



PROVINCIA DI CHIETI

PROGETTO DEFINITIVO

ADEGUAMENTO DELLE S.S. 81-84
TRATTO GUARDIAGRELE-EST
INNESTO S.S. 652 "VAL DI SANGRO"

LOTTO I

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

Dott. Ing. Marco Petrangeli
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 18744

Dott. Ing. Giovanni Zalocco
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 5745

COORDINAMENTO ATTIVITA' IN LOCO:

Dott. Arch. Mariano Strizzi
Iscritto Albo Architetti Provincia di Chieti n° 97

PROGETTAZIONE:

A.T.I.

mandataria

SILEC S.p.A.

Divisione Progettazione
e Studi

SELPRO

mandanti



EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
A	OTT. '03	Emissione	MC	AR	FB

*STUDI E INDAGINI
Idrologia e idraulica
Relazione idrologica*

SCALA :

CODICE IDENTIFICATIVO :

FASE/LOTTO

D 1

DOC.

R I

OPERA/DISCIPLINA

I D 0 0

PROGR.

0 0 1

REV.

A

INDICE

A. PREMESSA.....	2
B. PLUVIOMETRIA.....	3
B.1. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	3
B.1.1. LEGGI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A TRE PARAMETRI.....	3
B.2. ANALISI DI REGIONALIZZAZIONE (PROCEDURA VAPI)	5
B.3. RISULTATO DEI CALCOLI	7
C. VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA	8
C.1. METODO RAZIONALE.....	8
C.1.1. CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE DEL BACINO.....	9
C.1.2. TEMPO DI CORRIVAZIONE	10
C.1.3. VALUTAZIONE DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO.....	11
C.1.4. RISULTATI DEI CALCOLI.....	12
C.2. FORMULE EMPIRICHE.....	13
D. ALLEGATO 1	15

A. PREMESSA

Scopo del presente lavoro è la caratterizzazione idrologica e la valutazione della portata di piena significativa del bacino del Fiume Laio intercettato dal tracciato della strada transcollinare, s.s. 81 – 84, che da Guardiagrele porta a connettersi con la SS 652 "Val di Sangro" con la rete idrografica locale.

Lo studio è stato svolto attraverso il reperimento e l'elaborazione dei dati disponibili quali dati pluviometrici, leggi di regionalizzazione e piani stralcio, che sono stati utilizzati per le verifiche idrauliche nelle differenti condizioni, e mediante una descrizione qualitativa e quantitativa dei bacini sulla base di parametri a carattere generale ed elementi di valutazione deterministici.

In relazione alle problematiche connesse all'interferenza del collegamento stradale in progetto con la rete idrografica locale, si possono distinguere i seguenti casi:

- interferenza con il Fiume Laio;
- interferenza con rii minori;
- acque di ruscellamento intercettate dal tracciato stradale in progetto;
- interferenza con canali e fossi irrigui.

Data l'importanza delle opere, è necessario determinare differenti valori della portata per l'analisi idraulica delle molteplici situazioni (progetto, cantiere, dimensionamento difese idrauliche, calcolo dello scalzamento, etc...).

A tale scopo si sono sviluppati studi idrologici mirati agli specifici bacini per la determinazione dei valori di portata da assumere nelle diverse verifiche.

B. PLUVIOMETRIA

B.1. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

La caratterizzazione pluviometrica del territorio in esame sarà eseguita in base ai valori di precipitazione ottenuti secondo il metodo di calcolo derivato da procedure di regionalizzazione VAPI (Valutazione delle Piene) di seguito esposto.

Lo scopo delle elaborazioni dei dati pluviometrici raccolti è la definizione delle curve di possibilità climatica.

Come è noto, la curva di possibilità climatica fornisce, per un assegnato tempo di ritorno T , la relazione tra la durata t e l'altezza di pioggia ragguagliata h_r relativa all'area A del bacino considerato.

Si possono in realtà prendere in considerazione due distinti tipi di curva di possibilità climatica: la curva di possibilità climatica dell'altezza di pioggia puntuale e la curva di possibilità climatica dell'altezza di pioggia ragguagliata (che d'ora in poi più brevemente indicheremo, rispettivamente, come curva di possibilità climatica puntuale e curva di possibilità climatica ragguagliata).

La prima fornisce, per un assegnato tempo di ritorno T , la relazione tra la durata t e l'altezza di pioggia h nel punto considerato.

La seconda fornisce, sempre per un assegnato tempo di ritorno T , la relazione tra la durata t e l'altezza di pioggia ragguagliata h_r relativa al bacino considerato (di area A).

Quando l'area A del bacino tende a zero la curva di possibilità climatica ragguagliata tende a confondersi con quella puntuale.

La curva di possibilità climatica ragguagliata relativa a un certo bacino si può costruire in due fasi distinte:

- ⇒ individuazione della curva di possibilità climatica puntuale relative alla stazione pluviometrica presa in esame;
- ⇒ trasformazione della curva di possibilità climatica puntuale nella curva di possibilità climatica ragguagliata tramite un coefficiente di riduzione (o coefficiente di ragguaglio all'area) R che dipende dalla durata t e dall'area A ed è in pratica indipendente dal tempo di ritorno T (l'ipotesi di indipendenza da T è suffragata dall'esperienza).

Nei calcoli viene comunque cautelativamente trascurato il ragguaglio delle precipitazioni all'area.

B.1.1. Leggi di possibilità pluviometrica a tre parametri

Nel caso in esame si è scelto di utilizzare, per una corretta descrizione dei fenomeni pluviometrici, una legge di possibilità pluviometrica a tre parametri che ha il vantaggio, rispetto a quella abitualmente utilizzata a due parametri, di descrivere con maggiore accuratezza gli eventi meteorici

che presentano durate inferiori ad un ora; quest'ultima presenta infatti l'inconveniente di fornire valori di intensità di pioggia tendenti all'infinito per le basse durate.

L'espressione generica della curva di possibilità pluviometrica assume dunque la seguente espressione:

$$h = \frac{at}{(b+t)^m}$$

Scopo della elaborazione statistica dei dati di pioggia è la determinazione univoca dei parametri a , b ed m per assegnati tempi di ritorno (20, 50, 100, 200 anni).

Nel seguito i pedici i e j identificano le grandezze relative al singolo caso critico ($i=1,\dots,N$) ed alla generica durata ($j=1,\dots,M$).

L'equazione precedente si linearizza introducendo la seguente trasformazione temporale:

$$\theta = (b_j + t)$$

e passando ai logaritmi:

$$\log i_{t,i} = \log a_i - m_i \log \theta$$

Per determinare i parametri della relazione intensità-durata relativi ad un singolo caso critico si fissa un valore di prima approssimazione di b_i che caratterizza la trasformazione temporale, determinando successivamente i valori ottimali dei parametri a_i ed m_i interpolando la precedente equazione linearizzata con il metodo dei minimi quadrati imponendo che sia minima la somma dei quadrati degli scarti tra i valori teorici e quelli osservati.

Scrivendo l'equazione linearizzata nella seguente forma:

$$y_{j,i} = \alpha_i + \beta_i x_j$$

con: $y_{j,i} = \log i_{j,i}$ $x_j = \log \theta_j$ $\alpha_i = \log a_i$ $\beta_i = -m_i$

si determina, per ogni caso critico, una terna di valori dei parametri della curva di possibilità pluviometrica.

La stima separata dei parametri di ciascuno degli N casi critici fornisce un diverso coefficiente angolare per ogni relazione intensità-durata linearizzata,

Ciò implica che le trasformate lineari di tali relazioni non sono parallele, ma esistono valori per cui le curve si incrociano, cosa chiaramente priva di significato fisico.

Conviene quindi imporre:

- l'unicità della trasformata temporale, assumendo un parametro b comune alle N relazioni
- il parallelismo delle trasformate lineari.

L'equazione precedente diventa allora:

$$y_{j,i} = \alpha_i + \beta x_j$$

e per ciascun valore di b i parametri possono essere individuati imponendo che sia minima la somma dei quadrati degli scarti tra valori teorici ed empirici di tutti i casi critici contemporaneamente:

$$S^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\alpha_i + \beta x_j - y'_{j,i})^2$$

dalla quale minimizzando si ottiene:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_j - \underline{x}) y'_{j,i}}{N \sum_{j=1}^M (x_j - \underline{x})^2}$$

$$\alpha_i = \underline{y}_i - \beta \underline{x}$$

dove:

$$\underline{x} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_j \qquad \underline{y}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y'_{j,i}$$

B.2. ANALISI DI REGIONALIZZAZIONE (PROCEDURA VAPI)

Il metodo di regionalizzazione proposto dal programma VAPI (Valutazione Piene), sviluppato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche ha per obiettivo la regionalizzazione delle piogge intense su tutto il territorio nazionale secondo criteri omogenei.

Tale metodo è basato sulla distribuzione dei valori estremi tipo I a due componenti (TCEV1), che rappresenta la distribuzione del massimo valore di una mistura di due popolazioni costituite da:

- una componente base contenente i valori medi e bassi
- una componente straordinaria, contenente i valori più elevati.

In questo modo è possibile utilizzare variabili anche fortemente asimmetriche, che difficilmente le distribuzioni usuali riescono a rendere.

Il progetto VAPI suddivide l'intero territorio nazionale in alcuni compartimenti, presso i quali sono state sviluppate le regionalizzazioni separate.

Per il lotto in oggetto è stata utilizzata la procedura con la determinazione della relazione intensità-durata-frequenza a tre parametri, sviluppata presso l'Università di Roma (Calenda e Cosentino, 1996) per la regionalizzazione di un'ampia zona dell'Italia Centrale, tra il promontorio di Piombino e la foce del Garigliano.

Al terzo livello di regionalizzazione, nella regione considerata la dipendenza dalla quota z della media dell'altezza giornaliera di pioggia μ_{hd} sembra seguire una relazione lineare:

$$\mu_{hd} = cz + d$$

Esprimendo l'intensità di precipitazione mediante la legge a tre parametri precedentemente vista, la media dei valori di i_t risulta:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m = \frac{\mu_{h0}}{24} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m$$

Dalle ipotesi precedenti si può ricavare il valore del parametro di trasformazione temporale b e l'espressione del parametro m della curva di possibilità pluviometrica:

$$m = \frac{1}{\ln \frac{b}{b+24}} \ln \frac{\eta(cz+d)}{24\mu_{i0}}$$

La distribuzione di probabilità dell'intensità i_t risulta quindi:

$$P(i_t) = e^{-\Lambda_b e^{-\left[\frac{i_t}{\mu_{i0}} \beta \left(\frac{b+t}{b} \right)^m \right]}} - \Lambda^* \Lambda_b^{1/\Theta^*} e^{-\left[\frac{i_t}{\Theta^* \mu_{i0}} \beta \left(\frac{b+t}{b} \right)^m \right]}$$

I valori dei parametri della legge considerata per la zona in oggetto sono riassunti nella tabella seguente:

REGIONE OMOGENEA Cc							
Λ^*	Θ^*	Λ_b	β	c	d	b	μ_{i0}
0,685	2,547	35,9	5,424	0,03532	56,19	0,0264	133,1

Nell'Allegato 1 sono riportati i tabulati di calcolo con i relativi grafici rappresentativi relativi alla applicazione della procedura VAPI per la sottoregione omogenea Cc dell'Italia centrale.

B.3. RISULTATO DEI CALCOLI

Vengono riassunti nel presente paragrafo i risultati delle elaborazioni dei dati analizzati interpolati con leggi di possibilità pluviometrica a tre parametri.

La legge a tre parametri presenta quindi il vantaggio di rappresentare con un'unica relazione l'intero arco delle durate, e di caratterizzare con maggiore affidabilità le durate di pochi minuti dando luogo a valori finiti e non tendenti all'infinito.

$$h = \frac{at}{(b+t)^m}$$

con:

$$b = 0,0264 \text{ ed } m = 0,5421$$

ed a variabile in funzione del tempo di ritorno secondo la tabella seguente.

Tr	20 Anni	50 Anni	100 Anni	200 Anni
a	35,060	43,015	49,065	55,116

C. VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

C.1. METODO RAZIONALE

Le portate di piena di assegnato tempo di ritorno sono state stimate, non essendo disponibili misure dirette, mediante applicazione del metodo di corrivazione, secondo cui alle portate calcolate viene attribuito il medesimo tempo di ritorno delle piogge che le hanno generate.

Le ipotesi alla base del progetto sono quelle di considerare un evento di pioggia corrispondente ad un certo tempo di ritorno T_r e di adottare quale modello rappresentativo della trasformazione afflussi-deflussi quello fornito dall'espressione razionale:

$$Q = \frac{chS}{3,6t_c} (m^3 / s)$$

dove:

- c = coefficiente di deflusso del bacino;
- h = altezza massima di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);
- S = superficie del bacino (km²);
- t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

Per giungere al dimensionamento delle opere di attraversamento idraulico e di tutti i rami della rete di drenaggio bisogna preventivamente definire, sulla base degli elementi idrologici, idraulici e geometrici disponibili, le portate generate da un certo evento meteorico, di assegnata frequenza probabile, assunto come sollecitazione idrologica di progetto.

L'analisi è stata sviluppata secondo le seguenti fasi:

- delimitazione e classificazione dei bacini idrografici di interesse primario e secondario su base cartografica costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e 1:25.000;
- definizione dei parametri morfologici e fisiografici (superficie del bacino sotteso, lunghezza e pendenza dell'asta principale, acclività dei versanti, la quota massima (H_{max}), minima (H_{min}) e media (H_{med}) del bacino, copertura vegetale, uso del suolo);
- definizione dei tempi di corrivazione in base a diverse formule teorico-sperimentali e attribuzione dei valori di riferimento;
- analisi dei dati di copertura e vegetazione, acclività e morfologia per la valutazione del coefficiente di deflusso da attribuire ai bacini imbriferi nel calcolo della portata di massima piena;
- calcolo della portata di massima piena per diversi tempi di ritorno, mediante applicazione del metodo razionale.

C.1.1. Caratteristiche fisiografiche del bacino

La corretta considerazione del ruolo giocato dalle caratteristiche spaziali dei bacini idrografici in una vasta serie di applicazioni ambientali, costituisce un aspetto fondamentale della ricerca idrologica classica.

Ogni processo di trasformazione idrologica a scala di bacino deriva, infatti, dall'interazione di campi spazio- e tempo-varianti.

Per bacino idrografico si intende la porzione di territorio che raccoglie tutte le acque che, trasformandosi in portate nella rete di drenaggio, defluiscono attraverso la sezione di chiusura assegnata per il corso d'acqua in esame.

La delimitazione del bacino è individuata dalla linea dello spartiacque (*bacino imbrifero*).

Le principali caratteristiche topografiche, che influenzano la formazione dei deflussi di un bacino, sono quelle di seguito elencate.

- *Superficie* È espressa in km² e misura l'area delimitata dalla proiezione su un piano orizzontale dello spartiacque topografico; essa è ricavata su base cartografica costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 o inferiore;
- *Fattori di forma*. Sono i parametri che caratterizzano la forma di un bacino.
 - ✓ *Perimetro*. È espresso in km e misura la lunghezza del contorno che delimita il bacino in esame.
 - ✓ *Lunghezza del bacino*. Si assume pari alla lunghezza dell'asta principale lungo l'effettivo percorso dell'acqua a partire dalla sezione di chiusura (foce) fino allo spartiacque, cioè del più lungo percorso della rete idrografiche.
 - ✓ *Pendenza media dei versanti*. È calcolabile con la formula: $i = hL/S$; con h equidistanza tra curve di livello contigue; L lunghezza totale delle curve di livello di assegnata equidistanza ricadenti nel bacino; S superficie del bacino.
 - ✓ *Curva ipsografica*. Descrive l'andamento altimetrico di un bacino e si ottiene riportando in un diagramma cartesiano i punti le cui coordinate rappresentano l'area delle porzioni di bacino che si trovano a quote superiori a un dato valore e il valore di tale quota.

Dalla curva ipsografica si determinano: l'*altitudine media h*:

$$h = \sum h_i S_i / S$$

dove S_i è la superficie di bacino compresa tra due curve di livello successive, h_i , l'altitudine media corrispondente, S l'area totale del bacino.

In tabella sono riportate le caratteristiche fisiografiche dei bacini di maggiore interesse per il tracciato stradale in progetto: l'area del bacino sotteso (S), la lunghezza (L) e la pendenza caratteristica (i) dell'asta principale, la pendenza media dei versanti (y), la quota massima (H_{max}), minima (H_{min}) e media (H_{med}) del bacino.

C.1.2. Tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione è stata effettuata mediante applicazione delle formule di Giandotti, Pasini, Ventura, Pezzoli, Kirpich. e Tournon, in funzione delle caratteristiche fisiografiche di ciascun bacino:

- superficie	S	[km ²];
- altitudine massima	Hmax	[m s.m.];
- altitudine media	Hmed	[m s.m.];
- quota della sezione di chiusura	Hsez	[m s.m.];
- lunghezza dell'asta principale	L	[km];
- pendenza dell'asta principale	i	[m/m];
- pendenza media dei versanti	y	[m/m];
- coefficiente medio di scabrezza	c	[m ^{1/3} s ⁻¹];

Vengono di seguito riportate le espressioni di calcolo relative ad ognuno dei metodi adottati:

Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot S^{0.5} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{(Hmed - Hsez)}}$$

Pasini:

$$t_c = 0,108 \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$$

Ventura:

$$t_c = 0,127 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Pezzoli:

$$t_c = \frac{0,055}{\sqrt{i}} L \cdot$$

Kirpich:

$$t_c = 0,945 \cdot (Ld)^{0,385} \quad (d = H_{max} - H_{sez})$$

Tournon:

$$t_c = 0,396 \frac{L}{\sqrt{i}} \left(\frac{A}{L^2} * \frac{\sqrt{i}}{\sqrt{y}} \right)^{0,72}$$

In riferimento alle caratteristiche fisiografiche dei bacini idrografici in esame, si ottengono quindi i seguenti valori del tempo di corrivazione espresso in ore:

TEMPO DI CORRIVAZIONE					
GIANDOTTI	S (Km²)	L (Km)	Hmed (m)	Hmin (m)	tc (ore)
Laio	19,5	7,84	500	235	2.26
PASINI	S (Km²)	L (Km)	i_a (m/m)	i_a^{0,5}	tc (ore)
Laio	19,5	7,84	0,0535	0,231	2,50
VENTURA	S (Km²)		i_a (m/m)		tc (ore)
Laio	19,5		0,0535		2,43
PEZZOLI	S (Km²)	L (Km)	i_a (m/m)		tc (ore)
Laio	19,5	7,84	0,0535		1,87
KIRPICH	ΔH [m]	L (Km)			tc (ore)
Laio	1245	7,84			0,66
TOURNON	S (Km²)	L (Km)	i_a (m/m)	i_m (m/m)	tc (ore)
Laio	19,5	7,84	0,0535	0,311	3,12

Per il bacino del Fiume Laio si assume quale tempo di corrivazione quello ottenuto dalla media dei valori precedentemente determinati ad esclusione di quello ricavato con la formula di Kirpich che presenta lo scartamento maggiore dalla media.

Si assume in definitiva $t_c=2.44$.

C.1.3. Valutazione dei coefficienti di deflusso

Per la stima del coefficiente di deflusso "c", parametro dipendente dal tipo di suolo, dalla copertura vegetale, dalla acclività dei versanti nonché dalla capacità di accumulo e di laminazione della rete idrografica superficiale, si fa riferimento ai valori riportati in letteratura ed a considerazioni basate sull'utilizzazione principale e sulle caratteristiche del suolo stesso.

In particolare per il progetto in esame sono state prese a riferimento le carte tematiche della regione Abruzzo con particolare riguardo a quelle di maggior interesse per una più corretta determinazione del coefficiente di deflusso.

In particolare dall'analisi della carta del vincolo idrogeologico-forestale e zone sismiche, praticamente tutto il bacino del Fiume Laio risulta essere sottoposto a vincolo idrogeologico fatta eccezione della fascia valliva attigua all'asta fluviale, in quanto piana e stabile, con una piccola

porzione di area boscata e con insediamenti urbani residenziali o produttivi praticamente assenti, come si rileva dalla carta degli insediamenti urbanizzati.

Il comune di Guardiagrele è situato in zona sismica di prima categoria.

Dalla carta della vegetazione e da quella relativa all'uso del suolo si osserva inoltre la presenza di una notevole porzione di territorio con aree nude presenti solo nella parte più alta del bacino e prati, pascoli e seminativo altrove. Dall'esame infine della carta relativa alle zone di rischio idrogeologico si rileva invece che non ci sono aree a rischio inondazione poste direttamente all'interno del bacino del Laio, ma tali zone sono presenti più a valle alla confluenza nel Fiume Aventino dove sono stati segnalati inoltre diversi eventi alluvionali nel corso degli anni.

Le analisi effettuate sulle caratteristiche del bacino del Fiume Laio evidenziano situazioni di rischio idraulico ed idrogeologico diffuso nell'ambito dell'intero bacino evidenziate dalla scarsa presenza di sistemazioni idrauliche e forestali e da una rete idrografica superficiale che, anche se molto fitta e ramificata, sembra presentare scarsa capacità di accumulo e di laminazione.

Si ritiene dunque cautelativo in questa fase assumere un coefficiente di deflusso medio pari a 0,75.

C.1.4. Risultati dei calcoli

Si riportano nella seguente tabella i valori di portata di piena determinati con il metodo razionale per i diversi tempi di ritorno per il Fiume Laio.

Tali valori, in funzione dei diversi tempi di ritorno, saranno assunti nelle simulazioni idrauliche ai fini della verifica degli attraversamenti maggiori.

Gli stessi saranno confrontati con quelli derivanti da altre metodologie di analisi esposte nel seguito della presente relazione.

FIUME LAIO				
Tr	20 Anni	50 Anni	100 Anni	200 Anni
a	35,060	43,015	49,065	55,116
b	0,0264	0,0264	0,0264	0,0264
m	0,5421	0,5421	0,5421	0,5421
tc (ore)	2.44	2.44	2.44	2.44
h (mm)	52,40	64,29	73,33	82,38
i (mm/h)	21,51	26,39	30,10	33,82
φ	0.75	0.75	0.75	0.75
S (Km)	19.50	19.50	19.50	19.50
Q (m³/s)	87,39	107,22	122,30	137,38

C.2. FORMULE EMPIRICHE

La valutazione delle portate di piena può altresì essere effettuata mediante applicazione di formule empiriche di comune utilizzo per la determinazione del contributo specifico di piena q_{Max} ($m^3/s/km^2$) in funzione di parametri, essenzialmente l'estensione S (km^2), del bacino.

Si espongono nel seguito le principali utilizzate.

J. Whistler (1919) propose la seguente formula:

$$q_{Max} = \frac{1538}{S + 259} + 0.054$$

che E. Scimemi riscontrò essere applicabile ai corsi d'acqua italiani per S compreso tra 1000 e 12000 km^2 .

Lo stesso Scimemi ancora per $S < 1000 km^2$ propose:

$$q_{Max} = \frac{600}{S + 10} + 1$$

Da A. Forti si ebbero le proposte:

$$q_{Max} = 3.25 \frac{500}{S + 125} + 1$$

per bacini esposti a precipitazioni massime di circa 400 mm in 24 ore, mentre per piogge di circa 200-250 mm (24 ore) la formula diventa:

$$q_{Max} = 2.35 \frac{500}{S + 125} + 0.5$$

F. Pagliaro diede, per S tra 20 e 1000 km^2 la relazione:

$$q_{Max} = \frac{2900}{S + 90}$$

da usarsi, secondo l'autore, per il calcolo del valore della portata massima da assumersi per i serbatoi, quindi con tempi di ritorno elevati.

Ancora tra le formule empiriche di maggiore utilizzo sono da menzionare quella proposta dal Giandotti:

$$q_{Max} = \frac{532.5}{S + 16.2} + 5$$

quella proposta da Tournon per particolari bacini piemontesi, che solo a scopo di confronto viene comunque riportata:

$$q_{Max} = \frac{900}{S + 24} + 3$$

ed infine quella proposta da De Marchi per $S < 150 \text{ km}^2$ e piogge eccezionali ($h > 400 \text{ mm}$ in 12 ore):

$$q_{Max} = \frac{3000}{S + 125} + 5$$

Un indirizzo lievemente diverso per il calcolo di q_{Max} utilizza una struttura monomia di dipendenza da S del tipo:

$$q_{Max} = q_{100} \left(\frac{S}{100} \right)^{-n}$$

essendo q_{100} il valore di q_{Max} per un bacino di 100 km^2 .

Gherardelli e Marchetti proposero per l'esponente n il valore di $2/3$ con q_{100} variabile, per bacini umbro laziali e campani tra 5 e 6.

Una formulazione successiva di Mongiardini prevede un valore dell'esponente n pari ad $1/2$ e q_{100} variabile tra 5.97 e 10.18.

Nei calcoli si sono assunti valori medi tra quelli citati.

I risultati delle elaborazioni sono riportati nella tabella seguente.

FORMULA	LAIO
WHISTLER	109
SCIMEMI	416
FORTI	239
FORTI	168
PAGLIARO	516
GIANDOTTI	388
TOURNON	462
DE MARCHI	502
GHERARDELLI	319
MONGIARDINI	357

Come si evince facilmente tali valori presentano una notevole dispersione dei risultati a causa della diversa applicabilità delle formule utilizzate ai casi specifici.

I risultati verranno comunque tenuti in considerazione ai fini dell'effettuazione delle verifiche idrauliche degli attraversamenti stradali.

D. ALLEGATO 1

Risultati elaborazioni mediante applicazione metodologie di regionalizzazione (VAPI)