



Stazione Appaltante
Regione Siciliana
Comune di S. Stefano di Camastra
Provincia di Messina



Procedura aperta ex art. 183 commi 1-14 d.lgs. 50/2016 s.m.i. per l'affidamento in project financing della concessione di lavori pubblici avente per oggetto la progettazione definitiva ed esecutiva, l'esecuzione dei lavori per la REALIZZAZIONE DEL PORTO TURISTICO E DELLE OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA nonché della loro gestione economico-finanziaria

C.I.G.67535662F8

C.U.P.H21H07000030003

PROGETTO DEFINITIVO

Concessionario individuato



Rappresentante legale: Cono Bruno

Via Campidoglio, 70 98076 Sant'Agata di Militello (ME)

Titolo elaborato

RELAZIONE IDROLOGICA

Progettista indicato



Dott. Ing. Paolo Turbolente

Via Ajaccio, 14
00198 Roma



Amministratore Unico:
Prof. Ing. Vincenzo Cataliotti
Direttori tecnici:
Arch. Sebastiano Provenzano
Prof. Ing. Antonio Cataliotti
Via Vittorio Emanuele, 492
90134 Palermo

Elaborato

A.2233.17 | PD | R

RID 13

Scala

-

Revisione

-

Data

Novembre 2017



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Sommario

1	INTRODUZIONE	2
1.1	Obbiettivi dello studio	2
1.2	Quadro normativo di riferimento.....	3
1.3	Metodologia utilizzata	3
1.3.1	Pluviometria	3
1.3.2	Stima delle Portate.....	7
1.4	Parametri sintetici dei bacini idrografici	8
2	ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI.....	9
2.1	Determinazione delle massime precipitazioni di progetto.....	9
2.1.1	Stima del tempo di corrivazione.....	10
2.1.2	Precipitazioni massime	11
3	STIMA DELLA MASSIMA PORTATA AL COLMO DI PIENA	14
3.1	Modelli di trasformazione afflussi-deflussi.....	14
3.1.1	Metodo della corrivazione – formula razionale.....	14
3.1.2	Metodo del Curve Number	16
3.1.3	Pioggia netta	20
3.1.4	Stima delle portate di massima piena	21



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

1 INTRODUZIONE

1.1 Obiettivi dello studio

Il porto ricade nel territorio comunale di S. Stefano di Camastra in provincia di Messina nella Regione Sicilia.

Il posto turistico interferisce con il Vallone Ciaramirello, il Vallone Palermo ed il Vallone Tudisca o Pecoraro. Infatti il Vallone Palermo ed il Vallone Tudisca sfociano in corrispondenza del porto, mentre il Vallone Tudisca sfocia in corrispondenza del molo di sottoflutto del porto.

Il presente studio ha consentito la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici dei tre corsi d'acqua in esame.

Lo studio idrologico è articolato nelle fasi seguenti:

- definizione e caratterizzazione dei bacini idrografici mediante l'individuazione dei principali parametri morfologici quali: area, lunghezza dell'asta principale, quote massima, minima e media;
- determinazione degli afflussi meteorici mediante il metodo della regionalizzazione delle precipitazioni sviluppato per la redazione della Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Sicilia;
- caratterizzazione dei bacini relativamente ai parametri influenzanti la trasformazione afflussi-deflussi quali: la litologia, la pedologia, la copertura e la permeabilità;
- calcolo delle portate di massima piena per diversi tempi di ritorno mediante modelli di trasformazione afflussi deflussi;

Lo studio idrologico segue la metodologia operativa per l'analisi idraulica e valutazione del rischio per inondazione della Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Sicilia.

Lo studio idrologico è propedeutico alle analisi di compatibilità idraulica delle opere del porto e al corretto dimensionamento e verifica delle opere medesime. Tali temi sono trattati nella Relazione idraulica.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a: Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Le portate di piena sono state determinate per tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni; per il progetto del tratto terminale dei tre corsi d'acqua in esame interferenti con il porto è stato assunto il valore della portata di piena corrispondente alla probabilità di accadimento di 500 anni.

1.2 Quadro normativo di riferimento

Il presente studio è stato redatto in conformità agli indirizzi dettati per il settore specifico dal "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" della Regione Sicilia.

Il PAI attraverso le sue disposizioni, pone l'obiettivo, agli enti competenti in materia di difesa del suolo, di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

1.3 Metodologia utilizzata

L'indisponibilità di dati idrologici-idraulici e di osservazioni di eventi di piena nei bacini idrografici in esame interferenti il Porto di S. Stefano di Camastra, ha reso necessario ricorrere ad un metodo regionale di analisi della frequenza di precipitazioni. Questo allo scopo di pervenire alla stima del valore assunto dalla portata di piena nella sezione di foce dei tre corsi d'acqua nelle condizioni di progetto in corrispondenza del periodo di ritorno di riferimento per le verifiche di compatibilità idraulica.

Tra i modelli di regionalizzazione disponibili si è ritenuto di adottare quello indicato nella "Metodologia operativa per l'analisi idraulica e la valutazione del rischio per inondazione" della Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Sicilia;

1.3.1 Pluviometria

Il problema della stima di eventi estremi di precipitazione, come l'altezza massima di pioggia caratterizzata da un assegnato tempo di ritorno, in bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale affidabile di dati, può essere affrontato con metodologie diverse, tra cui la più robusta e più utilizzata a livello scientifico e tecnico è l'analisi di frequenza regionale. Tale approccio consente di utilizzare contemporaneamente l'intera informazione pluviometrica disponibile per le



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

diverse stazioni pluviometriche presenti sul territorio di una regione riducendo così l'incertezza associata alla disomogeneità delle serie storiche osservate nei diversi siti di misura.

Per la costruzione delle CPP, si è fatto riferimento alle stazioni pluviografiche ricadenti nel territorio regionale siciliano ed aventi almeno dieci anni di funzionamento anche non consecutivo.

Per ciascuna di queste stazioni si è proceduto alla raccolta delle altezze di pioggia massime annuali per assegnate durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore dalla parte I degli Annali del Servizio Idrografico della Regione Siciliana relativi al periodo 1929-1998. Per ciascuna stazione e per ogni durata si è provveduto al calcolo della media e dello scarto quadratico medio. Inoltre, sempre per ogni stazione, si è calcolato il valore dei coefficienti a ed n della relazione:

$$\mu_t = at^n$$

dove μ_t è la media della precipitazione osservata per una durata di t ore. Infine si è anche calcolato il coefficiente di variazione rappresentativo della stazione (CVS), nell'ipotesi di invarianza di scala delle distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia relative alle diverse durate utilizzando la seguente formula:

$$CVS = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{tot}} \frac{1}{N_{tot} - 1} (1 - w_i)^2}$$

dove N_{tot} è pari al prodotto della numerosità campionaria per il numero di durate osservate (di solito pari a 5) e w_i è l'altezza di pioggia adimensionalizzata rispetto alla media della durata corrispondente.

L'ipotesi di invarianza di scala per le precipitazioni estreme esprime il concetto che le distribuzioni di probabilità delle altezze di pioggia di due diverse durate coincidono a meno di un fattore di scala pari al rapporto tra le due durate elevato ad n . Studi condotti da Supino (1964) e da Rosso e Burlando (1990, 1995) hanno dimostrato, sulla base della verifica condotta su una lunga serie di eventi storici, che i nubifragi sono caratterizzati da questa proprietà, che risulta sostanzialmente ancora verificata qualora si prendano in esame i casi critici, vale a dire i massimi relativi delle osservazioni sperimentali di pioggia ottenuti da eventi anche diversi.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

Per la determinazione delle CPP si è utilizzata la legge di distribuzione di probabilità del massimo valore EV1, meglio nota come legge di Gumbel. Nell'ipotesi che le precipitazioni seguano la legge di invarianza di scala temporale, le CPP, espresse attraverso la legge di Gumbel, si possono scrivere nella seguente forma:

$$h_{t,T} = K_T a t^n$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T , mentre K_T è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno T e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CVS \left\{ 0.450 + 0.779 \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

I valori di a , n e CVS sopra riportati sono stati interpolati tramite kriging (Matheron, 1971) su tutto il territorio regionale creando delle carte dei valori di a , n e CVS allegate al Piano Stralcio del PAI della Regione Sicilia. Nelle figure seguenti sono riportate le carte a , n e CVS dei bacini idrografici in esame.

Dalle carte dei valori di a , n e CVS, tramite l'utilizzo del software ArcView, è stato possibile risalire al valore medio areale di tali coefficienti senza fare ricorso al classico metodo dei topoi.

E' risultato:

$$a=26,22 \quad n=0,1966 \quad CVS=0,531$$

Figura 1 – Carta dei valori di “a” - Piano Stralcio del PAI Regione Sicilia



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

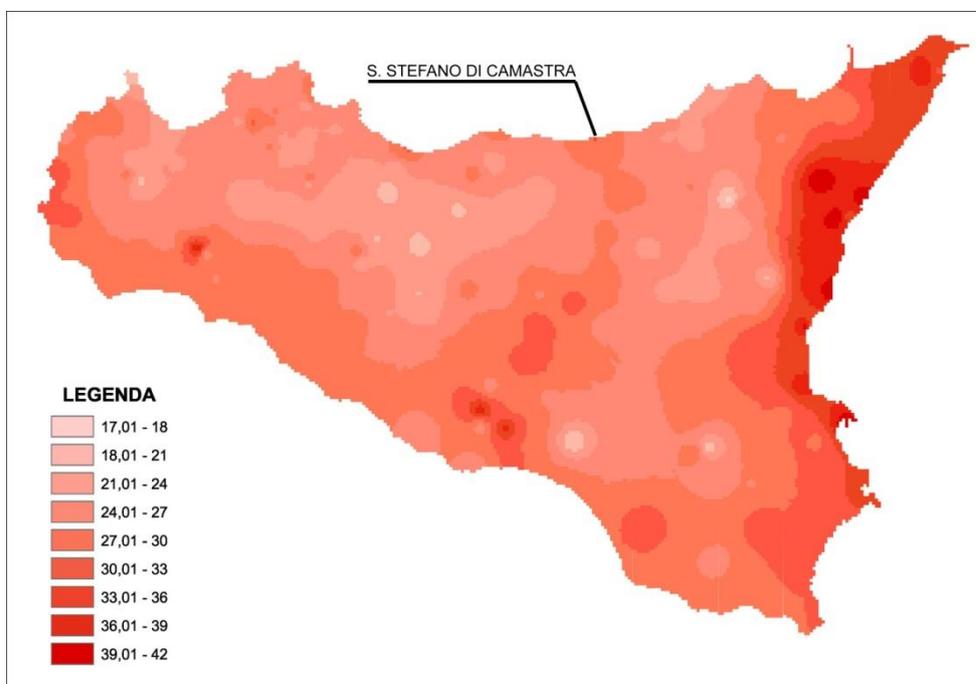


Figura 2 – Carta dei valori di “n”- Piano Stralcio del PAI Regione Sicilia

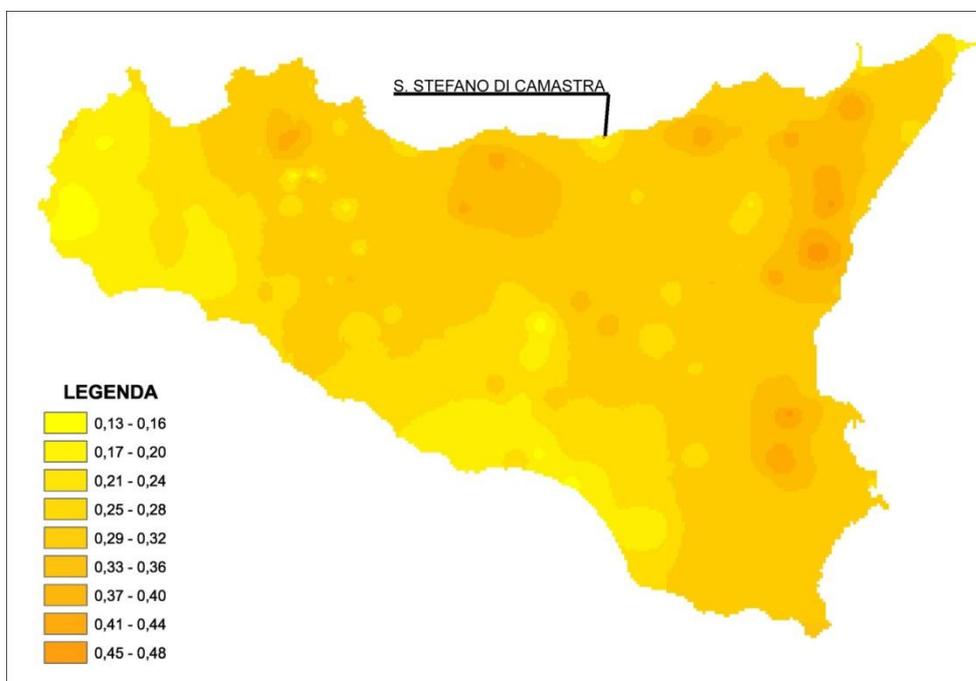
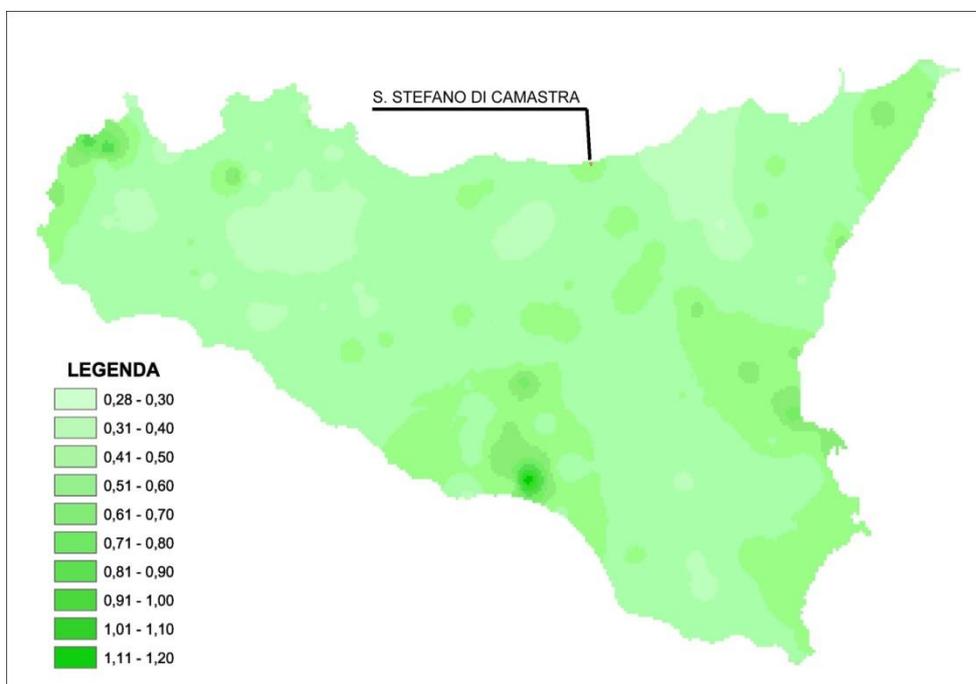


Figura 3 - Carta dei valori di CVS - Piano Stralcio del PAI Regione Sicilia



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra



1.3.2 Stima delle Portate

In mancanza di misure storiche di portata, la stima delle portate al colmo è stata sviluppata mediante l'applicazione di modelli indiretti, tramite l'applicazione di un modello di trasformazione afflussi – deflussi a partire dalle precipitazioni e sulle caratteristiche fisiografiche dei bacini versanti.

La valutazione delle portate massime al colmo di piena con il modello di trasformazione afflussi – deflussi è stata effettuata adottando tra i metodi disponibili in letteratura:

1. il metodo della corrvazione ed in particolare la formula razionale;
2. il metodo CN dell' U.S. Soil Conservation Services per la determinazione del coefficiente di deflusso;

Data la ridotta estensione dei bacini non si è considerato il fattore di riduzione areale, considerando la distribuzione spaziale massima della precipitazione su tutto il bacino.

La scelta della portata di progetto è stata effettuata adottando criteri cautelativi confrontando i risultati del presente studio con quelli dello studio adottato attualmente dal regolamento urbanistico.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

1.4 Parametri sintetici dei bacini idrografici

Per i bacini in esame sono state inoltre ricavate dalla cartografia disponibile (Cartografia in scala 1:10.000) le caratteristiche morfologiche peculiari quali:

- quota media del bacino Z_{med} ;
- area del bacino A;
- lunghezza del corso d'acqua alla sezione di chiusura L;
- pendenza media dell'asta principale I_m ;
- pendenza media dei versanti I_v ;
- quota massima del bacino Z_{max} ;
- quota alla sezione di chiusura del bacino s.l.m. Z_o ;
- altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura H_m ;

Tali caratteristiche per i bacini in esame sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 1 - Caratteristiche morfologiche dei Bacini interferenti il porto di S. Stefano di Camastra

Denominazione	Z_{med} m s.l.m.	Area km^2	L km	I_m m/m	I_v m/m	Z_{max} m s.l.m.	Z_o m s.l.m.	H_m m
Vallone Ciaramirello	70	0.30	0.96	0.15	0.15	141	0	70.00
Vallone Palermo	70	0.12	0.97	0.15	0.15	141	0	70.00
Vallone Tудisca	180	0.94	1.89	0.21	0.21	391	0	180.00

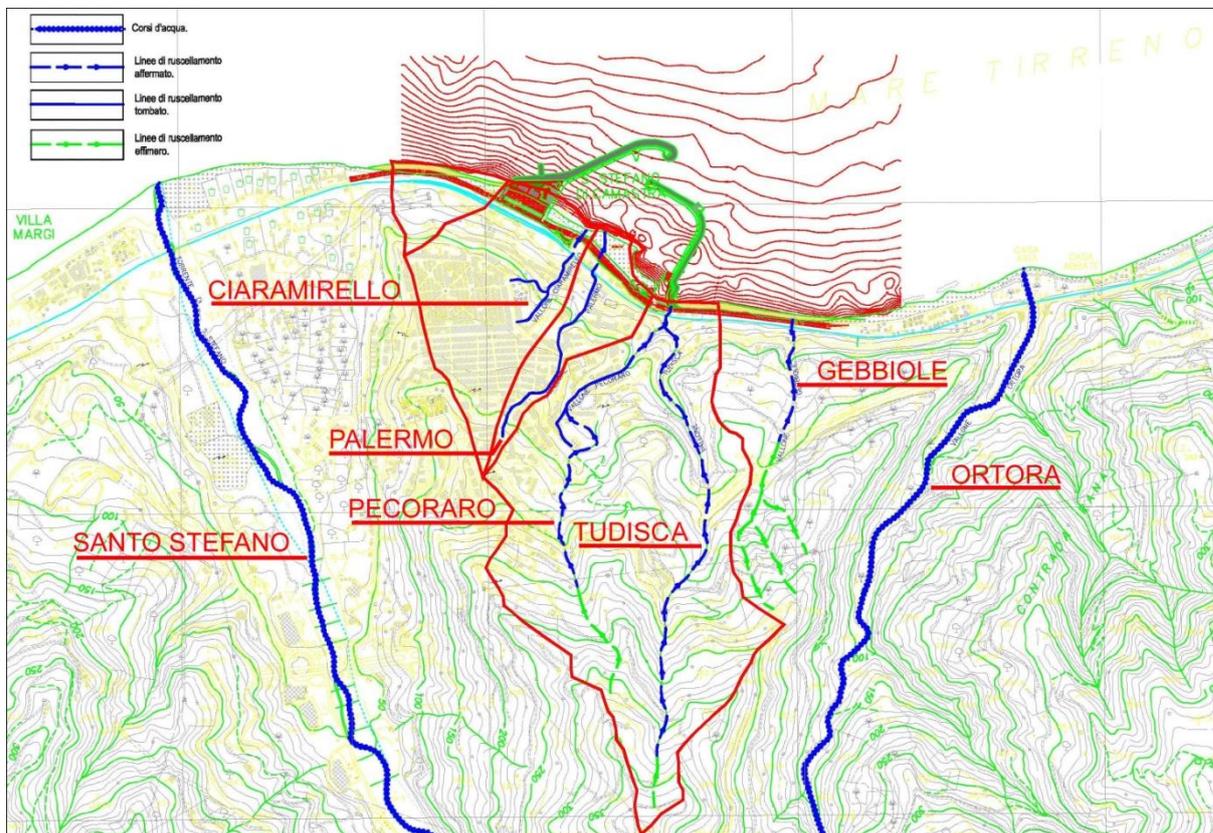
Nella Figura 4 si riportano i bacini idrografici interferenti con il Porto di S. Stefano di Camastra sulla CTR della Sicilia 1:10.000.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Figura 4: Bacini sottesi dal porto nella condizione di progetto su CTR Regione Sicilia



Fonte CTR Regione Sicilia - scala 1:10.000

2 ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI

2.1 Determinazione delle massime precipitazioni di progetto

Sulla base della metodologia di analisi pluviometrica esposta si procede nel seguito alla determinazione delle massime precipitazioni con tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni sui bacini idrografici. Per tale determinazione occorre innanzitutto stabilire la durata dell'evento pluviometrico critico del bacino idrografico di interesse, quindi applicare le formule della regionalizzazione delle piogge in Sicilia.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

A tale fine si è assunto, come ampiamente consolidato in letteratura, che la durata della precipitazione critica sul bacino coincida con il tempo di corrivazione del bacino stesso. Nel seguito, pertanto se ne procede alla stima.

2.1.1 Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione, inteso quale tempo intercorrente fra l'inizio della pioggia efficace (cioè che da luogo ai deflussi superficiali) ed il colmo della piena, ritenuto uguale al tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino pervenga alla sezione di chiusura, costituisce un parametro del modello indipendente dalla portata e dal tempo.

Tale parametro risulta di difficile determinazione; nella letteratura tecnica vengono riportate numerose formulazioni empiriche, tutte legate alle caratteristiche morfologiche e fisiografiche del bacino, ma comunque valide per lo specifico campo di applicabilità. Tra le formule più comunemente usate si sono adottate quelle di *Giandotti, Ventura, Pezzoli, Viparelli e Kirpich*.

Di seguito vengono riportate le diverse formulazioni:

Giandotti $tc = 4 (\sqrt{A+1.5xL}) / (0.8 \sqrt{Hm})$ (ore) per $170 \text{ km}^2 \leq A \leq 70.000 \text{ km}^2$

Ventura $tc = 0.0167 \times 7,63 \times \sqrt{\frac{A}{Im}}$ (ore)

Pezzoli $tc = \frac{0,055 \times L}{Im^{0,50}}$ (ore)

Viparelli $tc = 0,278 \frac{L}{V}$ (ore)

Kirpich $tc = 0,0651 \times L^{0,77} I_v^{-0,385}$ (ore) per $0,005 \text{ km}^2 \leq A \leq 0,45 \text{ km}^2$



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Dove:

- A è l'area del bacino (km^2)
- L è la lunghezza dell'asta principale (km)
- H_m è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)
- I_m è la pendenza media dell'asta, ovvero il rapporto tra l'altezza rispetto alla sezione di chiusura del punto più elevato del bacino e la lunghezza dell'asta principale L ;
- I_v è la pendenza media dei versanti;
- V è la velocità media di scorrimento dell'acqua nel percorso relativo sia ai versanti che alla rete idrografica (compresa fra 1 e 2,5 m/s).

Nel presente progetto per il Vallone Ciaramirello e per il Vallone Palermo si è utilizzata la formulazione di Kirpich più adatta a piccoli bacini di area inferiore a $0,5 \text{ km}^2$.

Risulta:

- per il Vallone Ciaramirello

$$t_c = 0,0641 \times 0,96^{0,77} / 0,15^{0,385} = 0,13 \text{ (ore)}$$

- per il Vallone Palermo

$$t_c = 0,0641 \times 0,97^{0,77} / 0,15^{0,385} = 0,13 \text{ (ore)}$$

- per il Vallone Tudisca utilizzando la formula di Pezzoli più adatta a piccoli bacini di area compresa tra $0,5$ e 5 km^2 si ottiene $t_c = 0,23$ ore;

adottando la formulazione di Viparelli, con una velocità media di scorrimento dell'acqua nella rete idrografica di $2,3 \text{ m/s}$ si otterrebbe:

$$t_c = 0,278 \times 1,89 / 2,30 = 0,23 \text{ (ore)}$$

2.1.2 Precipitazioni massime

Una volta determinata la durata della pioggia critica sui vari bacini, assunta pari al tempo di corrivazione, si può procedere alla stima delle altezze massime di precipitazione sui bacini ai diversi tempi di ritorno applicando le formule della regionalizzazione delle piogge in Toscana.



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

Allo scopo sono stati utilizzati i parametri a e n determinati in scala regionale ricadente all'interno del bacino.

E' stata individuata l'altezza di pioggia relativa al tempo di corrivazione t_c per tempi di ritorno di 20, 30, 200 e 500 anni mediante la relazione:

$$h = a t^n \quad \text{per } t \geq 1 \text{ ora}$$

$$h = h_1 t^{0,450} \quad \text{per } t < 1 \text{ ora}$$

dove h_1 è il valore dell'altezza di pioggia per $t=1$ ora

Infatti per quanto attiene la determinazione dell'altezza di pioggia per durate inferiori all'ora è stato dimostrato (Bell, 1969) che il rapporto fra l'altezza di pioggia $h(t,T)$, con $t < 60$ minuti, e l'altezza di pioggia di durata 60 minuti e pari tempo di ritorno T è dipendente solo dalla durata t :

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Tale relazione, trovata nell'ambito delle ricerche idrologiche condotte negli Stati Uniti, si fonda sulla grande variabilità geomorfologica nonché sulla vasta ed articolata quantità di dati idrologici e morfometrici del territorio Americano, ed assume la seguente espressione:

$$\frac{h}{h_{60}} = \left(\frac{t}{60} \right)^{0.495}$$

in cui t risulta espresso in minuti.

Il dato più interessante che se ne trae è che il rapporto risulta poco dipendente dalla località. La relazione è stata inoltre confermata anche per vasti territori dell'Australia e dell'Africa.

Più recentemente autori italiani hanno sperimentato la validità della relazione dianzi citata calcolando i rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno. In particolare (Calenda e altri, 1993) sono stati ottenuti al pluviometro registratore di Roma Macao i seguenti rapporti:



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

d(min)	5'	10'	15'	20'	25'	30'
$r = h_{(d)}/h_1$	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

La funzione esponenziale che meglio approssima i valori ottenuti da Calenda e altri 1993 per la stazione di Roma Macao è rappresentata dalla:

$$1) \quad r = \frac{h}{h_{60}} = (d)^{0.450}$$

essendo d la durata in ore.

Infine si è determinato il valore medio dell'altezza di precipitazione sul bacino per diversi tempi di ritorno.

Le formule sopra riportate sono state sviluppate sulla base di dati di pioggia con durate superiori a 10'. Le altezze di pioggia e le intensità di pioggia per durate inferiori a 10' sarebbero estrapolate al di fuori dal campo di applicazione delle formule sopra dette. Pertanto in generale per le verifiche idrauliche e l'individuazione delle aree di pericolosità d'inondazione non si adottano valori di durate di pioggia inferiori a 10'. Per tale motivo la durata della pioggia per il calcolo dell'altezza di precipitazione sul bacino del Vallone Ciaramirello e del Vallone Palermo è stato adottato una durata di 10'.

E' risultato:

a) per il Vallone Ciaramirello e il Vallone Palermo:

- per $Tr=50$ anni $h_{tc}=27.81$
- per $Tr=100$ anni $h_{tc}=31.19$
- per $Tr=200$ anni $h_{tc}=34.56$
- per $Tr=500$ anni $h_{tc}=39.00$

b) per il Vallone Tudisca:

- per $Tr=20$ anni $h_{tc}=32.05$



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

- per $Tr=30$ anni $h_{tc}=35.95$
- per $Tr=200$ anni $h_{tc}=39.83$
- per $Tr=500$ anni $h_{tc}=44.96$.

3 STIMA DELLA MASSIMA PORTATA AL COLMO DI PIENA

Per la stima della massima portata al colmo di piena è stata seguita la metodologia dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi.

3.1 Modelli di trasformazione afflussi-deflussi

In conformità ai criteri indicati nella relazione Generale del Piano Stralcio del PAI, per la stima delle portate massime al colmo di piena si è adottato il *metodo della corrivazione* ed in particolare la *formula razionale*.

3.1.1 Metodo della corrivazione – formula razionale

Il metodo razionale costituisce una schematizzazione del fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino; di seguito si riassumono sinteticamente le principali ipotesi su cui fonda.

Si ipotizza che il bacino fornisca una risposta di tipo lineare tra le piogge in ingresso e la portata defluente dalla sezione di chiusura.

Come accennato in precedenza il metodo adottato introduce l'ipotesi semplificativa secondo cui la precipitazione critica abbia una durata pari al tempo di corrivazione e sia distribuita in maniera uniforme sull'intero bacino.

Il pluviogramma risulta pertanto di forma rettangolare, caratterizzato da un'intensità di pioggia costante, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica adottata in corrispondenza del tempo di corrivazione del bacino.

L'altezza di pioggia introdotta nei calcoli è quella netta o "efficace", cioè quella che dà luogo a scorrimento superficiale e quindi al deflusso; la pioggia reale viene quindi depurata della quota di pioggia caduta tra il momento d'inizio della precipitazione e quello di inizio dello scorrimento superficiale:



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

**Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra**

$$2) \quad P_n(d, T) = \varphi(d, T) h_{dT} \quad \text{con } 0 \leq \varphi \leq 1$$

dove φ rappresenta il coefficiente che tiene conto delle perdite e prende il nome di coefficiente di deflusso.

Tali perdite, e quindi il coefficiente di deflusso, sono funzione, oltre che delle caratteristiche genericamente permanenti del terreno e della copertura vegetale, anche del grado di saturazione iniziale del bacino e dell'intensità di precipitazione.

L'assunzione di un tempo di esaurimento pari al tempo di corrivazione, equivalente all'adozione di un idrogramma di forma triangolare, si traduce nell'ipotesi cautelativa di una rete di drenaggio a rapido svuotamento.

Il metodo è articolato nelle seguenti fasi:

- Determinazione dell'istogramma di progetto;
- Determinazione della pioggia netta.

Le portate di massima piena sono state valutate nell'ipotesi di piogge critiche con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

La massima portata al colmo di piena, in funzione dei parametri morfometrici del bacino e della pioggia che genera la piena, si ottiene mediante la seguente espressione, che costituisce una semplice forma di bilancio idrologico:

$$3) \quad Q_c = A \frac{P_n}{3,6 t_c}$$

dove:

- Q_c è il valore della massima portata al colmo (m^3/s);
- t_c è il tempo di corrivazione (ore) (vedi paragrafo precedente);
- $P_n(t_c, T_r)$ è l'altezza di pioggia netta (mm), corrispondente alla durata pari al tempo di corrivazione (t_c), dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica di tempo di ritorno assegnato (T_r);
- A è l'area del bacino (km^2).



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

3.1.2 Metodo del Curve Number

Il calcolo della pioggia netta, ovvero del volume della piena, può essere effettuato in base al metodo del Curve Number (CN), formulato dal Soil Conservation Service (SCS) nel 1972, nel seguito brevemente descritto.

Tale metodo mette in relazione l'altezza h_a di pioggia areale affluita con l'altezza di pioggia P_n defluita in rete attraverso la seguente formula:

$$4) \quad P_n = \varphi h_a = (h_a - 5.08 * S')^2 / (h_a + 20.32 * S')$$

In questo caso il coefficiente di deflusso φ è espresso in funzione:

- della pioggia areale affluita h_a ;
- della massima ritenzione del bacino S' .

La massima ritenzione del bacino S' è funzione a sua volta del tipo di terreno, del suo grado di saturazione e dell'uso del suolo.

Secondo il metodo del CN del U.S. SCS, per opportuni valori dell'intensità della precipitazione, esso viene espresso sotto la forma:

$$5) \quad S' = (1000/CN) - 10$$

Il CN o "Runoff Number" è quel coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino che sono state classificate dallo U.S. Soil Conservation Service.

Per determinare il valore del CN occorre stabilire prima di tutto la classe di appartenenza del suolo, il tipo di copertura, quale è la destinazione d'uso del suolo e, infine, le sue condizioni idrauliche.

Il metodo del SCS è basato su un sistema di classificazione del suolo in quattro classi di permeabilità individuate dalle lettere A,B,C,D, (vedi tabella seguente).



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Tabella 3.1 - Classificazione del suolo secondo l'U.S. SCS

Gruppo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione. dei suoli
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza dalla superficie.

Il valore del CN varia a seconda dell'utilizzo e della gestione del suolo, poiché ciascun tipo di terreno può essere caratterizzato da un diverso grado di sfruttamento: basso, medio, alto.

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate le categorie fondamentali per definire un cosiddetto coefficiente CN pesato.

Inoltre, in funzione dell'umidità del suolo precedente all'inizio dell'evento (*Antecedent moisture condition* AMC), si possono avere le seguenti condizioni:

- suolo asciutto (AMC I);
- suolo in condizione di umidità media (AMC II);
- suolo completamente saturo (AMC III).

Per condizioni antecedenti all'evento molto umide (AMC III) o molto asciutte (AMC I) viene consigliata dallo stesso SCS la seguente tabella di conversione rispetto alla condizione standard di umidità media del terreno (AMC II).



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Tabella 3.2 – Metodo del Curve Number: Tabella di conversione per diverse condizioni di saturazione

Classe AMC			Classe AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

I valori del CN consigliati dal U.S. SCS per la condizione *standard* di umidità media del terreno (AMC II) sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 3.3 – Indice CN (Curve Number) per vari tipi di uso del suolo per la condizione AMC II

Tipo di copertura (uso del suolo):	Tipi di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Praterie				
buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
buone condizioni con almeno il 75% con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità. 72%)	81	88	91	93
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Aree residenziali				
Impermeabilità media 65%	77	85	90	92
Impermeabilità media 38%	61	75	83	87
Impermeabilità media 30%	57	72	81	86
Impermeabilità media 25%	54	70	80	85
Impermeabilità media 20%	51	68	79	84
Strade				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

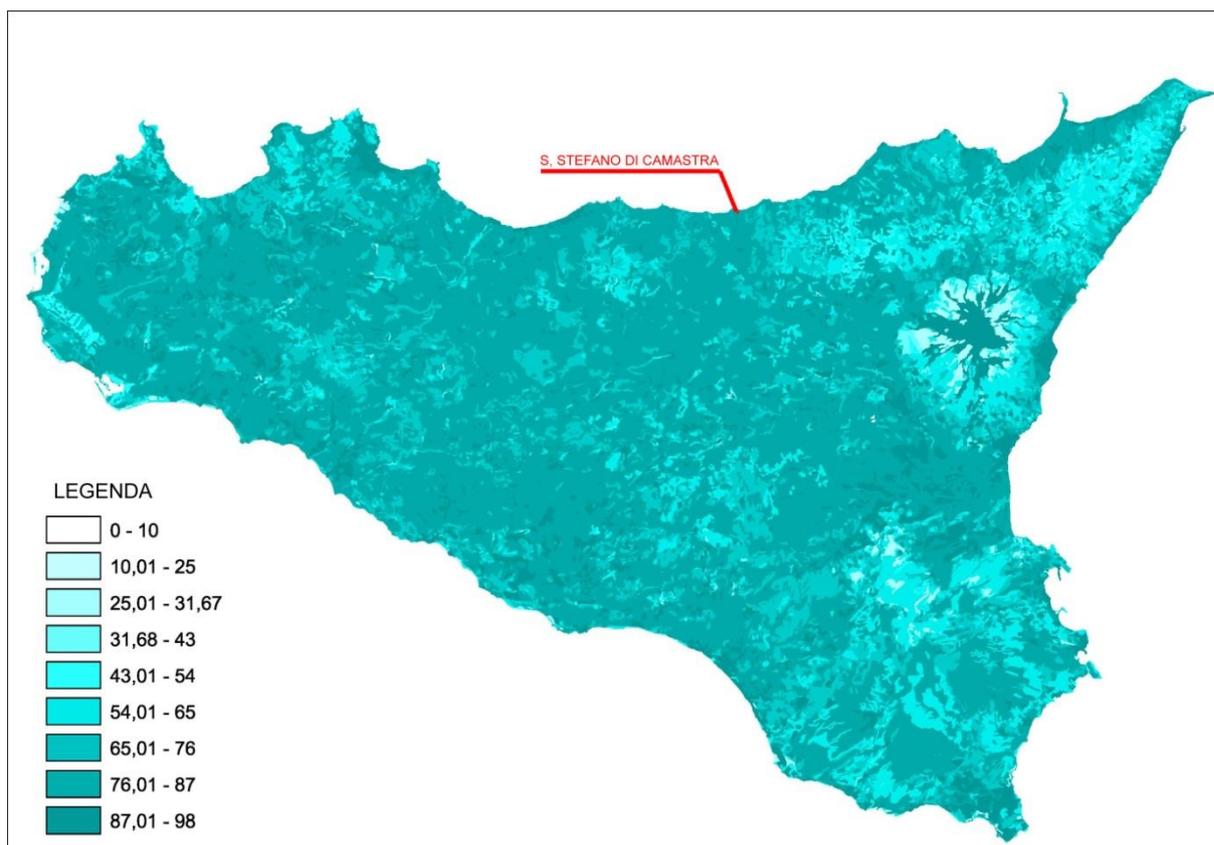
Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Nel caso in esame dovendo stimare le portate di piena al colmo si farà riferimento alle sole condizioni di saturazione massime (AMC III) che forniscono valori di CN più elevati e quindi più cautelativi. La conversione è stata eseguita mediante l'espressione interpolare:

$$6) \quad CN(III) = \frac{23 \times CN(II)}{10 + 0,13 \times CN(II)}$$

Sulla base della Carta CN allegata allo Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino del PAI della Regione Sicilia riportato nella figure seguente è stato individuato il valore di CN(II) nei tre bacini oggetto di studio.

Figura 5 – Carta CN Relazione Generale Stralcio di Bacino del PAI Regione Sicilia





COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

Il valore adottato per il singolo bacino è stato determinato con il criterio della media pesata, i cui pesi sono costituiti dalle superfici; tale valore è stato successivamente convertito in CN(III) mediante l'equazione (6).

E' risultato:

- per il bacino del Vallone Ciaramirello e del Vallone Palermo un valore medio pesato di CN(II) di **84,25** e di conseguenza un valore del CN(III) determinato con la (6) di **92.48**;
- per il bacino del Vallone Tudisca un valore medio pesato di CN(II) di **78,75** e di conseguenza un valore del CN(III) determinato con la (6) di **89,50**.

3.1.3 Pioggia netta

Le altezze di pioggia nette ottenute mediante l'utilizzazione dei coefficienti CN III per i diversi tempi di ritorno risultano:

per il **Vallone Ciaramirello** e per il **Vallone Palermo** pari a:

- per $Tr=50$ anni $P_{n,T}=12.65$
- per $Tr=100$ anni $P_{n,T}=15.34$
- per $Tr=200$ anni $P_{n,T}=18.12$
- per $Tr=500$ anni $P_{n,T}=21.90$

di conseguenza i valori del coefficiente di deflusso $\varphi=P_n/h_a$ adottati. sono:

- per $Tr=50$ anni $\varphi_{,T}=0,45$
- per $Tr=100$ anni $\varphi_{,T}=0,49$
- per $Tr=200$ anni $\varphi_{,T}=0,52$
- per $Tr=500$ anni $\varphi_{,T}=0,56$

per il **Vallone Tudisca** pari a:

- per $Tr=50$ anni $P_{n,T}=12.17$
- per $Tr=100$ anni $P_{n,T}=15.03$
- per $Tr=200$ anni $P_{n,T}=18.01$
- per $Tr=500$ anni $P_{n,T}=22.09$



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

di conseguenza i valori del coefficiente di deflusso $\varphi = P_n/h_a$ adottati, sono:

- per $Tr=50$ anni $\varphi_{,T} = 0,38$
- per $Tr=100$ anni $\varphi_{,T} = 0,42$
- per $Tr=200$ anni $\varphi_{,T} = 0,45$
- per $Tr=500$ anni $\varphi_{,T} = 0,49$

3.1.4 Stima delle portate di massima piena

Utilizzando l'espressione (3) con i valori dei diversi parametri precedentemente stimati si sono determinate le portate di piena al colmo per i tempi di ritorno prefissati:

per il **Vallone Ciaramirello**:

- per $Tr=50$ anni $Q = 6,23 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=100$ anni $Q = 7,56 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=200$ anni $Q = 8,93 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=500$ anni $Q = 10,79 \text{ m}^3/\text{s}$

i valori del coefficiente udometrico U per diversi tempi di ritorno, ottenuti con i valori delle portate sopra riportate sono:

- per $Tr=50$ anni $U_T = 21,08$
- per $Tr=100$ anni $U_T = 25,57$
- per $Tr=200$ anni $U_T = 30,21$
- per $Tr=500$ anni $U_T = 36,50$

per il **Vallone Palermo**:

- per $Tr=20$ anni $Q = 2,58 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=30$ anni $Q = 3,13 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=200$ anni $Q = 3,70 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=500$ anni $Q = 4,47 \text{ m}^3/\text{s}$



COMUNE DI SANTO STEFANO DI CAMASTRA

Affidamento in project financing della concessione dei lavori pubblici relativa a:
Realizzazione del Porto Turistico e delle Opere Connesse nel Comune di Santo Stefano di Camastra

i valori del coefficiente idrometrico U per diversi tempi di ritorno, ottenuti con i valori delle portate sopra riportate sono:

- per $Tr=50$ anni $U_T=21,08$
- per $Tr=100$ anni $U_T=25,58$
- per $Tr=200$ anni $U_T=30,21$
- per $Tr=500$ anni $U_T=36,50$

per il **Vallone Tudisca**:

- per $Tr=20$ anni $Q = 13,98 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=30$ anni $Q = 17,26 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=200$ anni $Q = 20,68 \text{ m}^3/\text{s}$
- per $Tr=500$ anni $Q = 25,36 \text{ m}^3/\text{s}$

i valori del coefficiente idrometrico U per diversi tempi di ritorno, ottenuti con i valori delle portate sopra riportate sono:

- per $Tr=20$ anni $U_T = 14,79$
- per $Tr=30$ anni $U_T = 18,27$
- per $Tr=200$ anni $U_T = 21,88$
- per $Tr=500$ anni $U_T = 26,85$.