

*PROPONENTE*  
**EOLO 3W SICILIA S.R.L.**

VIALE LIEGI, 7 – 00198 ROMA



Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica costituito da n. 6  
aereogeneratori per una potenza complessiva di 33,6 MW, denominato

**“PARCO EOLICO DI TROIA – LOCALITÀ CANCARRO”**



**Regione Puglia**



**Comune di Troia (FG)**

*Nome Elaborato : RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA*

*Autori : dott. Ing. Camillo CANIGLIA*

*Riferimenti documento: Elaborato R01 – data 04/11/2019 – prima emissione*



---

## SOMMARIO

Premessa.....	3
Caratteristiche Idrologiche Dei Bacini Idrografici Interessati.....	4
Fascicolo dei calcoli idrologici MOTO UNIFORME .....	4
Analisi idrografica e morfologica.....	4
Tempo di corrivazione.....	7
Il coefficiente di deflusso .....	8
Legge di pioggia.....	9
Stima della portata di massima piena .....	10
Metodi empirici .....	10
Metodo analitico.....	11
Idrogramma di piena .....	12
Metodo di Nash (1960).....	13
Metodo Mc Sparran (1968).....	13
Moto uniforme.....	14
BACINO (Sezione 01) .....	16
ELABORAZIONE SERIE PLUVIOMETRICA METODO DI GUMBEL.....	17
Vertici bacino (m) .....	19
Vertici asta principale (m).....	21
Vertici aste secondarie (m).....	24
IDROGRAFIA E MORFOMETRIA.....	30
PORTATA DI PIENA METODI EMPIRICI.....	30
PORTATA DI PIENA METODO RAZIONALE.....	30
VERIFICA IDRAULICA SEZIONE 01 – ATTRAVERSAMENTO CAVIDOTTO FOSSO CANCARRO	31

## Premessa

Il presente documento costituisce la Relazione Idrologica e Idraulica per il progetto di variante di un impianto eolico e relative opere di connessione, che la società Eolo 3W Sicilia S.r.l. intende realizzare nel comune di Troia, in provincia di Foggia.

Il progetto è stato autorizzato a seguito di un complesso iter autorizzativo che ha visto la nomina di un Commissario ad Acta e la conclusione del procedimento stesso presso il Consiglio dei Ministri; i principali atti autorizzativi in ordine cronologico sono:

- Provvedimento favorevole sulla VIA con decisione del Commissario ad Acta in data 22/12/2011;
- Determinazione Dirigenziale n.6 del 30/01/2014 emessa dalla Regione Puglia con cui si autorizzava ai sensi dell'art.12 del D.Lgs 387/2003 alla costruzione e l'esercizio dell'impianto eolico, costituito da n.10 aerogeneratori (per una potenza totale pari a 20 MW) e alle relative opere di connessione;
- Determinazione Dirigenziale n.52 del 22/09/2014 della Regione Puglia in cui veniva concessa, a seguito della richiesta della Eolo 3 W Sicilia S.r.l, una proroga di 12 mesi dei termini di inizio lavori di cui al D.D. n. 6/2014, subordinandola alla proroga o rinnovo di compatibilità ambientale del progetto;
- Determinazione Dirigenziale n.181 del 27/10/2016 del Settore Ecologia Regionale ha rilasciato la proroga del giudizio di compatibilità ambientale solo per 8 dei 10 aerogeneratori costituenti il progetto autorizzato con D.D. n.6/2014 per un totale di 16 MW, poiché in due delle posizioni autorizzate erano già stati realizzati impianti eolici, di potenza inferiore ad 1MW e con iter semplificato;
- Determinazione Dirigenziale n.21 del 9/02/2018 della Regione Puglia in cui è stata concessa un'ulteriore proroga (per complessivi 16 MW) per l'inizio dei lavori di costruzione dell'impianto, fissato al 10 novembre 2019.

Considerando il tempo trascorso dal rilascio dell'autorizzazione unica e l'evoluzione inerente l'offerta degli aerogeneratori oggi in commercio la società intende apportare una modifica sostanziale che prevede le seguenti variazioni :

1. Inserimento di un numero inferiore di turbine (6 WTG);
2. Aumento della potenza nominale di ciascun aerogeneratore (5,6 MW) e conseguente aumento delle dimensioni (altezze, diametro rotorico);
3. Aumento della potenza complessiva del parco eolico (33,6 MW) con conseguente variazione della potenza in immissione della Soluzione Tecnica di connessione.

Nella presente relazione verranno approfonditi gli aspetti idrologici e le relative verifiche idrauliche legati alle interferenze delle opere da realizzare con i corsi d'acqua demaniali allo scopo di verificare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica.

Al fine di ottenere un quadro conoscitivo e completo circa l'attuale stato di fatto delle aree di interesse e delle opere esistenti e da realizzare, sono state eseguite delle campagne di sopralluoghi e rilevamenti geometrici e topografici che hanno permesso di ricostruire la configurazione dei manufatti di attraversamento e degli alvei per aree opportunamente estese sia a monte che a valle dei manufatti esistenti, dei punti di intersezione con la viabilità esistente e di nuova realizzazione.

## Caratteristiche Idrologiche Dei Bacini Idrografici Interessati

Per la determinazione delle altezze critiche di pioggia, relative ai bacini idrografici interessati, si è fatto riferimento al metodo di **Gumbel**, provvedendo alla individuazione, dall'esame degli Annali dell'Ufficio Idrografico e Mareografico del Settore Protezione Civile della Regione Puglia, delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore.

I dati si riferiscono alla stazione pluviometrica di Troia (Quota 436 m s.l.m.) e riguardano 23 anni di osservazioni, dal 1989 al 2014.

Nei paragrafi successivi si riportano i dati pluviometrici tabellati e quelli ottenuti, dall'elaborazione statistica effettuata con il metodo di Gumbel, relativi alle altezze massime ( $H_{max}$ ) e critiche ( $h_{crit}$ ) di pioggia, con tempi di ritorno di (20, 50, 200) anni.

Dopo una breve descrizione del metodo "Gumbel", si riportano nel seguito le formule adottate per il calcolo delle altezze di pioggia citate.

Nella progettazione di opere idrauliche orientate al controllo delle portate di piena, è prioritariamente indispensabile procedere alla stima della portata massima prevedibile che le solleciterà nel corso della loro vita prevista.

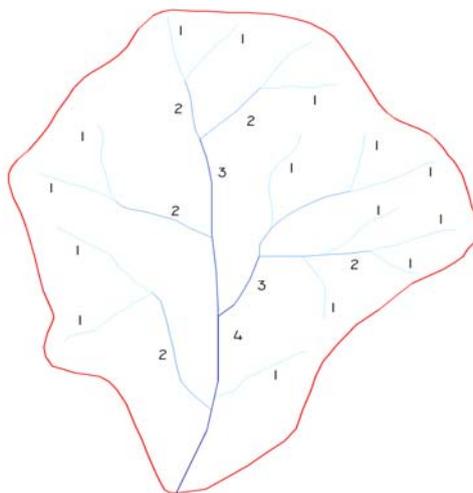
## Fascicolo dei calcoli idrologici MOTO UNIFORME

### *Analisi idrografica e morfologica*

I modelli idrologici di tipo geomorfologico si fondano sulla possibilità di ricostruire la risposta idrologica di un bacino (*formazione dei deflussi*), a seguito di una precipitazione che si abbatte su di esso, sulla base del legame che intercorre tra la suddetta risposta e i caratteri geomorfologici del bacino.

Gli elementi di *forma del rilievo* possono essere classificati sulla base delle proprietà *lineari*, di quelle *areali* e di quelle di *rilievo*.

Le proprietà *lineari* sono quelle che appartengono al sistema di drenaggio e quindi ai caratteri della rete fluviale. Uno dei sistemi di gerarchizzazione più utilizzati ai fini geomorfologici è quello di Horton-Strahler. Come si rileva dalla Fig. 1, si assegna ordine 1 ai canali di prima formazione privi di affluenti. Due canali del primo ordine a valle del punto di confluenza danno origine ad un canale del 2° ordine. Proseguendo, due canali di ordine 2 confluiranno in un canale a cui si attribuisce ordine 3. Un canale di ordine  $u$  che confluisce in un canale di ordine  $u+2$ , o superiore, non ne fa cambiare la numerazione gerarchica. Procedendo, si perviene a determinare il *massimo ordine del bacino* definito come quel tratto di alveo che raccoglie tutti i corsi d'acqua di ordine inferiore.



**Fig. 1-** Gerarchizzazione di un bacino idrografico

Assegnato un bacino idrografico, di superficie  $A_k$  dove il corso d'acqua principale ha ordine  $k$ , il rapporto tra la lunghezza totale del reticolo idrografico e la superficie del bacino, misurata in  $Km^{-1}$ , rappresenta la *Densità di drenaggio*:

$$D_k = \frac{\sum_{u=1}^k \sum_{i=1}^{N_u} L_{u,i}}{A_k}$$

Si è indicato con  $N_u$  il numero di canali di ordine  $u$ .

Tale parametro è un indice della permeabilità del terreno costituente il bacino imbrifero ed assume un valore elevato per terreni impermeabili.

**Esempio 1**-Nel bacino riportato in figura 1.1 si avrà per  $u=1$   $N_u=15$ , per  $u=2$   $N_u=6$ , per  $u=3$   $N_u=3$  e per  $u=4$   $N_u=1$ .

Le proprietà *areali* del bacino condizionano alcuni fenomeni idrologici che in esso si verificano, come ad esempio, i tempi di trasferimento delle gocce di pioggia cadute sul bacino.

La linea di displuvio passa per la sezione di chiusura e delimita la superficie del bacino, viene espressa in  $Km^2$ .

Per caratterizzare la forma di un bacino sono stati proposti diversi indici che tendono a confrontare il bacino reale con un cerchio di pari superficie o pari perimetro.

Il fattore di forma è definito dal rapporto tra la lunghezza dell'asta principale ed il diametro della circonferenza che racchiude una superficie equivalente all'area del bacino idrografico.

$$R_k = \frac{0.886 \cdot L_k}{\sqrt{A_k}}$$

Valori tendenti all'unità del fattore di forma sono tipici di bacini di forma raccolta, mentre, a valori elevati corrispondono bacini di forma allungata.

Per completare l'informazione morfometrica occorre mettere in relazione le informazioni areali con le dimensioni verticali del *rilievo*. La pendenza media del bacino può essere calcolata o facendo ricorso al metodo della media delle quote oppure sfruttando la curva ipsografica. Nel primo caso il software, partendo da un insieme di punti di quota nota, costruisce il DEM utilizzando un sistema di triangolazione.

La rete di triangoli viene realizzata utilizzando il criterio di Delauney che consiste nello scegliere per il punto prescelto gli altri due punti più vicini che consentono di realizzare un triangolo il più possibile equilatero. Sulla base di tale modello, la pendenza media del bacino verrà calcolata dalla relazione:

$$\bar{i}_b = \sum_{i=1}^n \frac{p_i \cdot A_i}{A_k}$$

essendo:

$p_i$ = pendenza della superficie triangolare  $i$ -esima;

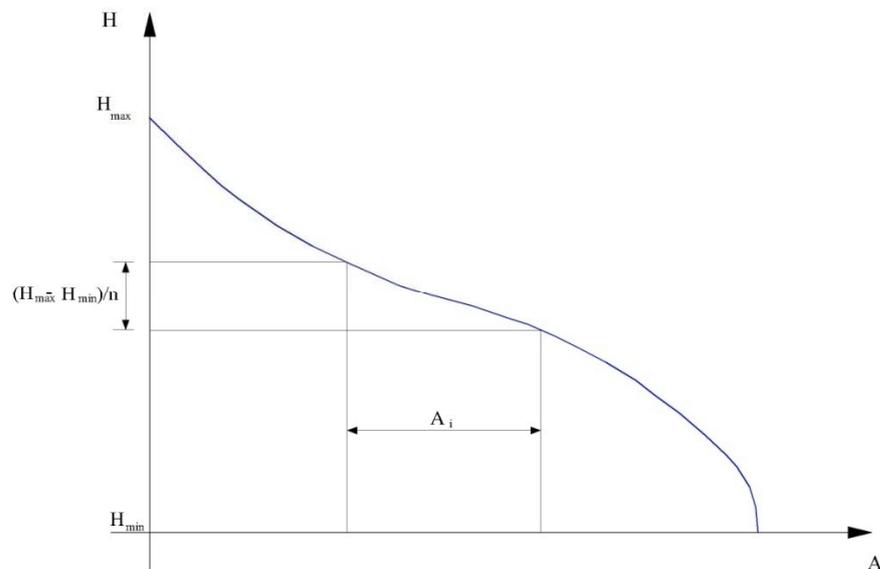
$A_i$ = area della superficie triangolare;

$A_k$ = superficie totale del bacino.

Tra le caratteristiche morfometriche di un bacino idrografico particolare importanza riveste la curva ipsografica, Fig. 2, essa viene utilizzata in idrologia in moltissime espressioni empiriche.

Su un piano cartesiano avente per ascissa le superfici espresse in  $Km^2$  ed in ordinate le quote in  $m$  s.l.m. (a partire dalla quota più bassa del bacino o del sottobacino oggetto di studio), si costruisce un diagramma i cui punti hanno come ordinata un valore della quota  $H_i$  e come ascissa la superficie parziale del bacino  $A_i$  posta al di sopra della quota considerata.

Il software suddivide l'intervallo ( $H_{max}-H_{min}$ ) in  $n$  intervalli di uguale ampiezza le quali delimitano sul bacino una banda di superficie  $A_i$  compresa tra due isoipse contigue e calcola la loro larghezza media.



*Fig. 2-Curva ipsografica*

La pendenza media del bacino verrà calcolata con la seguente relazione:

$$\bar{i}_b = \sum_{i=1}^n \frac{e}{d_i} \cdot \frac{A_i}{A_k}$$

dove:

**e**= intervallo di ampiezza costante ;

**A<sub>i</sub>**= area della banda compresa tra due isoipse consecutive;

**d<sub>i</sub>**= larghezza media tra due isoipse consecutive;

**A<sub>k</sub>**= superficie totale del bacino.

Come suddetto l'opzione triangolazione consente di discretizzare la superficie del bacino idrografico,  $A_k$ , in  $n$  superfici elementari ( $A_i$ ) di forma triangolare, ad ogni triangolo così ottenuto viene associata la quota del suo baricentro,  $H_i$ , l'altezza media del bacino si ricava come media ponderata delle quote dei baricentri dei diversi triangoli in cui la superficie del bacino idrografico è stata suddivisa (*ponendo i valori di ponderazione uguali ai rapporti tra le aree dei triangoli elementari e l'area totale del bacino*).

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \cdot A_i}{A_k}$$

I punti che definiscono l'asta principale consentono di individuare tratti a pendenza costante (*livellette*), la pendenza media dell'asta principale viene calcolata come media aritmetica delle pendenze dei singoli tratti.

### Tempo di corrivazione

Ad ogni bacino idrografico viene associato un tempo caratteristico, definito di corrivazione, che corrisponde teoricamente al tempo necessario affinché una particella d'acqua caduta sui punti più distanti della superficie scolante raggiunga la portata di chiusura.

Il tempo di corrivazione può essere stimato con diverse formule:

La più nota in Italia è la formula proposta da *Giandotti*, valida per bacini idrografici con superficie  $A_k$  variabile fra 170 e 70000  $Km^2$ :

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A_k} + 1.5 \cdot L_k}{0.8 \sqrt{H} - H_0}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $A_k$  in  $Km^2$  rappresenta l'area del bacino sottesa alla sezione di calcolo,  $L_k$  la lunghezza dell'asta principale espressa in  $Km$ ,  $H_{media} - H_0$  espressa in  $m$  è la quota media del bacino riferita alla sezione di calcolo.

Per bacini con  $A_k$  inferiore a 20  $Km^2$  è stata proposta da *Kirpich* la seguente relazione:

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L_k}{\sqrt{i_{amed}}} \right)^{0.77}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L_k$  la lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque, espressa in  $m$  ed  $i_{amed}$  la sua pendenza media [ $m/m$ ].

In maniera più semplice il tempo di corrivazione può essere calcolato con la relazione proposta dal *Viparelli*:

$$t_c = \frac{L_k}{V}$$

Carlo Viparelli ha suggerito per i corsi d'acqua pedemontani valori della velocità  $V$  caratteristica delle correnti di piena variabili tra 1 e 1.3  $m/s$  raggiungendo valori compresi tra 1.5 e 2  $m/s$  per quei bacini caratterizzati da valori rilevanti della pendenza.

*Puglisi e Zanframundo* indagando su bacini aventi superficie variabile tra 43 a 94  $Km^2$ , sono pervenuti alla seguente relazione:

$$t_c = C_p \cdot \left( \frac{L_k}{\sqrt{i_{amed}}} \right)^{1/3}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L_k$  la lunghezza dell'asta principale espressa in  $m$  ed  $i_{amed}$  la sua pendenza media ( $m/m$ ), e  $C_p$  è una costante numerica pari a 6.

Effettuando delle misure relative ad alcuni piccoli bacini piemontesi, *Pezzoli* ha proposto la seguente relazione:

$$t_c = 0.055 \cdot \frac{L_k}{\sqrt{i_{amed}}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L_k$  la lunghezza dell'asta principale espressa in  $Km$  ed  $i_{amed}$  la pendenza media ( $m/m$ ) dell'asta principale.

### ***Il coefficiente di deflusso***

Non tutto il volume d'acqua che precipita sulla superficie del bacino contribuisce alla formazione dei deflussi superficiali perché parte di esso si infiltra nel terreno o si invasa momentaneamente nelle depressioni superficiali.

Sono stati proposti diversi metodi per stimare il coefficiente di deflusso, ossia il rapporto tra la quantità d'acqua defluita da una sezione di chiusura e la quantità d'acqua affluita nel bacino sottoforma di precipitazione.

Il metodo proposto da Kennessey (1930) presuppone che il calcolo del coefficiente di deflusso medio di un bacino sia la somma di tre componenti legati, rispettivamente, *all'acclività topografica media del bacino* ( $C_a$ ), *alla sua copertura vegetale* ( $C_v$ ) *ed alla permeabilità media del terreno* ( $C_p$ ).

Generalmente una maggiore acclività media contribuisce ad un aumento del deflusso, a discapito dell'infiltrazione e dell'evapotraspirazione.

La presenza, invece, di una fitta copertura vegetale ostacola il deflusso superficiale rallentandolo e favorendo, quindi, l'infiltrazione. Inoltre bisogna considerare la perdita per effetto dell'evapotraspirazione. I terreni che hanno una buona permeabilità riducono il deflusso superficiale contribuendo ad aumentare la perdita per infiltrazione.

Inoltre, il coefficiente di deflusso è influenzato dalle condizioni meteo climatiche dell'area esaminata: infatti il coefficiente di deflusso è fortemente influenzato dalla distribuzione degli eventi meteorici nell'arco dell'anno, piuttosto che dai valori delle altezze di precipitazione e della temperatura. Generalmente, una maggiore quantità d'acqua caduta sul bacino associata a temperature elevate comportano una maggiore evapotraspirazione, con conseguente diminuzione del deflusso superficiale; diversamente, se alla stessa quantità d'acqua sono associate basse temperature il deflusso superficiale sarà maggiore.

Indice di aridità $I_a$ Permeabilità ( $C_p$ )	$I_a < 25$	$25 \leq I_a \leq 40$	$I_a > 40$
	Coefficienti		
Molto bassa	0.21	0.26	0.30
Bassa	0.17	0.21	0.25
Mediocre	0.12	0.16	0.20
Buona	0.06	0.08	0.10
Elevata	0.03	0.04	0.05
Acclività ( $C_a$ )	Coefficienti		
> 35%	0.22	0.26	0.30
35% ÷ 10%	0.12	0.16	0.20
10% ÷ 3.5%	0.01	0.03	0.05
< 3.5%	0.00	0.01	0.03
Vegetazione ( $C_v$ )	Coefficienti		
Roccia nuda	0.26	0.28	0.30
Pascolo	0.17	0.21	0.25
Terra coltivata	0.07	0.11	0.15
Bosco	0.03	0.04	0.05

***Tab. 1-Parametri di calcolo del coefficiente di deflusso Kennesy***

Per tenere conto del fattore climatico, Kennessey, introduce l'indice di aridità  $I_a$ :

$$I_a = \frac{P}{T + 10} + \frac{12 \cdot p}{t}$$

dove:

$P$  = afflusso medio mensile [mm];

$T$  = temperatura media annua [ $^{\circ}C$ ];

$p$  = afflusso del mese più arido [mm];

$t$  = temperatura del mese più arido [ $^{\circ}C$ ].

e vengono individuati tre intervalli di valori del coefficiente  $I_a$  in cui ogni fattore ( $C_a$ ,  $C_v$ ,  $C_p$ ) varia.

Nel caso frequente in cui la superficie del bacino sia suddivisibile in  $A_i$  superfici omogenee in riferimento all'acclività topografica, alla copertura vegetale ed alla permeabilità del terreno i suddetti tre coefficienti verranno calcolati attraverso la media ponderata in funzione dell'estensione :

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n C_{xi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

**Esempio 1.2-** Consideriamo un bacino idrografico di area totale 25 Km<sup>2</sup> con coefficiente di aridità  $I_a < 25$  e si vuole calcolare il coefficiente legato alla permeabilità  $C_p$  sapendo che è possibile decomporre l'area totale del bacino in tante superfici  $A_i$  distribuiti come segue:

- $A_1 = 5$  Km<sup>2</sup> terreno con permeabilità elevata (20% dell'area totale);
- $A_2 = 10$  Km<sup>2</sup> terreno con permeabilità mediocre (40% dell'area totale);
- $A_3 = 10$  Km<sup>2</sup> superficie del terreno con permeabilità molto bassa (40% dell'area totale).

Quindi, attraverso la media ponderata si ricava:

$$C_p = 0.03 \cdot 0.20 + 0.12 \cdot 0.40 + 0.21 \cdot 0.4 = 0.570$$

Il procedimento è analogo per la determinazione degli altri due addendi,  $C_a$  e  $C_v$ , del coefficiente di deflusso Kennessey.

### Legge di pioggia

Per stimare la legge di pioggia si ipotizza che le altezze di precipitazione massimi annuali, osservazioni campionarie, si distribuiscono secondo la legge di Gumbel:

$$P(h \leq \bar{h}) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

dove con  $P(h \leq h_{med})$  si indica la probabilità di non superamento della variabile idrologica  $h$  di durata prefissata mentre i parametri  $\alpha$  ed  $u$  sono i parametri della legge di Gumbel.

I parametri  $\alpha$  ed  $u$  sono legati alla media  $\mu(h)$  ed allo scarto quadratico medio  $\sigma(h)$  della variabile aleatoria  $h$  dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma(h)}$$

$$u = \mu(h) - 0.45 \cdot \sigma(h)$$

Per la stima dei due parametri si utilizza il metodo dei momenti ottenendo:

$$\alpha = \frac{1.283}{s}$$

$$u = M - 0.45 \cdot s$$

dove con **M** ed **s** si indicano i momenti campionari del primo e del secondo ordine. Sfruttando la relazione tra probabilità di superamento e periodo di ritorno:

$$1 - P(h \leq \bar{h}) \leq \frac{1}{T}$$

applicando semplici passaggi matematici si perviene alla seguente relazione:

$$h = M - s \left[ 0.45 + 0.78 \cdot \ln \cdot \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Mediante tale relazione, per ciascun valore di **T**, si ottengono cinque valori di **h** corrispondenti alle cinque durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore; i punti (*t, h*) individuano una curva a parametro **T**, denominata *curva di probabilità pluviometrica o legge di pioggia* di periodo di ritorno **T**.

L'insieme dei punti così individuati verranno interpretati da una legge di tipo monomio :

$$h = at^n$$

dove i parametri **a** ed **n**, caratteristici della stazione, saranno stimati, per ogni valore del tempo di ritorno **T**, con il metodo dei minimi quadrati.

## ***Stima della portata di massima piena***

### ***Metodi empirici***

L'impostazione concettuale delle formule empiriche, per la determinazione della portata di massima piena, si basa sul concetto di omogeneità idrologica fra bacini idrografici.

Le principali limitazioni di tali formule sono legate non tanto alle metodologie impiegate per il loro sviluppo, che spesso non sono molto differenti da quelle tuttora impiegate, quanto ai pochi dati disponibili all'epoca in cui sono state ricavate.

Alcune di queste formule che hanno avuto un ruolo rilevante nel passato, conservano ancora oggi un certo interesse per valutazioni speditive e di prima approssimazione.

Con il metodo suddetto, il software Hydrologic Risk consente di effettuare una stima della portata di massima piena utilizzando diversi autori riportati in letteratura tecnica.

Le formule di **Forti** (1922), si riferiscono a bacini di superficie inferiore a 1000 Km<sup>2</sup> sui quali la pioggia massima giornaliera mai registrata è inferiore rispettivamente a 200 mm/giorno e 400 mm/giorno.

$$q_{max} = 2.35 \frac{500}{A + 125} + 0.5$$

$$q_{max} = 3.25 \frac{500}{A + 125} + 1$$

Per bacini montani soggetti a piogge elevatissime (400 mm in 12 ore e oltre) e di superficie fino a circa 150 Km<sup>2</sup>, **De Marchi** (1939) ha invece proposto la seguente formula :

$$q_{max} = 6 \frac{500}{A + 125} + 5$$

**Pagliaro** (1926), per bacini di area compresa tra 20 e 1000 Km<sup>2</sup> ha proposto la formula:

$$q_{max} = \frac{2900}{A + 90}$$

eccessivamente cautelativa se confrontata con quella di De Marchi.

La relazione proposta da **Scimemi (1928)** per bacini con superficie inferiore a  $1000 \text{ Km}^2$  è:

$$q_{max} = \frac{600}{A + 10} + 1$$

la più recente è quella proposta da **Giandotti (1940)** ricavata da osservazioni sui bacini liguri con superficie compresa tra  $2$  e  $940 \text{ Km}^2$ :

$$q_{max} = \frac{532.50}{A + 16.20} + 5$$

Nelle relazioni precedenti la superficie del bacino viene espressa in  $\text{Km}^2$  ed il contributo unitario di massima piena in  $[m^3/(s \cdot \text{Km}^2)]$ .

### **Metodo analitico**

Il metodo analitico differisce dalle formule empiriche in quanto esso fornisce, sulla base di uno schema di bilancio idrologico, in cui figura la precipitazione di assegnato periodo di ritorno  $T$  che determina l'evento di piena, la portata di assegnata frequenza probabile.

Il metodo proposto viene anche conosciuto come *Metodo Razionale* e trova frequente applicazione soprattutto per la stima della portata di massima piena di piccoli bacini. Facendo riferimento al metodo razionale, la portata di massima piena di assegnato periodo di ritorno può essere calcolata dalla relazione:

$$Q_T = \frac{\varphi \cdot h_T \cdot A \cdot k}{t_c}$$

In cui  $A$  è la superficie del bacino espressa  $\text{Km}^2$ ,  $h$  l'altezza di precipitazione espressa in  $\text{mm}$  che cade sulla superficie del bacino dedotta dalla legge di pioggia di fissato periodo di ritorno  $T$ , in corrispondenza di una durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  espresso in ore. Inoltre si indica con  $\varphi$  il coefficiente di deflusso, rapporto tra gli afflussi meteorici ed i corrispondenti deflussi superficiali e  $k$  un fattore di uniformità che tiene conto della non uniformità delle unità di misura utilizzate. Nell'ipotesi di adottare le grandezze con le unità di misura citate si pone  $k=0.2777$ .

### Idrogramma di piena

Oltre alla stima della portata di massima piena, molte volte torna utile conoscere, in una sezione di chiusura, l'andamento della portata in funzione del tempo, tale grafico prende il nome di *idrogramma di piena*. Nel modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato i singoli processi idrologici vengono rappresentati da un sistema di serbatoi lineari disposti a cascata (vedi Fig. 3), questo modello è conosciuto nella letteratura tecnica come modello di Nash. Detti serbatoi sono caratterizzati dal medesimo valore della costante di invaso, un parametro che indica il decadimento

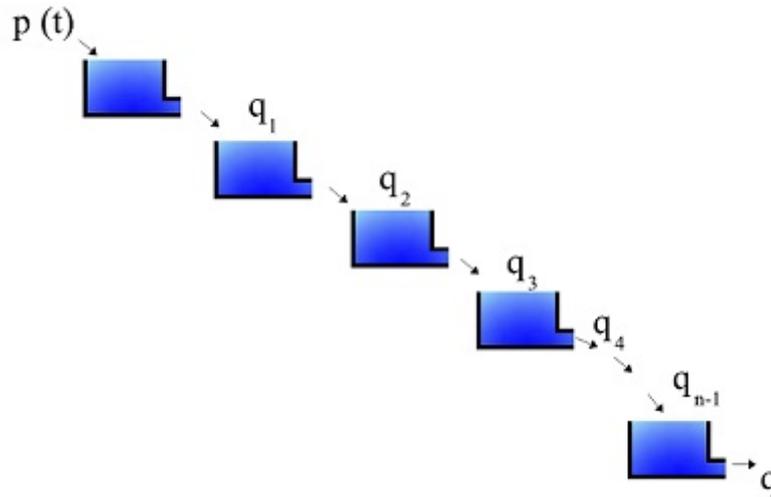


Fig. 3. – Rappresentazione concettuale del modello di Nash

della risposta idrologica, ovvero la costante di proporzionalità tra volume invaso e portata uscente:

$$W(t) = k \cdot q(t)$$

L'altra equazione fondamentale utilizzata dal modello è l'equazione di continuità scritta nella forma:

$$p(t) - q(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

Per la determinazione della portata si assoceranno alle equazioni suddette le proprietà di linearità e di stazionarietà del sistema. Si perviene così all'espressione della portata definita dal seguente integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \frac{A}{k \cdot \Gamma(n)} \int_0^t e^{-\tau/k} \left(\frac{\tau}{k}\right)^{n-1} p(t - \tau) d\tau$$

Per adattare il modello di calcolo ai casi reali è stata introdotta la funzione fattoriale Gamma completa  $\Gamma(n)$ . Discretizzando l'integrale di convoluzione si avrà:

$$Q(m\Delta t) = \frac{A}{k \cdot \Gamma(n)} \sum_{i=1}^m e^{-\frac{i\Delta t}{k}} \left(\frac{i\Delta t}{k}\right)^{n-1} p_{m-i+1}\Delta t$$

dove:

**m**: rappresenta il numero massimo di intervalli in cui è stato suddiviso il tempo di pioggia;

**$\Gamma(n)$** : funzione Gamma completa;

**$\Delta t$** : intervallo temporale di calcolo;

**$p_{m-i+1}$** : altezza di pioggia netta nell'intervallo  $m-i+1$ ;

**A:** area del bacino in  $Km^2$ ;  
**k,n:** parametri del modello.

In letteratura tecnica, per la stima dei parametri del modello sono disponibili diverse correlazioni, Hydrologic Risk utilizza il metodo di Nash (1960) ed il metodo Mc Sparran (1968).

### **Metodo di Nash (1960)**

Nash dimostrò che tra i parametri  $n$  e  $k$  ed i momenti  $m_1$  ed  $m_2$  esiste la seguente relazione:

$$m_1 = nk$$

$$m_2 = \frac{nk^2}{m_1^2}$$

I valori di  $m_1$  ed  $m_2$  vengono stimati attraverso le seguenti relazioni:

$$m_1 = 27.6 \cdot A^{0.3} i_b^{-0.3}$$

$$m_2 = 0.41 \cdot L^{-0.1}$$

dove:

**A**= area del bacino espressa in miglia quadre;

**L**= lunghezza dell'asta principale prolungata allo spartiacque espressa in miglia;

**$i_b$** = pendenza media del bacino espressa in parti per 1000.

### **Metodo Mc Sparran (1968)**

Mc Sparran, analizzando un certo numero di bacini della Pennsylvania ha trovato delle relazioni tra i parametri  $t_p$ ,  $k_1$  e le loro caratteristiche geomorfologiche.

Con  $t_p$  si è indicata l'ascissa dell'istante di picco dell'IUH e con  $k_1$  una costante di tempo legata ai parametri  $t_p$  ed  $n$ .

Le relazioni che consentono di stimare i due parametri secondo Mc Sparran sono:

$$n = 4.1 \frac{t_p}{k_1}$$

$$k = \frac{t_p}{n - 1}$$

Inoltre, per la stima delle costanti temporali suddette le correlazioni proposte dall'autore sono:

$$t_p = 5.52 \cdot A^{0.208} \cdot i_a^{-0.447}$$

$$k_1 = 3.34 \cdot A^{0.297} \cdot i_a^{-0.354}$$

in cui:

**$t_p$  e  $k_1$**  = parametri da stimare esprese in [ore];

**A** = area del bacino espressa in miglia quadre;

**$i_a$**  = pendenza meda dell'asta principale in parti per mille.

### Moto uniforme

La verifica idraulica della sezione in condizioni di moto uniforme può essere condotta nei canali artificiali, caratterizzati da una sezione geometrica trasversale di forma regolare (*rettangolare, trapezia,..*) che si mantiene inalterata per lunghi tratti e non sono presenti perturbazioni tali da formare a monte e/o a valle della stessa dei profili di rigurgito.

Negli alvei naturali, teoricamente, il moto della corrente non è uniforme ma, possono esistere dei tronchi più o meno lunghi in cui la pendenza del pelo libero, la sezione idrica e la velocità sono soggette a variazioni trascurabili, è quindi lecito trattare il moto della corrente come uniforme.

La situazione di moto uniforme, da un punto di vista matematico, viene descritta dalle seguenti equazioni:

$$Q = V \cdot A(h) = \text{cost}$$

$$\frac{dH}{ds} = i_f$$

La prima esprime la condizione di continuità del moto permanente a densità costante, la seconda invece che la pendenza della linea dei carichi totali sia coincidente con quella di fondo alveo.

Si indica con  $h$  l'altezza del pelo libero, in una generica sezione, rispetto al punto più depresso del suo contorno (*vedi Fig. 4*).

In condizioni di moto uniforme la legge di resistenza è espressa dall'equazione di Chezy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R_H \cdot i_f}$$

dove:

$V$  = velocità media in condizioni di moto uniforme [m/s];

$\chi$  = coefficiente di Chezy [ $m^{1/2}/s$ ];

$R_H$  = raggio idraulico [m], pari al rapporto tra l'area della sezione idrica  $A(h)$  ed il perimetro bagnato  $P(h)$

Facendo riferimento, per il coefficiente di Chezy, all'indice di scabrezza di Strickler:

$$\chi = K_{GS} \cdot R_H^{1/6}$$

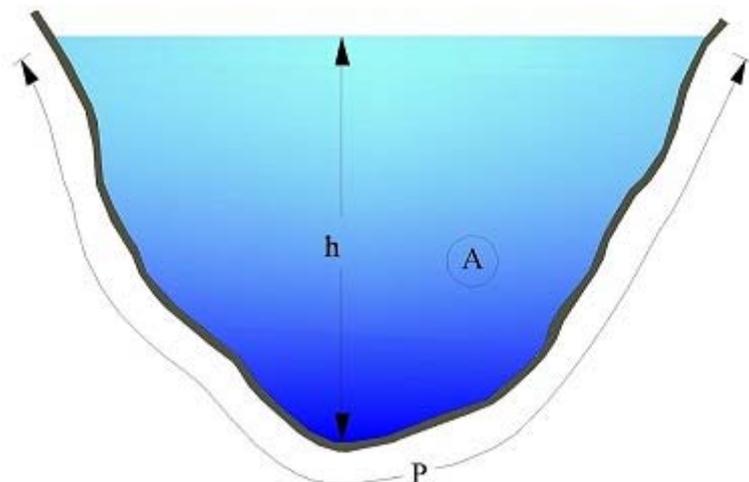
dove:

$K_{GS}$  = indice di scabrezza di Strickler [ $m^{1/3}/s$ ];

$R_H$  = raggio idraulico [m].

Il problema della verifica idraulica di una sezione fluviale equivale ad affermare che nella sezione progettata possa transitare la portata di progetto, ovvero:

$$Q = A^{5/3} \cdot K_{GS} \cdot P^{-2/3} \cdot i_f^{1/2} \geq Q_p$$

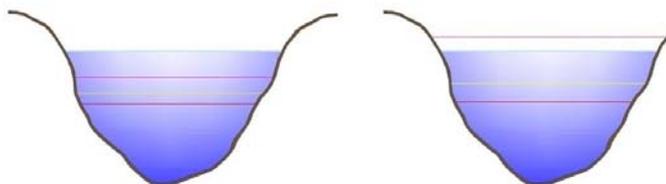


**Fig. 4.** – Individuazione delle dimensioni significative di una sezione generica di un alveo

Il software Hydrologic Risk consente di controllare il funzionamento idraulico di un assegnato canale effettuando la verifica in condizione di moto uniforme della sezione trasversale di un alveo.

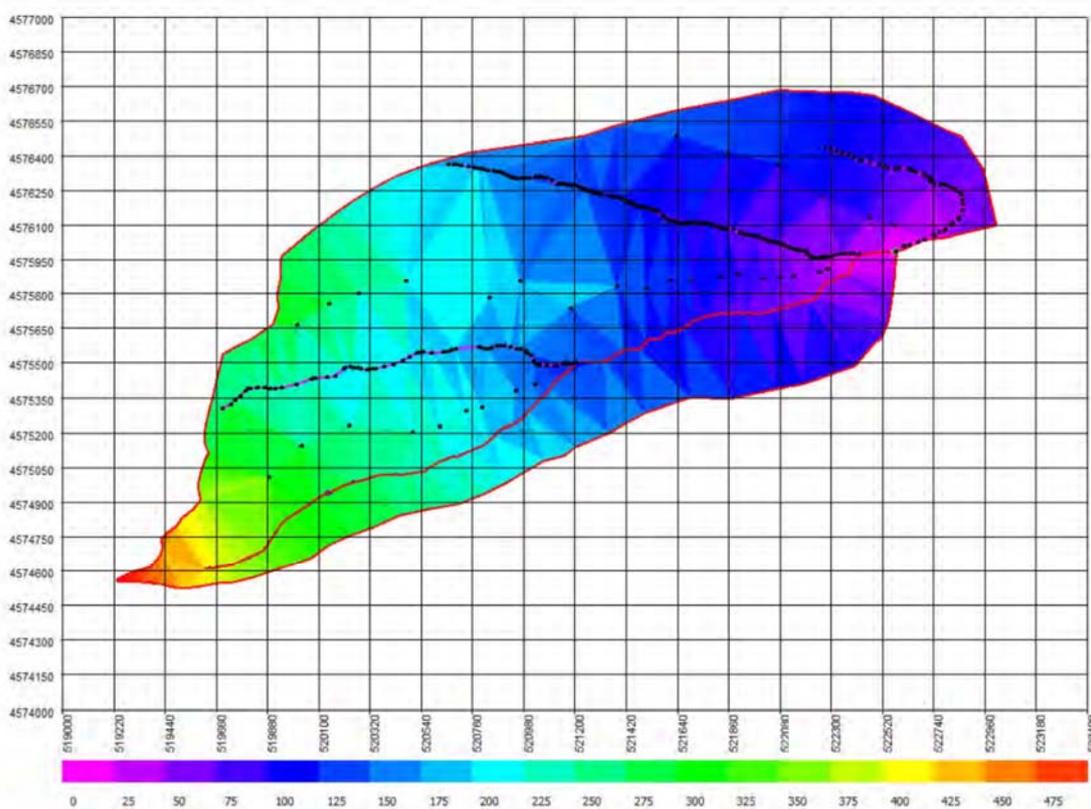
In particolare data la forma e le dimensioni della sezione trasversale di un alveo di nota scabrezza e pendenza, il software calcola l'altezza del pelo libero  $h$  relativo alla corrente di moto uniforme di nota portata  $Q_p$  (la portata nota può variare in funzione del periodo di ritorno  $T$  assegnato).

La verifica idraulica risulta soddisfatta quando il livello idrico della corrente calcolato, risulta inferiore a quello imposto in fase di progetto, l'esempio in Figura 5 consente di chiarire il concetto.



**Fig. 5** - I livelli idrici in condizioni di moto uniforme, evidenziati dai colori rosso, giallo e magenta si riferiscono a portate di progetto ottenute considerando rispettivamente un periodo di ritorno  $T= 10, 50, 100$  anni. Nell'esempio, la sezione di progetto a sinistra risulta verificata per le portate di  $T=10, 50, 100$  anni quella a destra per le portate di progetto di  $T=10, 50$  anni.

La verifica idraulica risulta soddisfatta quando il livello idrico della corrente calcolato, risulta inferiore a quello imposto in fase di progetto per tempi di ritorno fino a 200 anni.



Modello di calcolo del bacino idrografico

## BACINO (Sezione 01)

### Dati idrologici

Descrizione	Bacino 01
Ubicazione bacino	Bacino pianeggiante
Porzione permeabile del bacino	95.00 %
Giorni piovosi	75.00 annui
Piovosità media annua	1000.00 mm
Temperatura media annua	20.00 °C
Temperature min.-max. mensile	12.24 °C
Permeabilità media terreni	1.00E-03 cm/s
Permeabilità media superficiale	1.00E-02 cm/s
Pioggia critica in 24 h	150.00 mm

### Coefficiente di deflusso annuo medio del bacino (Kennessey 1930)

#### Stazione pluviometrica

#### Troia (FG)

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novemb.	Dicembre
Piovosità	200	200	150	150	100	50	50	50	50	100	150	200
Temp. Media °C	10	10	15	20	25	30	30	30	25	25	20	15
Temp. Massime °C	15	15	20	25	30	35	35	35	30	27	25	20
Temp. Minime °C	5	5	15	15	20	25	25	25	15	13	15	10

Afflussi mensili di Piovosità sull'area (media) mm	120.83 mm
Temperatura media annua °C	21.25 °C
Afflusso del mese più arido (mm)	50.00 mm
Temperatura del mese più arido °C	30.00 °C
Indice di aridità Ia:	11.93

#### • Vegetazione

Coperte a bosco	0.00 Km <sup>2</sup>
Con superficie rocciosa o senza vegetazione	5.00 Km <sup>2</sup>
Con coltivazioni agricole	31.33 Km <sup>2</sup>
Con destinazione a pascolo	0.00 Km <sup>2</sup>

#### • Permeabilità

Permeabilità molto bassa	0.00 Km <sup>2</sup>
Permeabilità bassa	0.00 Km <sup>2</sup>
Permeabilità mediocre	5.00 Km <sup>2</sup>
Permeabilità buona	31.33 Km <sup>2</sup>
Permeabilità elevata	0.00 Km <sup>2</sup>

#### • Acclività

Porzione con Acclività > 35 %	0.00 Km <sup>2</sup>
Porzione con Acclività 10 - 35 %	0.00 Km <sup>2</sup>
Porzione con Acclività 3,5 - 10 %	36.33 Km <sup>2</sup>
Porzione con Acclività < 3,5 %	0.00 Km <sup>2</sup>

#### • Coefficiente di deflusso annuo medio del bacino (Kennessey)

$C_v=0.096$   $C_p=0.068$   $C_a=0.010$   $C_d=0.174$  Vegetazione, Permeabilità, Acclività, Coefficiente deflusso (si assume 0.20 in favore di sicurezza)

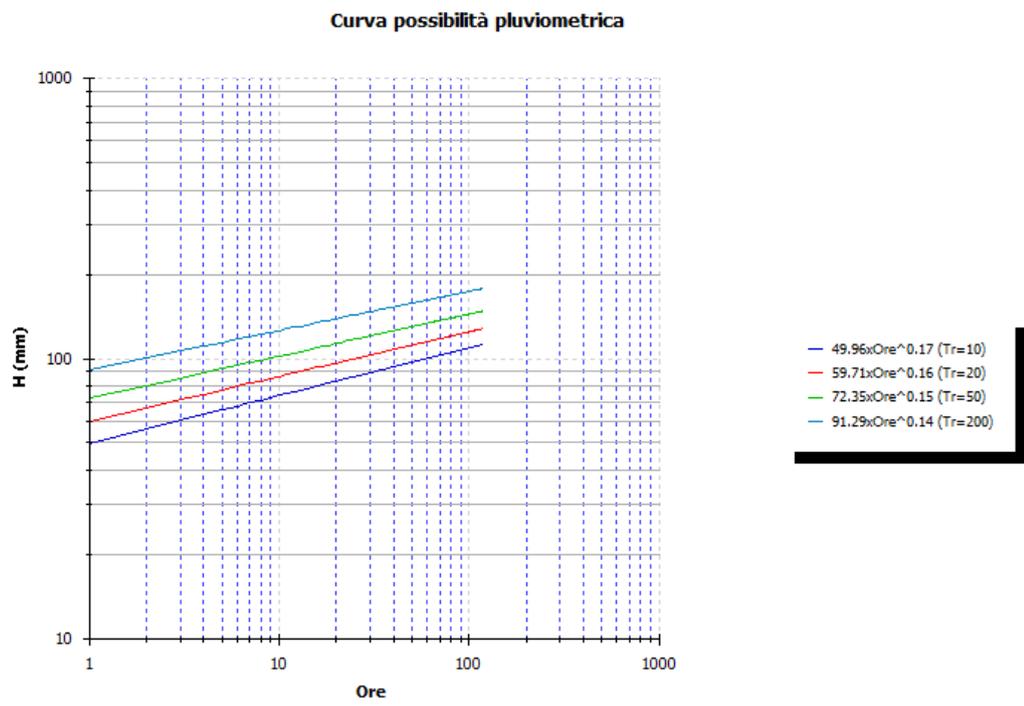
## ELABORAZIONE SERIE PLUVIOMETRICA METODO DI GUMBEL

### • Durata della pioggia critica (ore)

Anno	1 Ora	3 Ore	6 Ore	12 Ore	24 Ore
1989	35.60	54.40	58.40	58.40	58.40
1990	21.80	25.00	33.20	46.60	65.40
1991	49.60	54.40	54.40	54.40	74.80
1992	20.00	24.60	25.20	37.80	43.20
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	33.00
1994	0.00	0.00	0.00	29.40	32.00
1995	22.60	25.00	25.00	39.00	40.20
1997	34.20	34.40	34.40	34.40	34.40
1998	32.40	46.20	74.60	75.80	75.80
1999	35.20	36.80	46.60	46.60	46.80
2000	19.80	21.80	30.80	39.40	48.60
2001	18.20	34.60	63.40	68.40	62.20
2002	20.60	21.80	23.80	30.20	50.60
2003	16.40	30.00	46.00	77.80	118.60
2004	28.60	34.80	58.60	63.00	63.40
2005	63.20	79.00	80.00	80.20	80.20
2006	16.60	19.00	25.40	36.60	67.00
2007	12.80	16.00	16.00	19.80	26.40
2008	16.80	19.80	24.80	27.40	38.40
2009	71.40	73.40	75.20	85.00	100.20
2010	34.60	35.20	35.20	35.20	37.80
2011	26.40	15.80	29.40	30.40	45.00
2012	32.80	54.60	54.60	54.60	54.60
2013	31.00	31.00	43.20	68.00	90.20
2014	49.20	55.00	58.20	58.40	63.80

### • $h=a*t^n$

Anno	1 Ora	3 Ore	6 Ore	12 Ore	24 Ore	a	n
10	49.96	60.42	68.11	76.79	86.57	49.96	0.17
20	59.71	71.25	79.65	89.04	99.54	59.71	0.16
50	72.35	85.26	94.57	104.89	116.34	72.35	0.15
200	91.29	106.21	116.86	128.58	141.48	91.29	0.14



*Legge di pioggia*

*Vertici bacino (m)*

Nr.	X	Y	Z	Nome
1	523002.78	4576105.88	406.92	
2	522849.52	4576069.72	405.00	
3	522831.01	4576062.85	400.00	
4	522808.74	4576054.27	395.00	
5	522694.78	4576042.60	385.00	
6	522574.44	4575986.01	382.16	
7	522569.38	4575942.47	385.00	
8	522565.48	4575907.89	390.00	
9	522565.39	4575878.60	395.00	
10	522563.02	4575838.81	400.00	
11	522559.02	4575806.87	405.00	
12	522552.93	4575768.34	410.00	
13	522539.37	4575682.55	415.00	
14	522512.10	4575616.47	420.00	
15	522472.73	4575577.19	425.00	
16	522400.17	4575493.23	430.00	
17	522183.06	4575417.68	435.00	
18	522056.65	4575393.10	440.00	
19	521870.70	4575352.95	445.00	
20	521689.61	4575356.66	450.00	
21	521496.92	4575287.32	455.00	
22	521340.32	4575203.71	460.00	
23	521198.53	4575142.78	465.00	
24	521151.35	4575107.95	470.00	
25	521063.62	4575085.73	475.00	
26	520894.37	4574984.22	480.00	
27	520811.48	4574946.89	485.00	
28	520700.78	4574900.80	490.00	
29	520569.24	4574876.62	495.00	
30	520447.15	4574848.06	500.00	
31	520337.45	4574798.65	505.00	
32	520223.85	4574760.84	510.00	
33	520136.40	4574720.36	515.00	
34	520064.02	4574664.13	520.00	
35	519990.54	4574637.56	525.00	
36	519904.32	4574608.86	530.00	
37	519816.57	4574579.06	535.00	
38	519762.22	4574561.96	540.00	
39	519718.30	4574555.12	545.00	
40	519679.67	4574553.19	550.00	
41	519624.63	4574543.92	555.00	
42	519577.46	4574535.38	560.00	
43	519533.31	4574531.70	565.00	
44	519500.28	4574532.19	570.00	
45	519468.48	4574535.38	575.00	
46	519415.28	4574549.07	580.00	
47	519357.08	4574556.89	585.00	
48	519323.89	4574560.12	590.00	
49	519285.19	4574558.43	595.00	
50	519241.87	4574561.79	598.52	
51	519286.63	4574583.96	595.00	
52	519317.55	4574594.48	590.00	
53	519346.27	4574602.24	585.00	
54	519380.08	4574613.46	580.00	
55	519412.82	4574648.14	575.00	

---

56	519431.45	4574678.99	575.00
57	519434.27	4574706.18	580.00
58	519430.77	4574742.35	584.43
59	519454.81	4574762.99	580.00
60	519469.70	4574775.76	575.00
61	519486.58	4574788.07	570.00
62	519499.93	4574798.87	565.00
63	519517.40	4574825.88	560.00
64	519565.92	4574867.12	555.00
65	519599.72	4574907.09	550.00
66	519593.19	4574946.09	545.00
67	519590.80	4574955.58	539.43
68	519591.08	4574977.36	535.00
69	519593.62	4575001.94	530.00
70	519598.00	4575023.64	525.00
71	519606.18	4575049.69	520.00
72	519617.01	4575081.24	515.00
73	519635.53	4575112.42	510.00
74	519616.45	4575160.04	505.00
75	519616.95	4575205.69	500.00
76	519636.33	4575290.12	495.00
77	519653.31	4575356.90	493.21
78	519691.80	4575532.06	494.87
79	519757.27	4575569.62	500.00
80	519805.20	4575593.40	505.00
81	519912.15	4575667.53	508.71
82	519934.20	4575736.86	506.94
83	519930.10	4575796.08	505.00
84	519943.56	4575870.21	500.00
85	519943.29	4575946.27	495.00
86	519945.85	4575962.25	493.99
87	520003.21	4576008.65	490.00
88	520067.43	4576066.88	485.00
89	520114.53	4576101.95	480.00
90	520180.35	4576152.10	475.00
91	520241.96	4576196.16	470.00
92	520334.79	4576253.31	465.00
93	520395.78	4576288.26	463.55
94	520447.88	4576314.05	460.00
95	520557.20	4576353.91	455.00
96	520653.70	4576381.13	452.12
97	520671.30	4576385.23	451.59
98	520747.43	4576406.99	451.85
99	521233.31	4576476.73	450.45
100	521374.31	4576523.73	446.84
101	521643.60	4576588.57	439.76
102	521879.81	4576636.45	435.92
103	522075.95	4576675.83	432.31
104	522173.95	4576671.64	430.00
105	522299.68	4576667.84	427.88
106	522377.88	4576667.75	427.43
107	522481.71	4576652.60	425.00
108	522616.96	4576591.09	420.53
109	522632.98	4576581.25	420.00
110	522787.63	4576505.54	415.00
111	522856.47	4576474.36	413.69
112	522919.67	4576382.45	410.00
113	522949.09	4576338.56	407.71
114	523002.78	4576105.88	406.92

*Vertici asta principale (m)*

Nr.	X	Y	Z	Nome
1	519613.21	4574608.96	553.99	
2	519652.61	4574615.72	549.86	
3	519676.75	4574619.08	546.53	
4	519705.16	4574621.52	544.73	
5	519730.78	4574625.62	540.00	
6	519749.42	4574637.18	538.49	
7	519784.03	4574653.10	535.51	
8	519824.55	4574671.20	531.41	
9	519853.46	4574687.55	530.00	
10	519861.75	4574691.72	527.20	
11	519879.01	4574715.41	524.78	
12	519901.48	4574751.13	521.83	
13	519934.87	4574798.92	518.23	
14	519954.33	4574822.10	516.67	
15	519996.39	4574848.22	513.03	
16	520038.02	4574877.35	509.98	
17	520093.37	4574916.77	505.77	
18	520213.79	4574975.67	497.30	
19	520300.78	4575001.49	491.01	
20	520355.55	4575018.59	487.13	
21	520371.60	4575019.75	486.11	
22	520401.43	4575018.60	483.48	
23	520468.89	4575021.43	477.72	
24	520482.94	4575023.61	477.18	
25	520526.65	4575030.39	475.51	
26	520557.92	4575037.66	473.83	
27	520572.19	4575047.95	472.87	
28	520589.65	4575057.22	470.86	
29	520616.19	4575074.06	469.85	
30	520643.61	4575086.50	467.02	
31	520662.02	4575093.84	465.48	
32	520697.23	4575100.54	463.85	
33	520727.06	4575111.83	460.25	
34	520759.08	4575127.55	458.05	
35	520805.54	4575146.40	456.10	
36	520828.52	4575166.53	452.57	
37	520852.53	4575184.38	449.94	
38	520870.18	4575207.51	448.34	
39	520894.60	4575219.94	446.75	
40	520935.29	4575233.71	444.86	
41	520970.81	4575257.70	443.71	
42	520998.88	4575287.01	442.58	
43	521028.83	4575322.41	440.23	
44	521037.50	4575332.52	439.71	
45	521069.45	4575362.15	437.96	
46	521088.45	4575385.11	435.61	
47	521117.91	4575419.55	433.26	
48	521138.68	4575439.64	431.59	
49	521170.60	4575466.53	429.82	
50	521186.93	4575482.79	429.52	
51	521201.73	4575500.39	428.82	
52	521212.17	4575500.71	428.70	
53	521230.42	4575505.67	427.16	
54	521291.50	4575502.28	425.03	
55	521315.37	4575506.57	424.57	

---

56	521322.64	4575506.09	424.54
57	521327.90	4575507.80	424.54
58	521350.23	4575521.72	423.32
59	521357.22	4575524.78	423.09
60	521359.37	4575525.09	422.54
61	521378.80	4575539.97	421.91
62	521404.06	4575552.06	420.91
63	521412.67	4575555.37	420.52
64	521431.84	4575558.21	420.04
65	521446.47	4575558.48	419.99
66	521459.15	4575557.03	419.39
67	521469.20	4575556.20	419.17
68	521476.48	4575557.46	417.95
69	521484.98	4575564.34	417.82
70	521498.33	4575578.16	417.25
71	521503.90	4575590.09	417.21
72	521507.54	4575596.48	416.51
73	521515.49	4575601.68	415.81
74	521526.32	4575603.40	415.47
75	521533.26	4575601.69	414.81
76	521543.99	4575601.32	414.42
77	521568.78	4575605.64	412.72
78	521580.04	4575616.43	412.11
79	521585.86	4575628.46	411.72
80	521592.13	4575634.40	411.63
81	521600.16	4575634.21	411.55
82	521609.69	4575630.05	411.24
83	521622.15	4575630.16	410.94
84	521645.64	4575642.89	409.80
85	521670.42	4575653.14	408.76
86	521675.07	4575657.90	407.85
87	521685.89	4575666.15	407.85
88	521706.95	4575681.60	407.32
89	521727.86	4575690.16	406.93
90	521740.56	4575693.68	406.67
91	521748.18	4575695.21	406.19
92	521765.17	4575701.21	405.41
93	521779.60	4575705.13	405.19
94	521813.80	4575709.39	404.62
95	521825.19	4575713.93	404.52
96	521836.96	4575716.68	404.11
97	521845.40	4575716.60	403.26
98	521851.76	4575714.45	402.92
99	521857.54	4575711.71	402.52
100	521867.74	4575714.33	402.21
101	521889.31	4575715.64	401.29
102	521900.38	4575715.09	401.09
103	521910.69	4575713.08	400.61
104	521919.52	4575712.65	399.93
105	521930.24	4575714.77	399.76
106	521964.86	4575714.48	399.59
107	521982.19	4575712.53	399.46
108	521997.70	4575716.59	399.22
109	522028.74	4575720.90	398.03
110	522055.07	4575727.56	397.05
111	522091.07	4575738.56	396.81
112	522114.01	4575742.80	396.13
113	522130.75	4575749.66	395.68
114	522156.62	4575756.68	395.55
115	522183.30	4575763.65	395.07

---

---

116	522206.19	4575768.10	394.67
117	522226.32	4575777.44	393.82
118	522239.92	4575785.48	393.14
119	522242.83	4575807.04	392.49
120	522252.35	4575819.23	391.44
121	522259.32	4575824.05	390.93
122	522266.50	4575835.67	390.93
123	522277.70	4575844.64	390.93
124	522290.05	4575850.70	390.69
125	522305.66	4575852.65	390.28
126	522310.06	4575855.01	390.28
127	522324.10	4575871.87	390.11
128	522330.53	4575875.16	389.98
129	522340.14	4575877.00	389.98
130	522359.13	4575883.88	389.20
131	522369.11	4575886.04	388.38
132	522371.69	4575886.04	388.38
133	522374.30	4575888.42	387.65
134	522377.26	4575891.22	387.49
135	522382.57	4575896.74	387.05
136	522385.40	4575912.59	386.37
137	522388.31	4575927.41	386.17
138	522392.86	4575940.80	385.15
139	522399.52	4575950.40	385.05
140	522407.52	4575959.26	385.01
141	522414.67	4575971.70	384.81
142	522416.65	4575975.72	384.65
143	522439.93	4575974.43	383.80
144	522451.78	4575974.66	383.80
145	522466.63	4575976.37	383.77
146	522491.28	4575979.43	382.78
147	522509.26	4575980.92	382.38
148	522527.84	4575982.38	381.83
149	522547.34	4575984.54	381.42
150	522561.45	4575986.23	381.02
151	522574.72	4575987.19	380.81
152	522576.12	4575984.63	380.60
153	522580.11	4575982.82	380.50
154	522582.40	4575982.50	380.40

**Vertici aste secondarie (m)****Asta secondaria Nr.1**

Nr.	X	Y	Z	Nome
1	520654.56	4576363.84	449.91	
2	520675.16	4576361.31	450.00	
3	520692.09	4576361.66	449.25	
4	520706.69	4576359.75	448.97	
5	520741.39	4576353.47	448.25	
6	520761.20	4576349.54	447.92	
7	520780.42	4576344.98	447.58	
8	520784.89	4576344.43	447.26	
9	520789.74	4576343.48	446.38	
10	520796.17	4576343.14	446.38	
11	520806.53	4576341.04	445.99	
12	520827.22	4576338.26	444.36	
13	520847.65	4576335.10	443.90	
14	520862.24	4576333.63	443.29	
15	520869.23	4576333.23	442.55	
16	520875.23	4576330.62	442.37	
17	520888.30	4576327.61	441.63	
18	520896.11	4576322.80	441.50	
19	520904.40	4576316.40	440.92	
20	520910.49	4576311.38	440.85	
21	520915.63	4576308.57	440.85	
22	520928.83	4576305.58	440.34	
23	520941.65	4576303.36	439.92	
24	520949.95	4576302.04	439.65	
25	520965.06	4576302.64	439.37	
26	520973.99	4576303.77	438.93	
27	520985.51	4576304.22	438.37	
28	520995.75	4576304.22	437.71	
29	521002.70	4576304.66	437.63	
30	521024.51	4576308.15	436.11	
31	521031.88	4576308.91	436.06	
32	521037.78	4576308.68	435.80	
33	521042.39	4576308.91	435.71	
34	521046.56	4576309.55	435.27	
35	521049.83	4576310.43	434.88	
36	521058.25	4576307.75	434.84	
37	521069.25	4576305.18	434.36	
38	521074.50	4576304.41	434.06	
39	521081.44	4576302.68	433.97	
40	521097.86	4576295.59	432.75	
41	521119.56	4576278.30	432.27	
42	521121.86	4576277.06	432.27	
43	521124.64	4576277.23	432.27	
44	521130.15	4576279.49	431.66	
45	521136.41	4576279.85	431.49	
46	521144.22	4576278.08	431.14	
47	521153.43	4576276.09	430.70	
48	521157.81	4576275.27	430.70	
49	521165.04	4576275.31	430.62	
50	521171.14	4576273.80	430.35	
51	521178.26	4576273.18	430.35	
52	521186.80	4576273.18	430.09	
53	521190.31	4576273.18	430.00	

---

54	521199.75	4576272.28	428.92
55	521210.59	4576267.53	428.31
56	521219.79	4576262.84	428.18
57	521229.51	4576258.07	427.65
58	521240.22	4576253.68	427.35
59	521248.30	4576250.63	427.13
60	521251.46	4576249.77	427.13
61	521258.08	4576250.06	427.13
62	521261.74	4576249.91	426.52
63	521264.98	4576249.48	426.26
64	521269.85	4576246.88	425.84
65	521280.07	4576240.26	425.52
66	521293.41	4576236.83	425.43
67	521302.59	4576235.98	425.17
68	521312.62	4576233.66	424.98
69	521335.77	4576228.81	423.71
70	521353.59	4576225.42	422.94
71	521361.33	4576224.15	422.82
72	521367.65	4576222.43	422.82
73	521378.47	4576220.66	421.99
74	521392.08	4576218.37	421.52
75	521399.48	4576215.72	420.43
76	521407.98	4576211.44	420.38
77	521414.09	4576208.14	420.08
78	521419.38	4576204.09	420.00
79	521429.21	4576199.46	419.44
80	521439.09	4576195.09	419.19
81	521448.95	4576189.89	418.90
82	521457.16	4576185.63	418.56
83	521463.30	4576182.79	418.30
84	521469.21	4576180.96	418.30
85	521472.72	4576180.11	417.86
86	521476.77	4576178.66	417.56
87	521485.89	4576176.67	417.56
88	521489.93	4576175.74	417.56
89	521500.24	4576174.84	417.56
90	521507.88	4576173.90	417.39
91	521523.91	4576172.93	415.90
92	521531.94	4576169.69	415.60
93	521539.10	4576166.06	415.45
94	521541.13	4576165.26	415.42
95	521549.08	4576163.17	415.05
96	521553.64	4576160.76	414.64
97	521573.21	4576143.47	413.65
98	521585.10	4576131.65	412.90
99	521598.29	4576124.64	412.90
100	521611.31	4576120.76	412.36
101	521623.50	4576117.99	412.24
102	521637.29	4576114.49	411.89
103	521655.22	4576109.19	411.07
104	521664.35	4576106.94	410.24
105	521677.65	4576110.83	409.46
106	521688.67	4576112.55	409.15
107	521701.77	4576114.34	408.98
108	521716.42	4576113.91	408.76
109	521731.23	4576111.13	408.54
110	521756.22	4576108.68	407.61
111	521761.97	4576107.91	407.51
112	521777.33	4576104.02	407.12
113	521789.02	4576101.30	406.87

---

---

114	521803.78	4576096.87	406.30
115	521818.02	4576092.14	405.98
116	521829.33	4576088.38	405.32
117	521840.45	4576083.67	405.10
118	521852.00	4576082.10	404.67
119	521877.70	4576080.21	403.07
120	521903.34	4576070.43	401.91
121	521913.01	4576066.34	401.88
122	521926.93	4576061.64	401.06
123	521938.03	4576059.11	401.06
124	521956.70	4576056.95	400.82
125	521969.94	4576053.31	400.42
126	521981.06	4576048.40	399.74
127	521995.88	4576045.42	399.13
128	522009.33	4576040.80	398.89
129	522019.66	4576035.05	398.31
130	522026.16	4576030.30	397.94
131	522034.13	4576026.30	397.84
132	522041.10	4576026.84	397.84
133	522047.42	4576028.02	397.56
134	522050.74	4576027.72	397.50
135	522056.23	4576025.95	397.16
136	522065.98	4576023.80	396.88
137	522080.60	4576019.55	396.31
138	522093.28	4576013.30	396.03
139	522099.67	4576009.98	395.80
140	522117.95	4576004.13	394.13
141	522124.40	4576002.36	393.59
142	522138.45	4575995.94	392.77
143	522150.83	4575992.16	392.70
144	522155.20	4575990.82	392.67
145	522169.49	4575989.43	392.40
146	522184.60	4575989.43	391.75
147	522187.61	4575988.40	391.75
148	522196.68	4575979.10	391.55
149	522203.78	4575970.42	391.23
150	522212.94	4575961.21	391.17
151	522220.78	4575958.78	390.83
152	522231.71	4575958.24	390.36
153	522245.36	4575958.92	389.37
154	522257.72	4575962.12	389.00
155	522264.22	4575963.29	389.00
156	522282.60	4575964.96	388.62
157	522292.77	4575966.36	388.29
158	522306.18	4575969.00	388.06
159	522324.13	4575973.71	387.61
160	522343.86	4575976.20	387.17
161	522359.89	4575978.34	386.25
162	522378.94	4575978.41	385.91
163	522384.04	4575978.80	385.91
164	522393.23	4575978.31	385.23
165	522416.65	4575975.72	384.65

## Asta secondaria Nr.2

Nr.	X	Y	Z	Nome
1	519684.66	4575300.68	489.17	
2	519721.40	4575323.19	485.51	
3	519738.92	4575337.12	484.36	
4	519761.68	4575357.11	482.52	
5	519783.80	4575381.55	480.50	
6	519794.70	4575387.34	479.76	
7	519802.28	4575388.99	479.36	
8	519835.46	4575391.53	477.71	
9	519866.92	4575391.85	475.87	
10	519890.25	4575390.88	475.29	
11	519912.14	4575389.12	474.28	
12	519935.83	4575391.76	473.17	
13	519999.29	4575408.97	471.29	
14	520066.49	4575431.65	468.57	
15	520073.56	4575434.67	468.30	
16	520082.36	4575436.37	467.67	
17	520132.47	4575440.39	465.78	
18	520169.18	4575445.33	463.97	
19	520203.76	4575474.78	462.15	
20	520209.37	4575478.11	461.95	
21	520234.41	4575481.88	460.95	
22	520244.16	4575481.55	460.14	
23	520266.31	4575478.44	459.37	
24	520279.12	4575474.68	459.37	
25	520302.97	4575472.74	458.12	
26	520314.52	4575475.26	457.99	
27	520327.32	4575475.41	457.23	
28	520342.43	4575476.61	456.71	
29	520379.38	4575485.23	456.17	
30	520420.02	4575492.66	455.10	
31	520456.90	4575511.12	453.65	
32	520487.97	4575526.54	452.76	
33	520518.10	4575541.79	451.40	
34	520532.25	4575546.85	451.07	
35	520537.48	4575547.50	450.86	
36	520547.27	4575545.90	450.53	
37	520580.08	4575545.27	448.21	
38	520632.00	4575545.61	446.69	
39	520641.28	4575547.11	446.51	
40	520657.39	4575553.09	445.38	
41	520669.74	4575556.68	445.38	
42	520686.71	4575560.24	445.38	
43	520785.76	4575569.59	443.03	
44	520795.05	4575567.69	442.64	
45	520814.40	4575561.83	442.42	
46	520825.39	4575561.29	442.16	
47	520840.53	4575564.88	441.90	
48	520864.08	4575572.82	440.46	
49	520877.09	4575574.27	440.00	
50	520895.84	4575574.30	439.59	
51	520919.59	4575569.61	438.85	
52	520947.15	4575563.04	437.98	
53	520960.57	4575560.30	437.98	
54	520983.00	4575551.00	437.20	
55	520994.76	4575544.61	436.24	
56	521007.37	4575533.50	436.04	

57	521023.09	4575512.44	434.32
58	521030.44	4575496.97	433.93
59	521035.19	4575492.50	433.67
60	521043.70	4575487.70	433.63
61	521049.74	4575486.75	433.63
62	521076.30	4575490.34	432.84
63	521110.78	4575488.07	431.67
64	521122.30	4575490.51	430.97
65	521142.98	4575498.10	429.79
66	521154.16	4575500.27	429.79
67	521160.61	4575500.03	429.79
68	521165.52	4575498.87	429.79
69	521174.70	4575498.10	429.79
70	521190.74	4575499.99	429.38
71	521201.73	4575500.39	428.82

## Asta secondaria Nr.3

Nr.	X	Y	Z	Nome
1	522271.45	4576435.46	423.02	
2	522294.32	4576431.02	422.14	
3	522323.62	4576420.34	421.33	
4	522344.45	4576411.95	421.33	
5	522370.26	4576406.80	420.81	
6	522395.01	4576394.31	419.56	
7	522418.93	4576383.56	418.70	
8	522429.73	4576382.48	418.70	
9	522465.16	4576371.43	417.61	
10	522500.65	4576362.08	416.42	
11	522526.01	4576354.10	415.55	
12	522542.22	4576347.87	414.89	
13	522569.45	4576346.08	413.81	
14	522589.12	4576348.96	412.29	
15	522623.40	4576343.29	411.60	
16	522632.20	4576342.61	411.07	
17	522641.79	4576340.74	410.82	
18	522648.75	4576336.25	410.56	
19	522661.15	4576332.24	410.35	
20	522692.35	4576321.72	409.01	
21	522706.47	4576313.13	407.62	
22	522718.63	4576305.07	407.28	
23	522723.61	4576294.72	406.24	
24	522723.64	4576289.78	406.24	
25	522726.26	4576284.04	406.24	
26	522737.44	4576278.81	406.20	
27	522767.55	4576278.98	405.33	
28	522784.00	4576275.24	404.24	
29	522794.29	4576272.18	402.95	
30	522810.55	4576264.89	402.74	
31	522828.73	4576258.63	402.43	
32	522849.42	4576244.63	400.36	
33	522858.59	4576230.08	399.80	
34	522861.78	4576208.07	398.06	
35	522861.69	4576191.55	397.24	
36	522859.66	4576165.36	395.69	
37	522847.19	4576135.05	394.39	
38	522842.78	4576128.01	394.04	
39	522821.11	4576109.49	391.97	
40	522811.83	4576100.00	391.14	
41	522787.53	4576081.71	390.45	
42	522782.42	4576078.42	390.18	
43	522761.38	4576067.40	388.48	
44	522736.77	4576056.61	387.36	
45	522699.54	4576039.14	384.46	
46	522669.98	4576027.04	383.83	
47	522634.86	4576015.75	381.69	
48	522613.05	4576009.50	381.30	
49	522608.09	4576008.54	381.13	
50	522574.72	4575987.19	380.81	

## IDROGRAFIA E MORFOMETRIA

<b>Nome bacino</b>	<b>SEZ. 1</b>
Fattore di forma	1
Densità di drenaggio	1
Massimo ordine	1
Superficie	4.06 km <sup>2</sup>
Coordinate baricentro (x,y)	(520.87,4573.59) km
Perimetro bacino	9.23 km
Altitudine massima bacino	598.52 m
Altitudine media bacino (Media quote)	447.67 m
Altitudine minima bacino	380.43 m
Pendenza media bacino	0.00 %
Quota sezione chiusura (m s.l.m.)	380.43 m
Lunghezza asta principale	3.47 Km
Pendenza media fiume	5.01 %
• Tempo di corrivazione (Giandotti 1934)	2.00 ore

## PORTATA DI PIENA METODI EMPIRICI

Sezione	Area (Km <sup>2</sup> )	Autore	Q. (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /sec)
SEZ. 01	4.06	Giandotti (1940)	31.283	127.01

Tali valori sono oltremodo conservativi e non verranno presi in considerazione.

## PORTATA DI PIENA METODO RAZIONALE

SEZ. 01 Area=4.0600 Km<sup>2</sup> Tempo corrivazione=1.9970 ore Coeff. deflusso=0.2000

Tr. (anni)	Hcrit (mm)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)
10	56.2079	6.3390
20	66.7132	7.5238
50	80.2774	9.0535
<b>200</b>	<b>100.5929</b>	<b>11.3447</b>

## VERIFICA IDRAULICA SEZIONE 01 – ATTRAVERSAMENTO CAVIDOTTO FOSSO CANCARRO

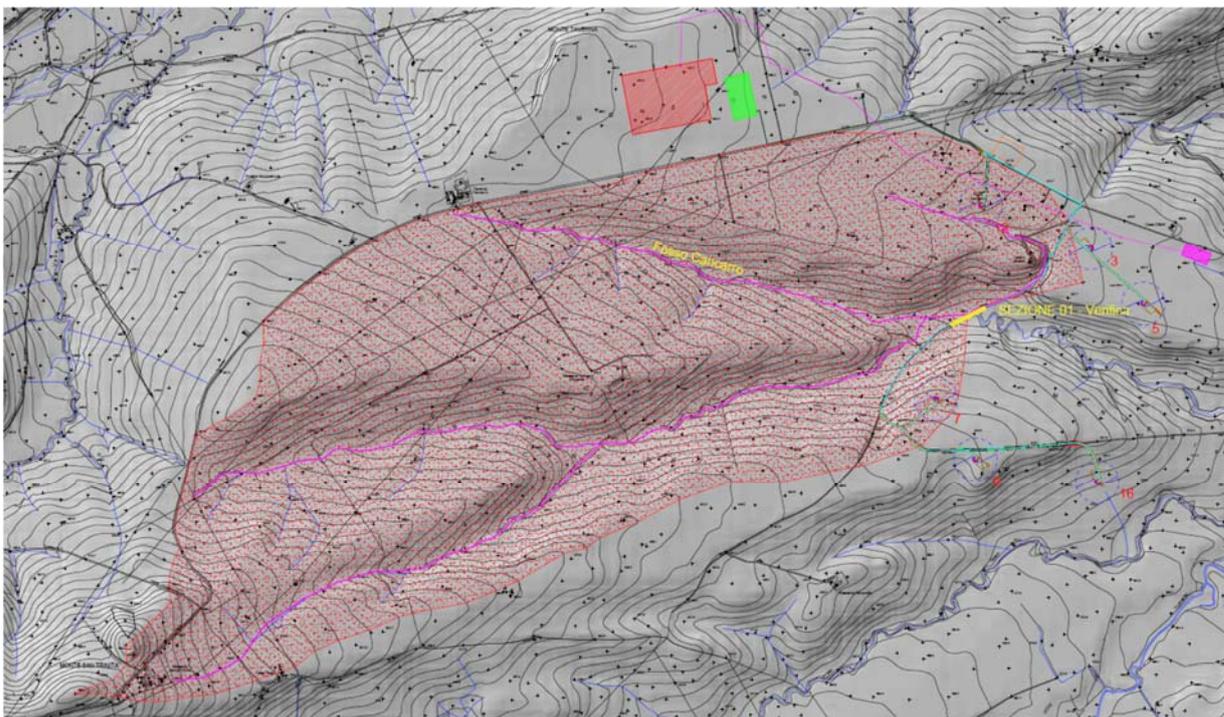
Nel presente paragrafo verranno approfonditi gli aspetti idraulici legati alle interferenze delle opere da realizzare con i corsi d'acqua demaniali allo scopo di verificare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica.

Al fine di ottenere un quadro conoscitivo e completo circa l'attuale stato di fatto delle aree di interesse e delle opere esistenti e da realizzare, si sono eseguiti, dei sopralluoghi, con rilievi fotografici, geometrici e topografici che hanno permesso di ricostruire la configurazione delle opere idrauliche e degli alvei per aree opportunamente estese sia a monte che a valle dei punti di intersezione con la viabilità esistente e di nuova realizzazione.

Nell'elaborato grafico T01 e T02 sono state evidenziate sulla cartografia regionale con base ortofoto e CTR in scala 1:10000 l'area del progetto interferente con il reticolo idrografico principale.



Area impianto e bacino idrografico afferente alla Sezione 01 di verifica su ortofoto



Area impianto e bacino idrografico afferente alla Sezione 01 di verifica su ortofoto

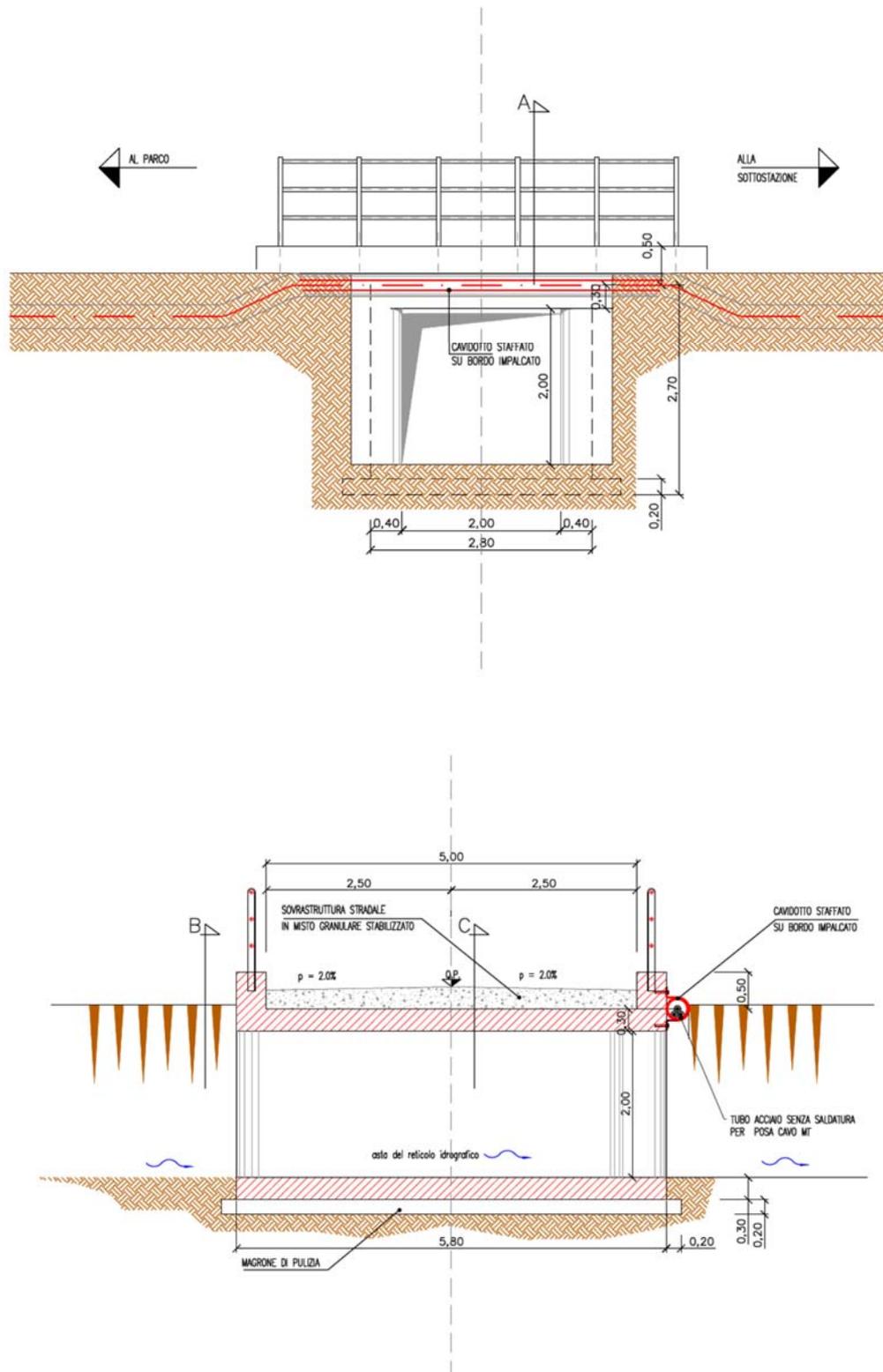
Da una analisi di dettaglio supportata da sopralluoghi, rilievo topografico e fotografico delle aree interessate dall'ampliamento del parco eolico si è riscontrato quanto segue:

il cavidotto di collegamento delle torri 7-9 e 16 nel suo percorso verso la sottostazione attraversa il Fosso Cancarro nel punto individuato come **Sezione 01**. Attualmente l'attraversamento del fosso avviene con un'opera idraulica in calcestruzzo di modeste dimensioni non idonea allo smaltimento delle portate di piena e al transito dei mezzi per la costruzione e gestione del parco.



Opera di attraversamento esistente sul fosso Cancarro

Dovendo attraversare il fosso con il cavidotto e dovendo garantire un franco di un metro sulla portata di piena bicentenaria si procederà durante l'esecuzione dei lavori al rifacimento dell'opera di attraversamento con uno scatolare il calcestruzzo di luce netta e altezza pari a 2 m al quale verrà staffato esternamente il cavidotto.



Opera di attraversamento i sul fosso Cancarro

**Nome sezione: SEZ. 01 (Scatolare in progetto)****• Coordinate profilo in mt**

Nr.	X	Y
1	-2.62	382.53
2	2.38	382.53
3	2.38	381.53
4	2.38	380.53
5	3.38	380.53
6	4.38	380.53
7	4.38	381.53
8	4.38	382.53
9	9.38	382.53

**• Coordinate contorno bagnato in mt**

Nr.	X	Y
1	4.38	381.53
2	4.38	380.53
3	3.38	380.53
4	2.38	380.53
5	2.38	381.53
6	4.38	381.53

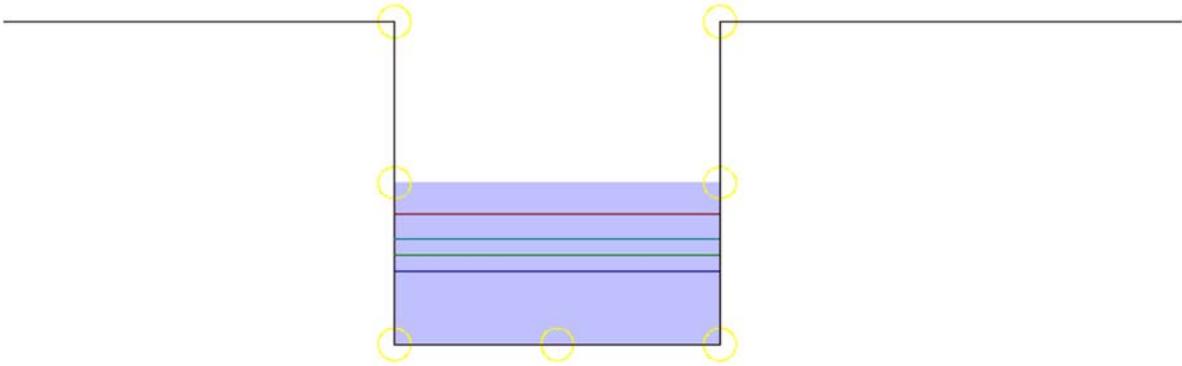
Area	2 m <sup>2</sup>
Contorno bagnato	4 m
Raggio idraulico	0.5 m

**• Verifica sezione (moto uniforme)**

Coefficiente scabrezza Ks (Strickler)	75
Pendenza alveo	0.0228
Velocità media	7.13 m/s
Portata	14.27 m <sup>3</sup> /s
Energia specifica	3.59 m
Velocità critica	7.13 m/s

xi, xf, yf, h: intersezione tra la sezione dell'alveo e la retta che individua l'esonazione, h altezza di acqua.  
Tutte le coordinate sono in mt

Tempo di ritorno	Q (m <sup>3</sup> /s)	Ver.	xi	xf	ym	Altezza moto uniforme
10	6.34	S	2.38	4.38	380.98	0.45
20	7.52	S	2.38	4.38	381.08	0.55
50	9.05	S	2.38	4.38	381.18	0.65
200	11.35	S	2.38	4.38	381.33	0.80



*Verifica portata*

In corrispondenza della sezione SEZ 01 dello scatolare in calcestruzzo armato avente una sezione libera di deflusso pari a 2 m di base e 2,00 di altezza che sarà realizzato il cavidotto sarà staffato ad una quota di circa 2,3 m dalla base dello scatolare.

Come si può osservare dai calcoli eseguiti il tirante idrico nella nuova opera di attraversamento per una piena bicentenaria è pari a 0.80 m e pertanto il franco per il cavidotto è pari a 1.5 m.

Il manufatto risulta verificato