con durata anche da due a cinque giorni consecutivi).

Le tabelle riportano le precipitazioni più intense dell'intero periodo con durata da uno a cinque giorni; come già precisato, per il nostro studio si sono esaminati i valori di precipitazione massima di un giorno, ritenuti validi in prima approssimazione (l'errore è favorevole alla sicurezza, in quanto vengono sovrastimati i valori medi di massima precipitazione).

## BORGOMANERO

Terdoppio - Agogna - 306 m s. m.

1921-1950

## PRECIPITAZIONI MASSIME CON DURATA DI GIORNI CONSECUTIVI:

Numero d'ordine del caso	1		2		3		4		5	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1	120.0	15 V 26	182.0	15-16 V 26	237.0	29-31 X 45	257.0	29 X-1 XI 45	297.0	29 X-2 XI 45
2	114.2	26 IX 47	163.2	25-26 IX 47	216.0	15-17 V 26	244.0	14-17 V 26	257.0	13-17 V 26
3	111.7	21 VI 32	153.0	31 III-1 IV 28	181.5	31 III-2 IV 28	191.4	24-27 IX 47	206.0	14-18 XI 35
4	106.0	28 V 21	152.0	30-31 X 45	181.4	25-27 IX 47	181.5	31 III-3 IV 28	200.5	18-22 XI 26
5	106.0	17 IX 36	140.0	13-14 VIII 24	163.2	5-7 IV 39	181.4	15-18 XI 35	163.5	27-31 X 26
6	105.0	14 VIII 24	134.0	16-17 IX 36	162.0	12-14 VIII 24	171.2	17-20 V 31	194.6	24-28 IX 47
7	101.0	31 X 45	132.8	5-6 VIII 39	157.4	5-7 IV 41	171.0	4-7 IV 32	183.0	31 X-4 XI 26
8	93.2	3 V 31	131.8	6-7 IV 39	154.0	18-20 V 31	170.5	19-22 XI 26	183.6	3-7 IV 39
9	95.0	19 XI 26	131.0	27-28 X 28	152.0	24-26 IV 26	165.6	9-12 XI 35	151.5	31 III-4 IV 28
10	91.0	25 IV 26	130.4	25-26 IV 41	150.8	16-18 IX 36	163.0	16-19 IX 36	180.6	8-12 XI 35
11	90.0	18 V 31	127.0	25-26 IV 26	149.7	19-21 VI 32	162.0	12-15 VIII 24	177.2	3-7 IV 41
12	83.8	14 IV 37	125.0	23-29 V 21	148.6	4-6 VIII 39	162.0	23-26 IV 26	177.0	1-5 X 24
13	85.6	6 IV 39	125.0	12-19 XI 26	137.4	25-27 IV 41	153.6	4-7 IV 41	176.0	12-16 VIII 24
14	85.0	29 X 45	117.8	17-18 XI 35	136.0	31 X-2 XI 28	155.0	12-15 II 25	175.0	24-28 IV 26
15	84.4	4 VI 36	117.0	31 X-1 XI 28	135.4	16-18 XI 35	153.0	2-5 X 24	171.2	17-21 V 31
16	81.0	1 IV 28	116.2	20-21 VI 32	124.0	26-28 X 28	150.0	31 X-3 XI 28	159.5	11-15 II 25
17	81.6	6 VIII 39	114.6	21-22 VII 44	131.5	19-21 XI 26	149.7	19-22 VI 32	163.4	18-19 IX 36
18	81.0	27 X 28	114.0	25-26 VIII 34	130.5	31 X-2 XI 26	149.6	3-6 VIII 39	159.0	4-8 VIII 39
19	81.0	19 V 41	111.6	11-12 XI 35	129.0	13-15 II 25	143.0	6-9 XI 31	150.9	19-23 VI 32
20	79.0	26 IV 41	111.0	18-19 V 41	123.5	28-30 V 21	140.4	25-28 IV 41	150.8	25-29 IV 41
21	77.5	29 X 30	110.6	18-19 V 31	127.2	3-5 VI 36	140.2	24-27 X 31	147.1	23-27 X 31
22	75.4	13 V 37	110.2	6-7 IV 41	126.2	8-10 IX 33	139.6	8-11 IX 33	143.0	6-10 XI 31
23	75.8	10 IX 40	109.6	3-4 V 31	124.0	24-26 VIII 34	135.4	29 IV-2 V 30	140.0	22-26 VIII 34
24	74.6	12 XI 35	107.8	3-4 VI 36	124.0	6-8 X 37	134.0	26-29 X 28	140.0	7-11 IX 38
25	74.4	7 V 39	106.0	9-10 IX 38	120.5	7-9 XI 31	133.5	30 X-2 XI 26	135.8	23-27 III 36
26	74.2	7 V 30	104.0	4-5 X 24	119.4	21-23 VII 44	129.4	13-16 VI 40	135.4	29 IV-3 V 30
27	74.0	31 III 28	103.0	14-15 II 25	119.0	29 IX-1 X 28	123.0	27-30 V 21	134.5	25-29 V 21
28	72.8	22 VIII 33	93.4	13-14 VI 40	118.0	10-12 XI 25	128.0	24-27 VIII 34	133.4	13-17 VI 40
29	71.0	5 X 24	98.0	21-22 X 28	115.0	3-5 V 31	127.2	3-6 VI 36	132.3	20-24 XII 27
30	70.0	3 VII 42	97.4	13-14 IV 37	113.8	25-27 X 31	126.0	6-9 VII 26	129.0	20-24 III 27

NOVARA

Terdoppio - Agogna - 164 m s. m.

1923-1950

Numero d'ordine del caso	PRECIPITAZIONI MASSIME CON DURATA DI GIORNI CONSECUTIVI:									
	1		2		3		4		5	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1	166.4	13 IX 39	194.0	1-2 XI 45	256.0	30 X-1 XI 45	307.0	30 X-2 XI 45	334.0	29 X-2 XI 45
2	143.0	1 XI 45	166.4	13-14 IX 39	167.4	16-18 IX 36	176.6	16-19 IX 36	180.2	15-19 IX 36
3	123.0	17 IX 36	153.0	12-13 VIII 24	166.8	13-15 IX 39	166.8	13-16 IX 39	166.8	13-17 IX 39
4	119.0	13 VIII 24	153.0	16-17 IX 36	153.0	12-14 VIII 24	153.0	12-15 VIII 24	153.0	12-16 VIII 24
5	103.4	26 IX 47	120.9	3-4 V 31	144.0	24-26 IX 47	152.4	24-27 IX 47	155.0	1-5 XI 26
6	86.0	24 VII 38	130.8	25-26 IX 47	136.9	3-5 V 31	145.6	27-30 XII 35	152.8	14-18 XI 34
7	83.0	9 VII 40	114.6	8-9 VII 40	129.6	15-17 XI 34	145.4	14-17 XI 34	152.4	24-28 IX 47
8	82.2	8 V 30	113.0	30-31 X 45	125.2	5-7 X 44	137.1	3-6 V 31	149.1	3-7 V 31
9	82.2	4 VI 36	107.6	3-4 III 36	123.5	7-9 XI 31	130.5	6-9 XI 31	145.6	27-31 XII 35
10	79.2	30 X 45	102.4	25-26 IV 41	122.4	17-19 XI 33	126.2	5-8 X 44	139.2	5-9 X 44
11	76.4	16 XII 34	101.8	3-4 V 43	120.6	27-29 XII 35	124.0	16-19 XI 33	135.3	6-10 XI 31
12	75.8	2 XI 37	96.2	7-8 V 30	116.0	2-4 V 43	123.0	2-5 V 43	130.0	3-7 V 43
13	75.7	3 V 31	94.0	15-16 XI 34	114.6	8-10 VII 40	118.4	5-8 V 30	129.2	17-21 XI 33
14	74.0	16 VI 50	93.8	26-27 X 31	110.6	2-4 III 36	116.8	24-27 X 31	126.2	2-6 XI 37
15	70.6	14 IV 37	93.0	24-25 X 47	109.8	26-28 I 30	116.6	19-22 IV 50	126.0	8-12 II 25
16	67.6	25 X 47	91.6	27-28 I 30	105.8	24-26 X 47	114.6	8-11 VII 40	123.0	5-9 VII 40
17	66.5	9 XI 31	91.2	4-5 VI 36	102.8	25-27 IV 41	112.4	26-29 I 30	120.8	5-9 V 30
18	63.0	26 X 31	83.9	26-27 VIII 34	98.4	7-9 V 30	111.5	1-4 XI 26	120.6	23-27 X 31
19	62.8	7 VIII 45	83.6	2-3 XI 37	97.4	7-9 VIII 45	110.6	2-5 III 36	117.4	19-23 IV 50
20	62.2	30 VIII 37	83.4	24-25 VII 38	94.1	25-27 X 31	103.8	1-4 III 46	116.4	28 II-4 III 46
21	62.0	15 XI 34	83.2	31 VII-1 VIII 37	94.0	31 X-2 XI 26	103.0	27-30 X 28	112.4	26-30 I 30
22	60.8	17 IV 36	83.0	26-27 III 36	94.0	2-4 III 46	106.8	2-5 XI 37	112.4	23-27 III 36
23	60.6	10 VIII 29	87.0	27-28 X 28	93.0	2-4 XII 24	106.6	24-27 X 47	112.2	28 II-4 III 36
24	60.5	26 VIII 34	83.4	6-7 X 44	93.0	3-5 VI 36	104.4	25-28 IV 41	112.0	25-29 IV 41
25	60.4	28 I 30	83.2	22-23 VII 34	91.6	13-15 X 35	102.0	8-11 II 26	110.7	22-26 VIII 34
26	60.4	3 V 43	83.0	16-17 XII 34	91.0	10-11 II 26	100.0	24-27 III 36	103.0	27-31 X 28
27	59.2	10 VI 41	83.0	4-5 X 35	89.3	25-27 VIII 34	97.4	7-10 VIII 45	107.8	7-11 XI 34
28	59.0	25 VIII 39	79.6	11-12 XI 35	89.0	2-4 X 24	95.0	9-12 XI 35	106.6	24-28 X 47



Si precisa che nel calcolo di massima piena sono interessanti le precipitazioni continue nelle 24 ore, ottenute aumentando il valore di pioggia massimo di un giorno per i vari tempi di ritorno, del 10%.

È stato quindi eseguito un procedimento di "back analysis" per la determinazione dei parametri mancanti, in primo luogo il *coefficiente di variazione medio del bacino "c"*.

La relazione a cui si è fatto riferimento è quella di Chow-Gumbel:

$$P_T = P (1 + ck)$$

dove:

$P_T$  = precipitazione in mm con tempo di ritorno  $T$ ; considerando i periodi di osservazione sopra indicati sono state utilizzate le massime precipitazioni registrate;

$P$  = media delle precipitazioni massime diurne in mm;

$c$  = coefficiente di variazione medio, incognito;

$$k = \text{fattore di frequenza} = - \left[ \left( \frac{\sqrt{6}}{\pi} \right) \right] \cdot \left( 0.57721 + \ln \ln \frac{T}{T-1} \right).$$

Per ciascuna stazione in esame, è stata risolta l'equazione in funzione di  $c$ . I parametri introdotti, sono riassunti nella seguente tabella:

STAZIONE	MASSIMA PRECIPITAZIONE NEL PERIODO DI OSSERVAZIONE $P_T$ (mm)	MEDIA DELLE PRECIPITAZIONI MASSIME DIURNE $P$ (mm)	FATTORE DI FREQUENZA $k$	$c$
Borgomanero	120 - (30 anni)	87.67	2.18867	0.17
Novara	143 - (27 anni)	77.35	2.10504	0.40

Occorre precisare che nell'analisi delle precipitazioni relative alla stazione di Novara è stato appositamente trascurato il primo valore perché l'elaborazione portava a risultati non confrontabili con le curve di possibilità climatica ricavate dal Servizio Idrografico del Po.

Alla luce di quanto detto in precedenza (estensione del bacino dai primi rilievi collinari a Sud di Borgomanero fino alla pianura novarese), partendo dai dati sopra indicati delle due stazioni meteorologiche, si è considerata la media dei valori per la determinazione delle curve di possibilità climatica corrispondenti a vari tempi di ritorno.

Sostituendo infatti, nella relazione di Chow-Gumbel, il valore medio di  $c$  pari a 0.29 e imponendo una precipitazione massima giornaliera media di 82.51 mm, per i diversi tempi di ritorno presi in considerazione, si sono calcolati i seguenti valori di precipitazione (si ribadisce che pur avendo verificato cinque sezioni su un tratto di torrente pari a 2.5 km circa,



cautelativamente tutte le elaborazioni sono state riferite alla sezione più a valle lungo il corso d'acqua, lavorando così a favore della sicurezza):

T. TERDOPPIO	<i>T anni</i> 20	<i>T anni</i> 200	<i>T anni</i> 500
<i>Precip. 1 g mm</i>	127.15	170.54	187.66
<i>Precip. 24 ore mm</i>	139.87	187.60	206.43
<i>Precip. 1 ora mm</i>	41.01	55.00	60.52

Per la definizione delle curve di possibilità climatica, che si ricorda hanno la seguente espressione:

$$h_t = a \cdot t^n, \text{ dove:}$$

$a$  = altezza di pioggia di durata 1 ora in mm;

$n$  = valore costante caratteristico della stazione o altitudine media del bacino idrografico in esame = indice di adattamento;

$t$  = durata della pioggia in ore;

manca solo la valutazione del parametro  $n$ . È stata utilizzata la relazione suggerita da Gabella, che fa dipendere tale parametro dalla sola altitudine  $H$ , dove  $H$  può essere la quota in ettometri della stazione meteorologica considerata o l'altitudine media del bacino, come nel caso specifico, pari a 260.90 m s.l.m.:

$$n = 0.6 \cdot \frac{H + 1}{H + 3}$$

Le curve di massima possibilità climatica per i diversi tempi di ritorno analizzati, sono di seguito riassunte:

TEMPO DI RITORNO (anni)	CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA
20	$h = 41.01 \cdot t^{0.386}$
200	$h = 55.00 \cdot t^{0.386}$
500	$h = 60.52 \cdot t^{0.386}$

#### 4.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

##### 4.4.1 Generalità

Per la stima delle portate vengono normalmente utilizzate delle relazioni che si basano sulla stima del tempo di corrivazione ( $t_c$ ) del bacino.

Per tempo di corrivazione s'intende il tempo necessario, perché le acque di afflusso meteorico raggiungano la sezione di chiusura del bacino, rispetto alla quale viene eseguito il calcolo della portata di massima piena, partendo dai punti più lontani del bacino. Questo parametro è una costante per ogni bacino, in quanto funzione esclusivamente della morfologia, delle litologie affioranti e della copertura vegetale.

Un'indicazione sommaria dell'ordine di grandezza di  $t_c$  può essere ottenuto dividendo la lunghezza totale dell'asta principale per un fattore compreso fra 1 e 2:

$$t_c(\text{sec}) = L / (1 \text{ o } 2)$$

in cui la  $L$  viene espressa in metri.

Metodi di calcolo più precisi sono quelli proposti da Giandotti, Pezzoli e F.A.O., le cui formule risolutive, forniscono il tempo di corrivazione in ore, secondo le seguenti espressioni:

- Formula di Giandotti

$$t_c(h) = (4 \cdot \sqrt{S_b} + 1.5 \cdot L_p) / (0.8 \cdot \sqrt{H_m})$$

- Formula di Pezzoli

$$t_c(h) = (0.055 \cdot L_p) / \sqrt{P_m}$$

- Formula di F.A.O.

$$t_c(h) = L_p^{1.15} / (15 \cdot h_{max}^{0.38})$$

dove:

$S_b$  (Kmq) = superficie del bacino;

$L_p$  (Km) = lunghezza dell'asta principale;

$P_m$  (%) = pendenza media del bacino;

$H_m$  (m) = altezza media del bacino sul livello del mare;

$H_{max}$  (Km) = altezza massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

Le tre relazioni valgono per bacini di piccola e media estensione, anche se la formula di Giandotti fornisce per bacini piccoli valori generalmente sovrastimati.

Nel caso specifico, essendo il nostro bacino, di notevoli dimensioni, è stata utilizzata la formula di Giandotti, dal momento che quella di Pezzoli sovrastimava il valore del tempo di

corrivazione, dipendendo la soluzione della formula, dalla pendenza media del bacino che su distanze così elevate è poco rappresentativa.

Una volta ottenuto il valore di  $t_c$ , corrispondente alle caratteristiche morfologiche del bacino, è stato possibile passare alla valutazione delle portate di massima piena al colmo.

Il primo dato che occorre ricavare è l'altezza dell'afflusso meteorico ( $h$ ), per un tempo di ritorno fissato, corrispondente ad una durata uguale al tempo di corrivazione. Tale grandezza può essere ricavata attraverso le procedure di elaborazione dei dati pluviometrici viste nel capitolo precedente.

Il valore di  $h$  ricavato va introdotto in una delle formule cinematiche disponibili in letteratura, di seguito elencate:

- Formula di Turazza

$$Q_{max} (mc/s) = \frac{278000 \cdot C_d \cdot S_b \cdot h}{t_c}$$

dove:

$Q_{max}$  (mc/s) = portata di massima piena al colmo per un dato tempo ritorno;

$C_d$  = coefficiente di deflusso, variabile da 0 a 1;

$S_b$  (Kmq) = area del bacino;

$h$  (mm) = altezza di precipitazione riferita al  $T_c$  per un dato tempo di ritorno;

$t_c$  (ore) = tempo di corrivazione.

Il coefficiente di deflusso  $C_d$  non è di semplice valutazione. Si precisa che nel caso di bacini molto piccoli (area inferiore al Kmq) il coefficiente di deflusso può anche essere posto, a favore della sicurezza, prossimo a 1.

- Formula di Giandotti

La relazione, derivata da quella di Turazza, è la seguente:

$$Q_{max} (mc/s) = 0.278 \cdot [g \cdot p / (l \cdot t_c)] \cdot h \cdot S_b$$

dove:

$g = 6$ ,  $p = 0.3$  e  $l = 4$  (per bacini con area  $< 300$  Kmq), mentre gli altri parametri hanno lo stesso significato visto per la formula di Turazza.

L'esperienza ha dimostrato, però, che questa relazione tende a sovrastimare le portate nel caso di piccoli bacini (pochi chilometri quadrati), in quanto calibrata su quelli di elevata estensione, ed è quindi stata utilizzata per la nostra analisi.

- Formula di Merlo

La relazione è la seguente:

$$Q_{max}(mc/s) = ph \cdot 0.544 \cdot h \cdot S_b;$$

dove:

$$ph = 0.0667 + 0.0543 \cdot \ln(T_r);$$

$T_r$  (anni) = tempo di ritorno.

Questo metodo fornisce risultati attendibili per bacini molto piccoli.

#### 4.4.2 Metodologia utilizzata

Come illustrato nel paragrafo precedente si è dapprima ricavato il tempo di corrivazione  $t_c$ . I dati richiesti per la suddetta elaborazione sono riassunti nella tabella seguente:

SUPERFICIE BACINO (Km <sup>2</sup> )	LUNGEZZA ASTA PRINCIPALE (km)	PENDENZA MEDIA BACINO (%)	ALTEZZA MEDIA BACINO (m s.l.m.)	ALTEZZA MASSIMAA RISPETTO SEZIONE DI CHIUSURA (m s.l.m.)
97.8874	29.964	0.867	260.90	207.50

Si è quindi passati alla determinazione degli afflussi meteorici ( $h$ ) per i tempi di ritorno già indicati ossia 20, 200 e 500 anni, nel tempo di corrivazione specifico del bacino.

Il tempo di corrivazione calcolato attraverso la formula di Giandotti (metodo più idoneo per un bacino di questo tipo e dimensione) è risultato pari a 6.54 ore, che per un bacino esteso e con le pendenze del T. Terdoppio è pienamente accettabile.

Applicando la metodologia proposta da Giandotti, sopra illustrata, le portate calcolate risultano:

TEMPO DI RITORNO (anni)	h (mm)	Q (mc/sec)
20	84.66	<b>157.96</b>
200	113.55	<b>211.84</b>
500	124.94	<b>233.11</b>

Si ricorda che le portate sopra indicate sono relative all'ultima delle sezioni considerate, ossia quella in corrispondenza del ponte sulla S.P. n° 2 Cameri-Novara.

Per avere conferma della validità o meno dei risultati ottenuti, abbiamo confrontato le portate calcolate con i dati messi a disposizione dall'Associazione Irrigazione Est Sesia di Novara e con le elaborazioni eseguite dal Magistrato per il Po.

Le portate registrate dal Consorzio Est Sesia dal 1930 al 1998 (intervallo di tempo di 69 anni), mostrano come valori massimi i 150 mc/sec del 1951 e i 156 mc/sec del 1977: la loro frequenza (vent'anni circa), conferma la portata da noi calcolata per un tempo di ritorno  $Tr = 20$  anni. Nel 1994 inoltre, la massima portata registrata di 108 mc/sec, anche se leggermente più bassa, può inserirsi tra i valori caratteristici con i tempi di ritorno suddetti.

Confrontando il nostro dato con quelli elaborati dal Magistrato per il Po, è possibile vedere come per un tempo di ritorno pari a 20 anni la portata stimata sia di 130 mc/sec: il valore è più basso, ma noi utilizzando i 157 mc/sec lavoriamo sicuramente a favore della sicurezza.

Si precisa che i dati sono confrontabili, perché sia il Consorzio Est Sesia sia il Magistrato per il Po considerano la stessa sezione di chiusura all'idrometro di Veveri sul Canale Cavour: la nostra sezione di chiusura è collocata 1 km più a valle del punto in cui il Canale Cavour interseca il T. Terdoppio, ma per i motivi già dettagliatamente spiegati nei paragrafi precedenti, i valori delle portate non subiscono considerevoli incrementi (ribadiamo ancora una volta che le nostre scelte operative sono a favore della sicurezza).

Analogo discorso vale anche per le portate con tempi di ritorno pari a 200 anni (211 mc/sec circa) e 500 anni (233 mc/sec): i nostri valori infatti, sono sensibilmente più alti in confronto a quelli elaborati dal Magistrato per il Po (190 e 220 mc/sec rispettivamente), ma operando a favore della sicurezza non sussiste problema alcuno.

#### 4.5 VERIFICA DELLE SEZIONI DI DEFLUSSO

##### 4.5.1. Generalità

La portata che defluisce per una determinata sezione d'alveo è fornita dalla relazione:

$$Q(\text{mc/sec}) = A \cdot v_m$$

dove:

$A$  (mq) = area della sezione trasversale dell'alveo;

$v_m$  (m/sec) = velocità media della corrente.

Per quanto riguarda la velocità media della corrente, si è assunto il criterio del moto stazionario monodimensionale (portata costante e geometria dell'alveo variabile), che tiene conto delle variazioni delle dimensioni dell'alveo e delle singolarità localizzate (rappresentate da manufatti, bruschi restringimenti o allargamenti, variazioni di scabrezza, ecc.): pertanto la relazione (secondo Gauckler-Strickler) che esprime tale parametro è data dalla seguente espressione:

$$v_m = k_s \cdot R_h^{2/3} \cdot (i/100)^{1/2};$$

dove:

$K_s$  ( $m^{1/3}s^{-1}$ ) = coefficiente di scabrezza di Strickler;

$R_h$  (m) = raggio idraulico dato dal rapporto  $A/P$  con  $P$  perimetro bagnato;

$i$  (%) = pendenza dell'alveo nel tratto considerato.

Valutata la velocità della corrente, noto il valore dell'area della sezione del corso d'acqua, si può calcolare la portata smaltibile, da confrontare con la portata di piena di riferimento.

I valori del coefficiente  $k_s$  si ricavano direttamente dalla consultazione di apposite tabelle dove a seconda della tipologia del fondo alveo (in pietrame, con sezioni regolari, ecc.) sono indicati i relativi indici.

#### 4.5.2 Commento dei risultati e proposte d'intervento

Sono state verificate, attraverso il programma "PIENA" della Program Geo di Brescia, cinque sezioni lungo il tratto di T. Terdoppio in esame; l'esatta posizione è stata indicata sulla Tavola 2 "RILIEVO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO" (si precisa che tutte le sezioni sono state rilevate dai tecnici comunali di Cameri):

- SEZIONE N° 1  $\Rightarrow$  Canale Regina Elena che sovrappassa il T. Terdoppio;
- SEZIONE N° 2  $\Rightarrow$  all'altezza della strada sterrata proveniente dalla ditta Igor;
- SEZIONE N° 3  $\Rightarrow$  S.S. 32 "Ticinese";
- SEZIONE N° 4  $\Rightarrow$  Canale Cavour, esso attraversa il Terdoppio sifonato;
- SEZIONE N° 5  $\Rightarrow$  S.P. n° 2 Cameri-Novara.

Come già precisato nei paragrafi precedenti, per le verifiche idrauliche sono state adottate tre portate di riferimento, corrispondenti a diversi tempi di ritorno: i vent'anni per le portate ordinarie, i duecento e i cinquecento anni per uniformarsi alle direttive dell'Autorità di Bacino che hanno portato al delimitazione rispettivamente delle fasce fluviali B e C.

È stato inoltre trascurato il calcolo del trasporto solido, perché sia durante il sopralluogo sia dalle testimonianze ricavate in Comune, non si hanno evidenze in tal senso: durante eventi a carattere eccezionale il corso d'acqua si carica di materiale fine sabbioso-limoso in sospensione senza arrecare danni a strutture o manufatti esistenti. A tal proposito si ricorda che le portate da noi calcolate sono sovrastimate rispetto ai valori elaborati dal Magistrato del Po (indirettamente quindi è come se tenessimo conto di un contributo solido quantificabile in un 10% circa).

Di seguito per ogni singola sezione provvederemo a illustrare gli sviluppi delle verifiche e le eventuali proposte d'intervento al fine di mettere in sicurezza le zone a rischio.

▪ SEZIONE N° 1 - CANALE REGINA ELENA

Sono state eseguite due verifiche, una relativa allo stato attuale e una allo stato di progetto. Le condizioni di contorno adottate per entrambe sono le medesime, ossia pendenza  $i$  dell'alveo nel tratto considerato pari allo 0.09% e coefficienti di scabrezza  $k_s$  variabili a seconda della tipologia spondale: in corrispondenza delle spalle sostenenti il canale, costituite da calcestruzzo ruvido si è adottato un  $k_s$  pari a  $55 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , mentre il fondo alveo è stato posto uguale a  $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , trattandosi di un tratto a sponde irregolari con vegetazione arbustiva per la presenza di una grossa barra longitudinale sulla riva sinistra.

La verifica dello stato attuale, mette in evidenza come solo le portate ordinarie vengano smaltite dall'alveo, mentre quelle eccezionali, a causa del restringimento dovuto alla presenza della barra longitudinale non riescano a defluire regolarmente.

Si è quindi ritenuto opportuno passare al secondo tipo di verifica: è stato ipotizzato di rimuovere completamente la barra longitudinale suddetta, restituendo al corso d'acqua la sua regolarità, senza indurre fenomeni erosivi o scalzamenti alle spalle (alveo e sponde ben definite). Impostando pertanto sulla larghezza dell'alveo un coefficiente di scabrezza sensibilmente più alto, pari a  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (alveo regolare con vegetazione erbacea e larghezza in piena  $< 30 \text{ m}$ ) e mantenendo cautelativamente sia un  $k_s$  di  $55 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per le spalle del canale sia la pendenza di 0.09% sopra indicata, la nuova sezione è in grado di smaltire anche le portate con  $Tr = 500$  anni, con un franco di sicurezza di 60 cm (il franco trovato è inferiore al metro prescritto come valore minimo per la sicurezza dei ponti, ma si precisa che il canale non è da considerarsi come un ponte stradale o ferroviario bensì un semplice manufatto).

La velocità della corrente in piena, pari a circa 2.5 m/sec, è accettabile per il tipo di corso d'acqua (pendenze bassissime con trasporto solido trascurabile).

SEZIONE N° 2 - DITTA IGOR

Anche per questa sezione sono state eseguite due verifiche, una relativa allo stato attuale e una di progetto (realizzazione di un argine in terra a difesa degli stabilimenti esistenti facenti parte del P.E.C. S.S. 32).



La prima verifica è inerente allo stato attuale: poiché il corso d'acqua in piena presenta una larghezza superiore ai 30 m si è attribuito un  $k_s = 35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (alvei in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa) e una pendenza uguale a quella della sezione 1.

L'altezza della sponda idrografica destra ( $h = 3 \text{ m}$  circa) comporta che le acque di piena, anche per tempi di ritorno ordinari si riversino in sponda sinistra andando a coinvolgere i campi antistanti le Ditte qui presenti.

Poiché l'intero settore è caratterizzato dalla stessa morfologia (sponda destra più alta di quella sinistra si è proposto un intervento atto a contenere una possibile esondazione e a mettere in sicurezza tutta la zona.

Durante il sopralluogo è stato rilevato un piccolo terrazzo naturale di altezza intorno al mezzo metro circa, discretamente continuo a partire dall'edificio abbandonato visibile in foto 4 (all'altezza della Ditta IGOR), fino all'argine artificiale della Ditta SANTI (per l'esatta collocazione si faccia riferimento alla Tavola 2): sfruttando questo salto naturale, a due metri di distanza dall'orlo di terrazzo, è stata prevista la realizzazione di un argine in terra di altezza 1.5 m e piano viabile alla sommità di 2 m, le cui caratteristiche tecniche sono evidenziate sulla Tavola 2. L'argine in questione si estenderà a partire dal Canale Regina Elena fino alla S.S. 32 "Ticinese", in modo da proteggere l'intera area P.E.C. S.S. 32.

Intestandosi nei pressi del Canale Regina Elena che scorre in rilevato, perpendicolarmente alla direzione di scorrimento del Terdoppio si esclude la possibilità di lasciare aperte vie di deflusso preferenziali in caso di piena che possano arrivare all'area di studio da monte; nei pressi della S.S. 32 non sussistono problemi, in quanto come dimostrato nelle verifiche effettuate (vedi punto successivo), la presenza di un terrazzo ben rialzato rispetto al fondo alveo contiene piene con tempi di ritorno cinquecentennali, smaltendole in sicurezza.

La realizzazione di questo argine pertanto, non può che migliorare una situazione alquanto precaria: la verifica idraulica mostra quanto detto, e mette in evidenza come per portate cinquecentennali, il franco di sicurezza rispetto alla sommità dell'argine sia di 1.10 m (si precisa che le lame d'acqua che si formano in corrispondenza di questo argine sono minime, circa 30-35 cm, con velocità di deflusso basse intorno al metro).

#### SEZIONE N° 3 - S.S. 32 "TICINESE"

Per questa sezione, come del resto per le due successive, è stata effettuata la sola verifica



relativa alla situazione reale.

Si tratta di un ponte stradale ad intenso traffico: alle spalle è stato attribuito un coefficiente di scabrezza cautelativo pari a  $55 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , in quanto trattandosi di calcestruzzo liscio avremmo dovuto utilizzare un  $k_s$  più alto, ma le superfici un po' irregolari ci hanno indotto a diminuirne il valore. In alveo è stato assegnato il solito  $k_s$  di  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per i motivi già spiegati; con una pendenza misurata dello 0.45%, la sezione riesce a smaltire in sicurezza anche le portate con  $Tr$  pari a 500 anni, lasciando un franco di sicurezza di 2.4 m (le velocità della corrente sono più alte intorno ai 4 m/sec).

#### SEZIONE N° 4 - CANALE CAVOUR

La sezione in esame è stata battuta sulla passerella pedonale per l'attraversamento del T. Terdoppio, dove il Canale Cavour sottopassa il corso d'acqua sifonato.

In questo punto il corso d'acqua presenta difese spondali (muri d'ala) e lastricatura sul fondo: sono stati attribuiti dei coefficienti di scabrezza  $k_s$  idonei, pari a  $60 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per i muri d'ala formati da superfici pulite e lisce e pari a  $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per la lastricatura di fondo alveo (il valore è più basso rispetto ai  $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  consigliati, in quanto le pietre sono parzialmente ricoperta da sabbia e limo).

Imponendo una pendenza dello 0.2%, tutte le portate considerate vengono smaltite.

L'Associazione Irrigazione Est Sesia, possiede proprio in questo punto l'idrometro di misura: sulla Tavola 4.4, come si può notare è stato segnato il massimo livello idrometrico registrato da quando lo strumento è in funzione, ossia 159.954 m il 20.09.1882.

L'evento non si mai più ripetuto fino ai giorni nostri, comunque le portate da noi valutate con tempi di ritorno pari a 500 anni sono molto vicine a questo livello idrometrico, poiché solo 14 cm separano i due livelli.

#### SEZIONE N° 5 - S.P. N° 2 CAMERI-NOVARA, DITTA IRET

L'ultima sezione è stata eseguita all'altezza del ponte sulla S.P. n° 2 Novara-Cameri, vicino alla Ditta Iret.

Alle spalle del ponte e al fondo alveo sono stati assegnati gli stessi coefficienti di scabrezza adottati nella verifica della sezione 3; impostando la pendenza tipica del tratto pari allo 0.6% si è visto che tutte le portate vengono smaltite, con velocità di deflusso variabili dai 4.5 ai 5 m/sec. I valori relativi a tempi di ritorno cinquecentennali lasciano più di 3.5 m di franco dall'intradosso del ponte.

## 5. FASCE FLUVIALI: PROPOSTA DI MODIFICA

Alla luce delle verifiche idrauliche effettuate e delle soluzioni progettuali previste per contenere le piene a carattere eccezionale, si ritiene opportuno apportare le seguenti modifiche alle fasce A e B del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (si faccia riferimento alle Tavole 5 e 6, rispettivamente inerenti la delimitazione delle suddette fasce secondo le disposizioni del Piano Stralcio e secondo la nostra proposta):

- per il tratto compreso dal Canale Regina Elena fino alla S.S. 32 "Ticinese", ossia l'area delle Ditte IGOR, SANTI, si propone la realizzazione di un argine di altezza pari 1.5 m e piano viabile alla sommità del rilevato in terra di larghezza pari a 2 m. Sfruttando l'evidenza morfologica rilevata durante il sopralluogo e rappresentata dal piccolo terrazzo di altezza intorno ai 40-50 cm, sviluppato in direzione Nord-Sud a distanza variabile dalla sponda attiva del corso d'acqua, l'argine sarà posizionato a 2-3 m dall'orlo del terrazzo (sulla Tavola 2 è possibile vedere il tracciato esatto).

La nostra proposta della fascia B di progetto (si faccia riferimento alla Tavola 6) si estende a tergo dell'argine in progetto, secondo l'andamento indicato: il dislivello tra l'alveo e il piano di posa dell'argine è di 2.6 m circa, l'esecuzione del rilevato in terra di altezza pari a 1.5 m porta ad avere un dislivello complessivo di ben 4.1 m;

- cautelativamente a valle della S.S. 32 "Ticinese" i limiti delle fasce A e B rimangono invariati, anche se è necessario precisare che i terrazzi individuati, la morfologia dei luoghi, le verifiche idrauliche 3, 4 e 5 (tutte in grado di smaltire le portate cinquecentennali con margini di sicurezza idonei), permetterebbero in tutta sicurezza di proporre una fascia B di progetto coincidente con la B attuale;
- alla luce di quanto affermato sopra, all'altezza della Ditta IRET si è proposta una fascia B di progetto di forma rettangolare: in questo settore l'altezza del terrazzo in sponda sinistra, variabile dai 5 ai 6 m preserva da qualsiasi esondazione, garantendo l'incolumità degli edifici esistenti. A monte del settore non possono manifestarsi problemi di allagamenti, perché l'estensione del terrazzo compreso tra l'alveo del corso d'acqua e il piano dei campi coltivati (quota altimetrica di C.<sup>na</sup> Bollini) è molto ampia, e funge da cassa di espansione in caso di piena eccezionali (l'esatta delimitazione dei terrazzi presenti in sponda idrografica sinistra sono segnati sulla Tavola 2).

Le proposte sopra illustrate si intendono valide a patto che vengano effettuate frequenti operazioni di pulizia dell'asta principale (disalveo barre attuali, taglio di ceppaie, arbusti e alberi ostacolanti il regolare deflusso delle acque, rimozione dei tronchi caduti in alveo, ecc.) nonché regolare manutenzione ai vari manufatti presenti (ponti, canali, passerelle, ecc.).

Sulla Tavola 2 infatti, sono stati evidenziati i punti che necessitano di pulizia e nell'ambito della sezione 1 - Canale Regina Elena, è stato consigliato di eliminare la barra longitudinale, ormai inerbita, che riduce la sezione di deflusso, impedendo lo smaltimento delle portate con tempi di ritorno duecentennali e cinquecentennali: è importante prevenire la formazione di qualsiasi forma di accumulo in prossimità dei ponti, tali da creare dannosi sbarramenti temporanei.