

S.S.51 "ALEMAGNA"
VARIANTE DI LONGARONE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

COD. VE407

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PROGETTISTA:

Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: Dott. Ing. Massimo Capasso
(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)
Responsabile Strutture: Dott. Ing. Giovanni Piazza
(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)
Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: Dott. Ing. Sergio Dragalin
(Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)
Responsabile Ambiente: Dott. Ing. Francesco Ventura
(Ord. Ing. Prov. Roma 14660)



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Ettore De Cesbron De La Grennelais

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:



IDROLOGIA E IDRAULICA
RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPVE0407 D 21

NOME FILE

VE407_T00ID00IDRRE01_B

CODICE ELAB.

T00ID00IDRRE01

REVISIONE

SCALA:

B

-

D

C

B

A

REV.

REVISIONE A SEGUITO DI RICHIESTA INTEGRAZIONE CDS

EMISSIONE

DESCRIZIONE

SET. 2022

DIC. 2021

DATA

D. DI LORENZO

D. DI LORENZO

REDATTO

M. CUCCARO

M. CUCCARO

VERIFICATO

M.CAPASSO

M.CAPASSO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	9
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	11
3.1	Identificazione dei bacini idrografici	13
4	IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA).....	17
5	ANALISI IDROLOGICA	35
5.1	Caratterizzazione fisica e idrografica dei bacini tributari.....	35
5.2	Aggiornamento dati pluviometrici	39
5.3	Sezioni di controllo di particolare interesse	44
5.4	Uso del suolo e caratteristiche dei bacini nella stima della pioggia netta	45
5.5	Tempo di corrivazione dei bacini	46
6	METODO DI STIMA DELLE PORTATE AL COLMO	52
6.1	Criteri generali.....	52
6.2	Metodo SCS per la definizione delle portate al colmo	54
6.3	Metodo Razionale per la definizione delle portate al colmo	57
6.4	Sintesi dei risultati	59
7	ANALISI DEI RISULTATI IDROLOGICI.....	60
8	APPENDICE – DATI DI PIOGGIA STAZIONE PLUVIOMETRICA LONGARONE	61

1 PREMESSA

La presente relazione idrologica è stata redatta nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica (PFTE) dei lavori per il miglioramento dell'arteria di collegamento tra la pianura veneta e il comune di Cortina, la S.S.51 “di Alemagna” denominato Variante di Longarone. In particolare tale progetto nasce dalla necessità di risolvere il maggior numero di problematiche della mobilità presenti con l'obiettivo di rendere meno difficoltoso l'accesso a Cortina lungo la direttrice di mobilità nord-sud. L'intervento ricade interamente nel Comune di Longarone e attraversa da Nord verso Sud le seguenti frazioni: Castellavazzo, Muda-Maè, Villanova, Faè e Desedan. Ciò provoca una forte discontinuità funzionale, derivante dalla connotazione urbana che la strada forzosamente assume, costituendo un “collo di bottiglia” per l'intera rete viaria della zona.

Tale progetto è finalizzato ad incrementare le caratteristiche prestazionali e migliorare quelle funzionali della SS n.51 “di Alemagna” per circa 11,2 Km.

Altimetricamente il tracciato prevede ampi tratti su rilevato che consentono la realizzazione delle opere di attraversamento idraulico ed una opportuna sopraelevazione del corpo stradale. I tratti in rilevato sono intervallati da viadotti per il superamento delle incisioni più importanti.

La variante è inserita nelle Decreto 7 dicembre 2020 “Opere infrastrutturali per garantire la sostenibilità delle Olimpiadi invernali Milano-Cortina 2026” Garantire la sostenibilità delle Olimpiadi invernali 2026 sotto il profilo ambientale, economico e sociale, in un'ottica di miglioramento della capacità e della fruibilità delle dotazioni infrastrutturali esistenti e da realizzare, per le opere di infrastrutturazione, ivi comprese quelle per l'accessibilità.



Figura 1-1 Ubicazione dell'area d'intervento

Altimetricamente il tracciato prevede ampi tratti su rilevato che consentono la realizzazione delle opere di attraversamento idraulico ed una opportuna sopraelevazione del corpo stradale rispetto alla Valle del Piave.

I tratti in rilevato sono intervallati da viadotti per il superamento delle incisioni più importanti. Tra le opere principali si segnalano 7 viadotti, 1 galleria naturale e 3 svincoli in corrispondenza delle viabilità principali interferenti.

Nel presente studio idrologico è stata esaminata la soluzione progettuale che prevede l'adozione di una sezione tipo C1 extraurbana secondaria. Tale

soluzione garantisce le più opportune connessioni funzionali tra la viabilità esistente e consente nel contempo la minimizzazione delle interferenze idrauliche.

Lo studio idrologico, sviluppato nell’ambito del progetto in questione, ha compreso l’analisi e l’elaborazione critica dei dati di pioggia messi a disposizione dal Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio – Servizio Centro Meteorologico di Teolo. Da tali dati ARPAV sono state desunte le curve di possibilità pluviometrica necessarie alle attività in esame per il calcolo delle portate idrauliche. Tra gli elementi propedeutici, si segnala la post elaborazione della carta dell’uso del suolo Regionale del CLC per la definizione dei valori CN.

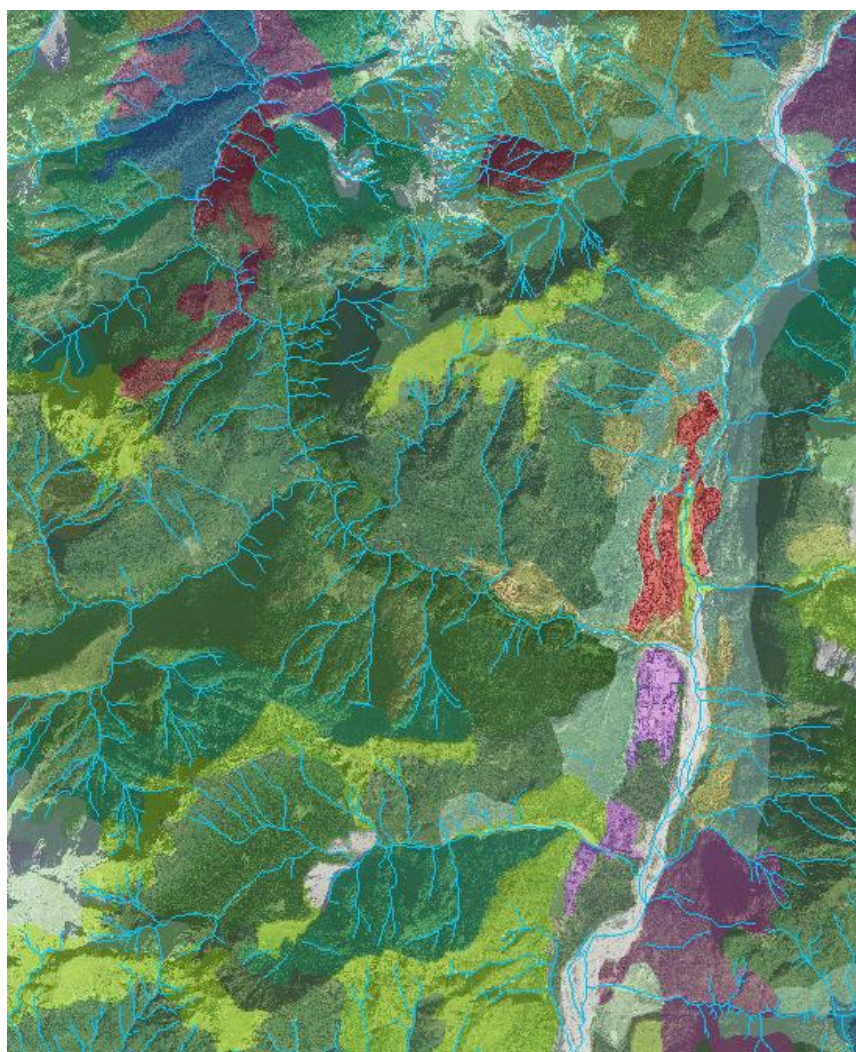


Figura 1-2 Stralcio “Carta uso suolo e reticolo idrografico” (fonte: Geoportale Nazionale-Minambiente)

Inoltre si è fatta la caratterizzazione idrologica dei bacini interessati dall'opera e la definizione dei rapporti opere-reticolo idrografico a cui è seguita la quantificazione delle portate da questo trasportate per differenti tempi di ritorno. Infine si è provveduto alla progettazione dei manufatti di attraversamento idraulico necessari alla risoluzione di tali interferenze.

Da un punto di vista idrologico l'area d'interesse per lo studio ricade all'interno dell'area territoriale del Fiume Piave.

La viabilità in progetto percorre la valle del Piave in destra idrografica, in corrispondenza del raccordo dei pendii degradanti da Ovest. L'asse della valle coincide con il corso del Fiume Piave, nella quale confluiscono alcune valli secondarie incise in epoca glaciale. Le pareti in sinistra idrografica sono spesso spoglie di vegetazione, mentre sul lato opposto i versanti presentano generalmente pendenze minori e abbondante presenza di arbusti. Il Fiume Piave, in regime prevalentemente stazionario, scorre diversi metri più in basso rispetto la sede stradale. Elementi di morfologia attiva sono legati essenzialmente a fenomeni di deposizione fluviale e si rinvencono localmente nelle immediate adiacenze dell'area. Il piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Piave, individua le zone a rischio. Nel nostro caso specifico non vengono evidenziate zone di pericolosità idraulica elevata a ridosso dell'area fluviale del Piave come si evincerà meglio nell'elaborato Planimetria delle aree di Pericolosità idraulica del PAI VE407_T00ID00IDRPL08.

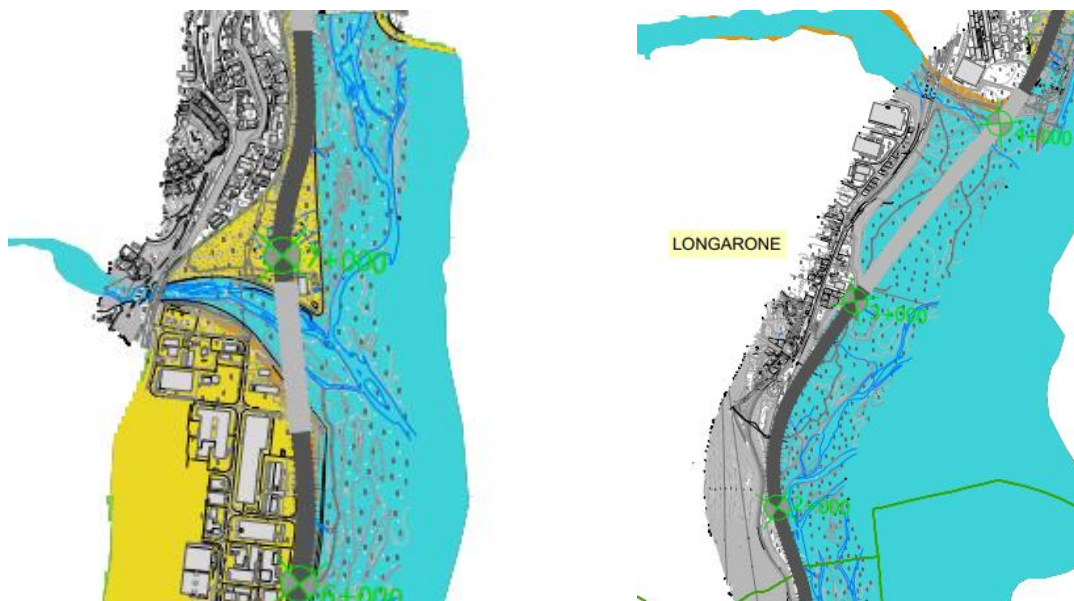


Figura 1-3 Stralcio Planimetria delle aree di pericolosità idraulica del PGRA

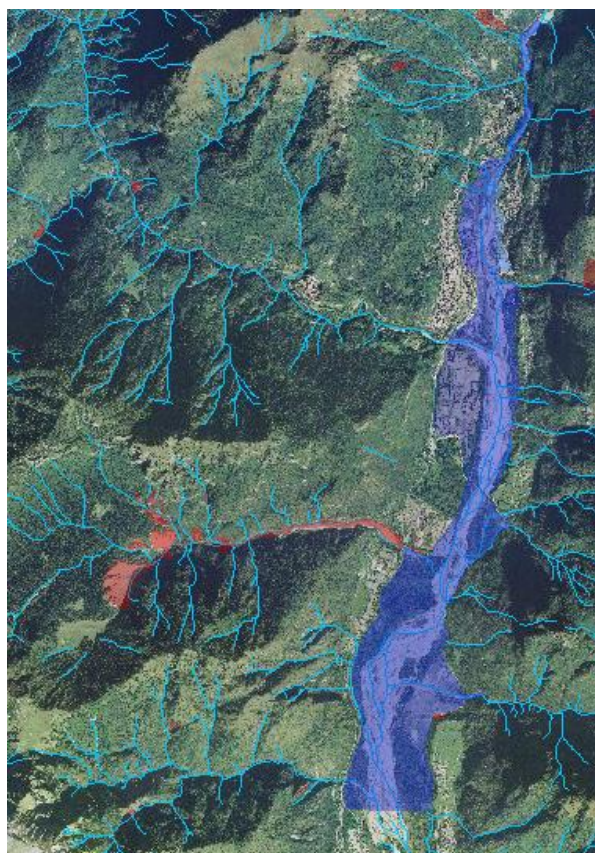


Figura 1-4 Stralcio planimetrico delle carte del PGRA del rischio idrogeologico (fonte: Geoportale Nazionale – Minambiente)

L'inquadramento normativo connesso alla progettazione idraulica ha consentito di poter delimitare i vincoli attorno ai quali costruire/inserire l'intervento. Nel quadro complessivo, si porrà particolare attenzione alle norme regionali definite dal Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (Direttiva Alluvioni).

La delicatezza della zona, da un punto di vista del trasporto del materiale solido e quindi della necessità di rimuoverlo a seguito di eventi meteorici importanti, era già stata messa in luce dal "Progetto di Piano Stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso del Piave" adottato dall'Autorità di Bacino in data 05/02/2001 approvato nel 2008 di cui si riportano gli stralci di due tavole.

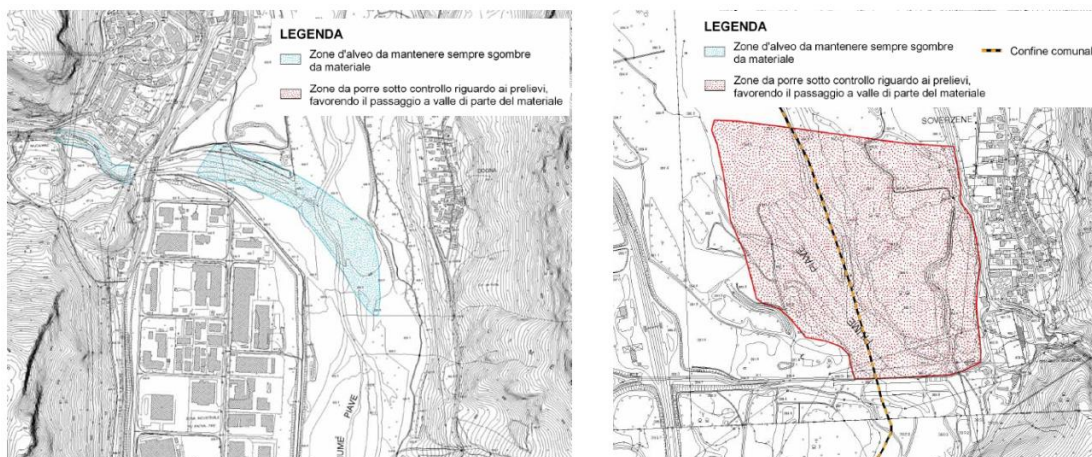


Figura 1-5 A sinistra dettaglio della Tavola 4.5 del piano stralcio per la Sicurezza Idraulica del medio e basso corso del bacino del fiume Piave (confluenza del torrente Maè con il fiume Piave); a destra dettaglio della Tavola 4.5 del piano stralcio per la Sicurezza Idraulica del medio e basso corso del bacino del fiume Piave (traversa di Soverzene)

Lo studio idrologico sviluppato è coerente con i più recenti approcci consolidati in Regione Veneto e ha previsto la preliminare definizione del reticolo idrografico. Il reticolo è stato mappato mediante diversi livelli cartografici, che comprendono la carta IGM 25.000, la CTR 10.000 e la CTR 5.000.

Dal punto di vista amministrativo gli interventi in esame si trovano interamente nel territorio della provincia di Belluno, compreso nelle sezioni N. 046121, 046122 e 046123 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Definito il reticolo, sono state individuate le interferenze con le nuove opere stradali, oltre ai bacini ad esse sottesi, il tutto così come rappresentato nell'elaborato grafico VE407_T00ID00IDRCO01A che riporta la corografia dei bacini cui si rimanda.

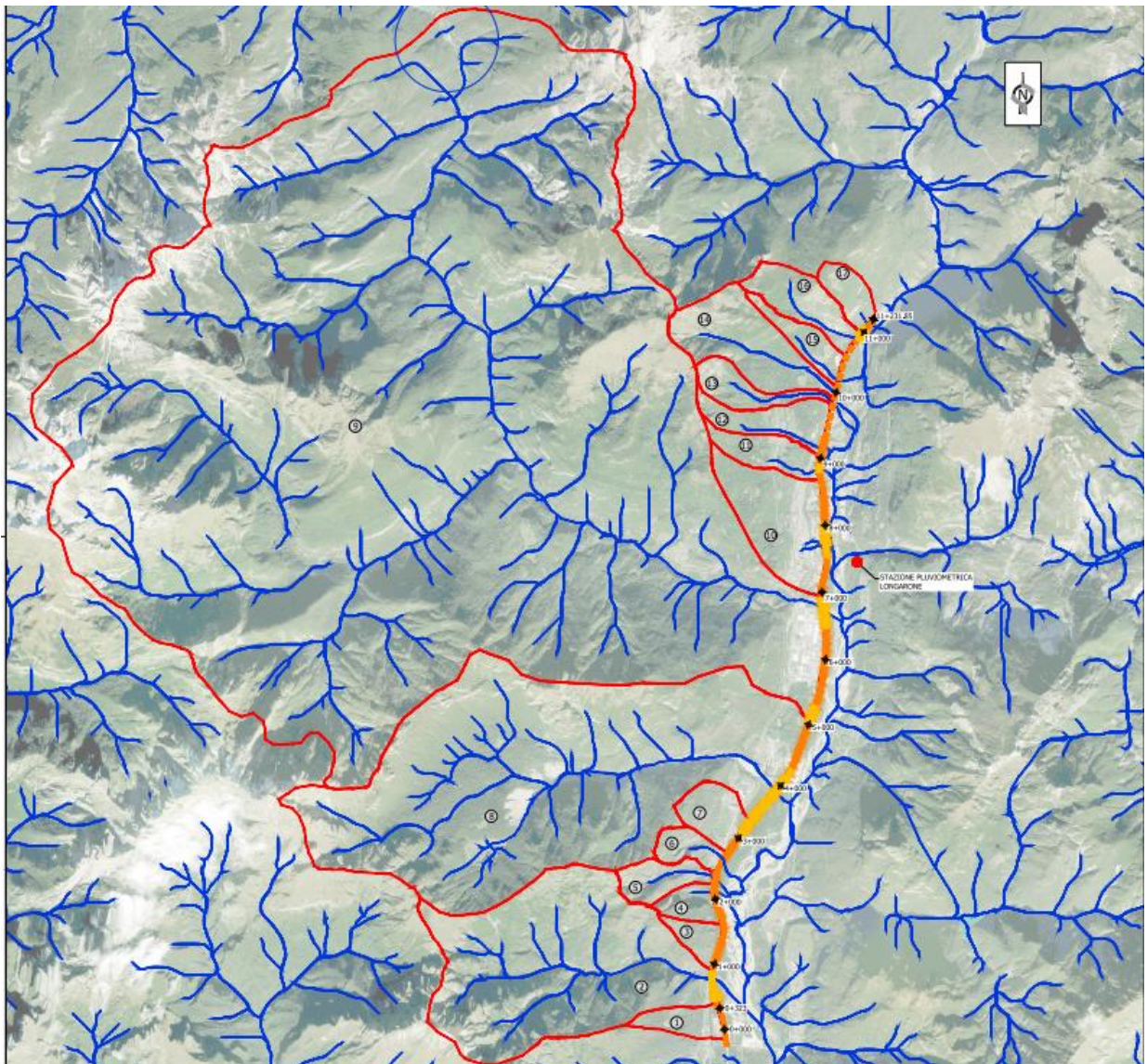


Figura 1-6 Corografia dei bacini

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le analisi sono state svolte nel rispetto della seguente normativa regionale e nazionale:

- R.D. n° 523 del 1904 e ss.mm.ii.
- Legge 18 maggio 1989, n. 183 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" integrata dalla Legge 7 agosto 1990, n. 253 "Disposizioni integrative alla legge 18 maggio 1989.
- D.Lgs. n°152 del 2006
- D.M. 11.03.1988 e Circolare 9.1.1996 n.218/24/3 del Ministero LL.PP.
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 06/06/2001 - "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- NTC2018 Norme Tecniche per le Costruzioni ss.mm.ii.;
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7. C.S.LL.PP.
- N.T.A. e Linee Guida del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, con valore di Piano Territoriale di Settore;
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. Direttiva 2007/60/CE del 04 febbraio 2022 e le annesse Norme Tecniche di Attuazione.
- Piano Tutela delle Acque della Regione Veneto adottato con deliberazione del Consiglio regionale n.107 del 5 novembre 2009;
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni delle Alpi Orientali approvato con D.P.C.M. del 27 ottobre 2016;
- Piano di Gestione delle Acque delle Alpi Orientali approvato con D.P.C.M. del 23 aprile 2014;
- Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio ricadente nel comprensorio gestito dal CONSORZIO DI BONIFICA ACQUE RISORGIVE approvato con

S.S. 51 di "Alemagna" Provincia di Belluno.		
VE407	<i>Relazione Idrologica</i>	

delibera n° 29/2016 del 22.02.2016 l'Assemblea Consorziale ha approvato ed in attesa di ratifica dalla Regione Veneto

- D.G.R.V. n. 2948 del 6/10/2009 e relativi allegati Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici Modalità operative e indicazioni tecniche;
- ORDINANZA N. 2 DEL 22 gennaio 2008 del Commissario Straordinario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007;
- ORDINANZA N. 3 DEL 22 gennaio 2008 del Commissario Straordinario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007;
- ORDINANZA N. 4 DEL 22 gennaio 2008 del Commissario Straordinario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in studio ricade nel Comune di Longarone in un'area geograficamente inquadrabile nella sponda Occidentale del fiume Piave al confine tra il Veneto e il Friuli Venezia Giulia.

Il contesto territoriale in cui si sviluppa l'infrastruttura in progetto è quello della alta valle del fiume Piave nel tratto in cui il Piave scende verso Sud subito dopo l'abitato di San Pietro di Cadore attraversando un paesaggio dolomitico e prospiciente l'abitato di Longarone dove si apre in una valle più ampia. Tale valle è caratterizzata da importanti rilievi afferenti al sistema dolomitico.

Il tratto di strada oggetto dell'intervento si sviluppa parallelamente al fiume Piave per circa 11,2 Km: in tale estesa il Piave riceve numerosi affluenti, tra i quali i principali sono: in sinistra idraulica il torrente Vajont e il torrente della Val Gallina, in destra idraulica, d'interesse ai fini della progettazione stradale perché interferenti, il torrente Maè, il torrente Desedan e il torrente Rio Val dei Frari.



Figura.3.1 Ubicazione dell'area di intervento

È possibile suddividere l'area oggetto dello studio idrologico in tre macro settori.

- Il primo, è la fascia subito a ridosso della infrastruttura è caratterizzata da pendii accentuanti specie nella zona più a Nord in corrispondenza della località di Castellavazzo. Si estende tra circa 420 m.s.l.m e 1800 m.s.l.m di quota ed è il settore in cui si sviluppa l'opera in oggetto.
- La seconda fascia, compresa tra i 1800 m e i 2500 m circa è caratterizzata da valli scavate e ricche di boschi;
- La terza e ultima fascia, è quella che arriva fino al Monte Civetta. Tale sistema montuoso chiude la Val di Zoldo in cui scorre il Maè.

A valle dell'infrastruttura in progetto si estende il bacino del Fiume Piave.

3.1 Identificazione dei bacini idrografici

Sulla base di altri studi di settore (Piano di Gestione del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali), comunque collegati e pertinenti alle attività previste nel presente studio, il territorio interessato dall'opera è stato suddiviso in diciassette sub-bacini, ognuno dei quali caratterizzato da una propria geomorfologia, geografia e idrologia. Tali sub-bacini sono rappresentati nella citata corografia VE407_T00ID00IDRCO01A.

La fase preliminare dello studio ha previsto la definizione del reticolo idrografico, mappato mediante diversi livelli cartografici (che comprendono la carta IGM 1:25.000, la CTR 1:10.000 e il rilievo DTM 5 x 5 m regionale) che hanno portato ad individuare i diversi livelli di reticolo che interferiscono con le opere in progetto.

Definito il reticolo, sono state individuate le interferenze con le opere stradali esistenti e in progetto, oltre ai limiti di bacino idrografico afferenti a ciascuno dei corsi d'acqua.

Può affermarsi che la zona dove si inserisce l'infrastruttura è caratterizzata da interferenze con 3 torrenti aventi dimensioni in termini di lunghezze, portate o bacino afferente considerevoli, sia anche da una serie di interferenze con corpi idrici minori, caratterizzati da portate anche piuttosto rilevanti, in occasione degli

eventi imposti dalla normativa vigente più volte citata (per le vigenti NTC Tr =200 anni).

Tale reticolo idrologico si sviluppa nel versante in destra idraulica del fiume Piave ed è caratterizzato da pendii fortemente acclivi e da una vegetazione endemica che connota fortemente il paesaggio.

I principali corsi d'acqua interessati dal tracciato stradale sono (procedendo da Nord verso Sud): il Torrente Maè, il torrente Desedan e il Vallone Rio dè Frari. Sono inoltre presenti alcune incisioni minori, talvolta assimilabili a fossi. Qui di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle maggiori interferenze idrauliche e delle opere in progetto necessarie per risolverle. Come sarà illustrato in dettaglio nel seguito, nel presente studio saranno valutate le portate di progetto per ciascuna di esse.

Tabella 3-1: Indicazione dei principali Bacini e loro interferenze

ID	Pk progetto	Bacino	Area [km²]	H max [m slm]	H min [m slm]	Opera tipologica	Dimensioni	
							B [m]	H [m]
01	0+210		0,36	1214	660	tombino esistente		
02	0+820	Rio Val dei Frari	8,09	2118	1175,6	Viadotto		
03	1+520		0,31	1040	647,43	fosso		
04	2+100		0,32	1070	706,7	fosso		
05	2+350	Rio Salto del Lupo	0,53	1446	1052,3	tombino	2.5	2.5
06	2+640	Torrente Fortignasi	0,43	1221	762,15	tombino	5	3
07	3+120		0,58	978	580,16	viadotto Desedan		
08	3+921	Torrente Desedan	16,22	2370	1198,22	viadotto Desedan		
09	6+800	Maè	234,20	3200	1303	viadotto Maè		
10	7+660		1,99	1266	682,32	viadotto Fiera		
11	8+840		0,80	1382	882,77	viadotto Malcolm		
12	9+150		0,88	1560	874,36	tombino	2	2
13	9+840		0,73	1784	1181,9	galleria		
14	9+980		1,98	1993	1295,2	galleria		

VE407

Relazione Idrologica

ID	Pk progetto	Bacino	Area [km²]	H max [m slm]	H min [m slm]	Opera tipologica	Dimensioni	
							B [m]	H [m]
15	10+180		0,55	1584	883,87	galleria		
16	10+620		0,91	1692	1198,5	viadotto Fason		
17	11+150		1,40	1349	897,9	tombino esistente		

La tabella suddetta mette in evidenza le interferenze tra il reticolo idrografico e le opere idrauliche presenti e le loro caratteristiche nel tratto in cui si interviene.

Il progetto prevede quindi la realizzazione di 5 ponti e 3 tombini idraulici, la cui dimensione sarà definita nell'ambito della relazione idraulica, per la risoluzione delle interferenze.

Nella tavola di progetto VE407_T00ID00IDRPL08B sono riportate nel dettaglio, a scala maggiore, i limiti di pericolosità idraulica indicate nel PGRA con riferimento alle opere in progetto.

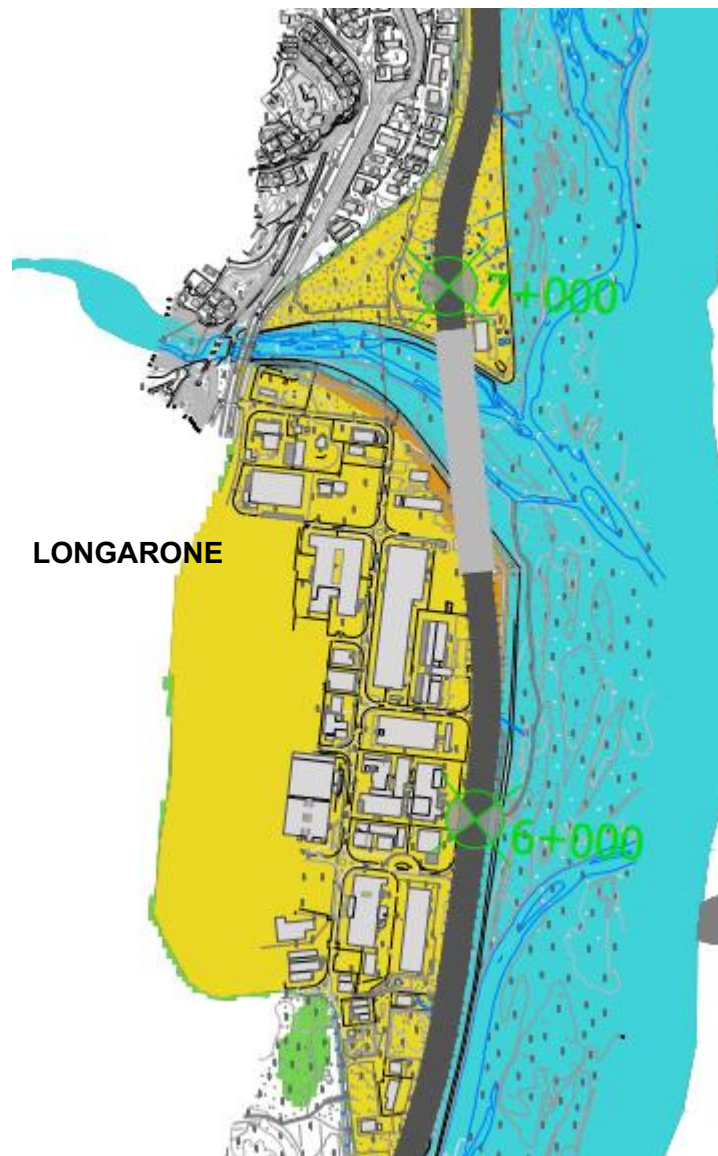


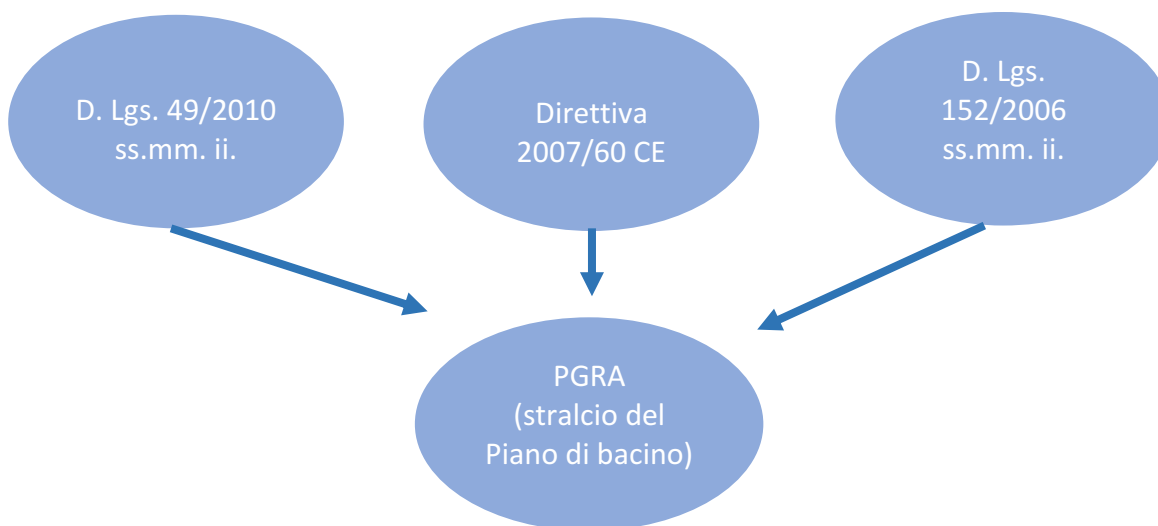
Figura 3-1 Carta pericolosità idraulica PGRA area di progetto

Nello studio si è quindi proceduto alla caratterizzazione dei suddetti bacini, di questi sono state valutate le caratteristiche plano-altimetriche nonché fisiografiche. Tali informazioni verranno esplicitate nei capitoli a seguire.

4 IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni è lo strumento fondamentale previsto dalla legge – decreto legislativo 23 febbraio 2010 n.49 in attuazione della direttiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 Ottobre 2007 – per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

Il PGRA ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è diventato lo strumento di riferimento unico, a livello distrettuale, ai fini dell'individuazione delle aree a pericolosità idraulica determinando la contestuale cessazione dell'efficacia del PAI. A tal proposito attraverso il PGRA si è proceduto ad una uniformazione degli strumenti di pianificazione esistenti nell'area di distretto. Al suo interno convergono le norme esistenti che vengono recepite e coordinate.



Per la definizione della pericolosità idraulica il PGRA presenta una metodologia che fornisce una rappresentazione della variabilità spaziale di altezza/tirante idrico della velocità nelle aree allagabili per ciascuno dei tre scenari di pericolosità.

Noti nei vari punti del territorio i tiranti d'acqua massimi h e le velocità massime v che si manifestano durante un evento di piena, la condizione di pericolo è legata all'intensità del fenomeno (I), funzione di tirante e velocità. La classificazione della pericolosità idraulica per i fenomeni di alluvione torrentizia viene definita in funzione della probabilità di accadimento dell'evento e della sua intensità tramite una matrice tipo BUWAL (Heinimann et al., 1998). I tre intervalli di tempo di riferimento per la valutazione della probabilità di accadimento dei fenomeni alluvionali sono gli stessi già definiti durante il I Ciclo di Gestione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA):

- probabilità di accadimento elevata: $Tr \leq 30$ anni;
- probabilità di accadimento media: $30 < Tr \leq 100$ anni;
- probabilità di accadimento bassa: $100 < Tr \leq 300$ anni.

Le grandezze di riferimento per l'assegnazione dell'intensità sono il tirante (h , in m) e la velocità (v , in m/s). Sono previste tre classi di intensità, definite secondo i seguenti criteri, espressi tramite gli operatori logici AND e OR:

- intensità elevata: $h > 2$ OR $h \cdot v > 2$;
- intensità media: casi rimanenti
- intensità bassa: $h < 0.5$ AND $h \cdot v < 0.5$;

Sono individuate tre classi di pericolosità, moderata (P1), media (P2) ed elevata (P3) tramite la matrice BUWAL riportata in Figura 20. Per le aree di nuova classificazione, la metodologia suindicata, basata sulla matrice di tipo BUWAL, potrà essere integrata con valutazioni della pericolosità legata a processi di dinamica morfologica, quali ad esempio erosione delle sponde ed avulsione (Rinaldi et al., 2016).

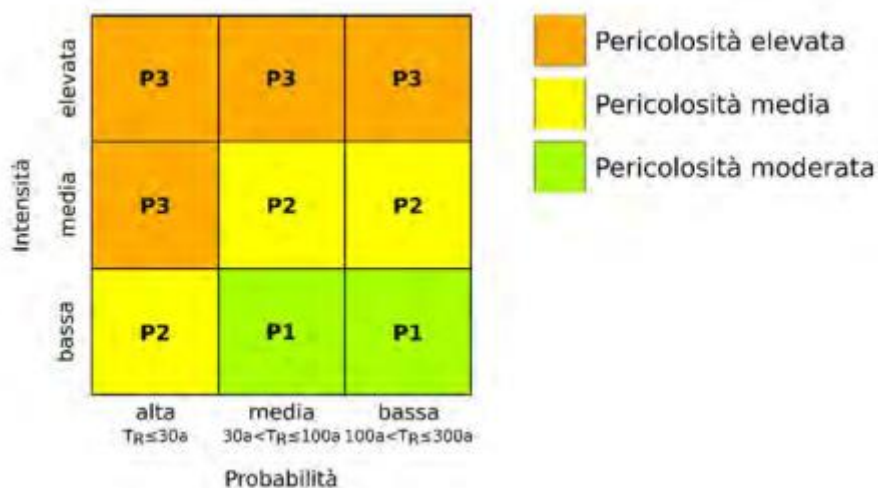


Figura 4-1 Matrice d'interazione per alluvioni torrentizie.

La mappatura del Rischio nel PGRA

Il concetto di rischio è legato alla capacità di calcolare la probabilità che un evento pericoloso accada, nonché alla capacità di definire il danno provocato. Il rischio è quindi legato alla possibilità che un fenomeno naturale o indotto dalle attività dell'uomo possa causare effetti dannosi sulla popolazione, gli insediamenti abitativi e produttivi e le infrastrutture, all'interno di una particolare area, in un determinato periodo di tempo. Rischio e pericolo, quindi, non sono la stessa cosa: il pericolo è la causa, il rischio sono le possibili conseguenze derivanti dal suo effetto, cioè il danno che ci si può attendere. Il rischio viene determinato secondo la formulazione proposta da KR WP1 Team (2012) che trova il suo riferimento normativo italiano nel D.P.C.M. del 29 settembre 1998 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998 n.180:

$$R = P \cdot V \cdot E = P \cdot D$$

dove:

P = Pericolosità: è la probabilità che un fenomeno di una determinata intensità si verifichi in un certo periodo di tempo, in una data area;

V = Vulnerabilità: è la propensione di un elemento (persone, edifici, infrastrutture, attività economiche) a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità;

E = Esposizione o Valore esposto: è il numero di unità (o "valore") di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area, come le vite umane o gli insediamenti;

D = Danno potenziale: è la combinazione del valore dell'elemento esposto con il valore di tale elemento rispetto ad un evento di data intensità.

La vulnerabilità risulta invece dall'interazione tra componenti fisico-ambientali e sociali. La prima componente rappresenta il contesto nel quale si vuole valutare la vulnerabilità.

La seconda componente rappresenta la percezione o la consapevolezza, da parte della società, della possibilità che un evento avverso si verifichi. Una maggiore consapevolezza si riflette, infatti, in una maggiore preparazione nel caso in cui l'evento si manifesti. Per definire la vulnerabilità in termini fisici viene utilizzato come parametro la suscettibilità da riferire a un cosiddetto bersaglio (Balbi *et al.*, 2012). La suscettibilità è legata al contesto nel quale si manifesta il fenomeno e si riferisce alla valutazione quantitativa (o qualitativa) della tipologia di fenomeno, dei fattori predisponenti e delle caratteristiche del fenomeno stesso. In buona sostanza è un fattore fisico-ambientale predisponente.

Per bersaglio deve intendersi un elemento esposto, quali persone o cose. Una specifica trattazione sarà affrontata nel successivo paragrafo. La vulnerabilità sociale viene invece suddivisa in:

- "Adaptive Capacity" o capacità di adattamento ex ante (AC), rappresenta la capacità di un individuo, di una comunità, società o un'organizzazione di

prepararsi e/o attuare azioni volte a ridurre il rischio di impatti negativi, per limitare i danni o sfruttare opportunità positive (IPCC-SREX, 2012 e (IPCC-SREX, 2012; Torresan *et al.*, 2012);

- "Coping Capacity" o capacità di adattamento ex post (CC), rappresenta la capacità di far fronte agli eventi naturali negativi, cioè la capacità di affrontare, reagire e superare situazioni avverse facendo leva sulle competenze disponibili, sulle risorse e sulle opportunità trasformando la struttura, il funzionamento o l'organizzazione del sistema (IPCC-SREX, 2012; Torresan *et al.*, 2012).

Si definisce rischio residuo il rischio che si prevede rimanga anche dopo che è stata realizzata la misura di mitigazione pianificata, o quello che può essere deliberatamente accettato. La realizzazione di interventi strutturali non va assunta come una condizione di sicurezza assoluta. Il concetto di rischio residuo deve quindi essere sempre compreso nelle valutazioni di sviluppo del territorio.

Nell'ambito di una trattazione generale, anche per l'esposizione deve essere considerato l'aspetto economico e sociale, introducendo il cosiddetto Fattore di Valore. Per Fattore di Valore deve intendersi il valore economico della vita, la volontà a pagare o accettare una ricompensa, il numero di utenti diretti ed indiretti. Tali fattori sopra richiamati hanno l'obiettivo di supportare i decisori a dare valore monetario ai danni e a classificarli secondo quanto proposto da Mertz *et al.* (2010) in:

- danni diretti e tangibili: danni provocati dall'evento naturale avverso che si verificano in concomitanza con l'evento stesso ed i cui costi sono facilmente monetizzabili;
- danni diretti ed intangibili: sono i valori perduti in concomitanza all'evento naturale avverso la cui monetizzazione è difficile o controversa, perché non hanno un mercato;

- danni indiretti e tangibili: danni e relativi costi indotti dall'evento naturale che si verificano in tempi successivi all'evento naturale o in luoghi diversi da quelli in cui si è verificato l'impatto dell'evento naturale avverso, facilmente quantificabili;
- danni indiretti intangibili: danni e relativi costi indotti dall'evento naturale che si verificano in tempi successivi all'evento naturale o in luoghi diversi da quelli in cui si è verificato l'impatto dell'evento naturale avverso, difficilmente monetizzabili.

Ai fini della mappatura del rischio, si assume che la quantificazione del rischio sia espressa in termini relativi, ovvero il rischio di un elemento esposto assume una gradazione compresa tra 0 e 1, dove 0 e 1 sono rispettivamente i casi di assenza di rischio o massimo rischio dell'elemento esposto.

Riprendendo il concetto di bersaglio precedentemente esposto, lo stesso rappresenta le seguenti macrocategorie di elementi esposti:

- popolazione (art.6-5.a della 2007/60/CE e del D.Lgs.23.02.2010);
- attività economiche (art.6-5.b della 2007/60/CE): edifici, agricoltura, ambienti naturali e seminaturali (art.6-5.d del D.Lgs. 23.02.2010), infrastrutture e strutture strategiche (art.6-5.b del D.Lgs. 23.02.2010);
- beni ambientali e culturali-archeologici (art.6-5.c del D.Lgs.23.02.2010), comprendendo tra essi, gli impianti di cui all'allegato I del D.Lgs n°59 del 18.2.2005 e le aree protette di cui all'allegato 9 del D.Lgs. 152 del 2006.

Le tre macro-categorie identificate tenendo in conto anche del reporting sheet di Novembre 2010 trovano i loro descrittori nelle classi di uso del suolo riportati nella seguente tabella.

Tabella 4-1: Lista delle classi di uso del suolo utilizzate come descrittori delle macro-categorie.

COD	DESCRIZIONE
1	Residenziale
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale
3	Edifici sede di servizi pubblici
4	Commerciale e artigianale
5	Industriale
6	Agricolo specializzato
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani
8	Turistico-Ricreativo
9	Improduttivo
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio
11	Campeggi
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria
14	Zona ferroviaria
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo
16	Reti tecnologiche e di servizio
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)
18	Zona per la produzione di energia
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico; beni culturali
22	Beni ambientali
23	Zona militare

Riprendendo i concetti già espressi nell'introduzione per la determinazione del rischio e l'esigenza di una sua rappresentazione in termini relativi nell'intervallo compreso tra 0 e 1, è necessario associare ai 3 gradi di pericolosità un valore di natura numerica.

Anche in questo caso, sulla base di valutazioni di natura strettamente qualitativa, nonché sulla base di valutazioni già effettuate da altre amministrazioni (Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche – Provincia Autonoma di Trento

– DPR 15/02/2006), si assume per P1, P2, P3 rispettivamente il valore di 0.4, 0.8, 1.

Con riferimento alle tre macro-categorie richiamate precedentemente, si riporta di seguito la metodologia per la quantificazione della vulnerabilità.

Per caratterizzare la vulnerabilità associata alla presenza umana, si fa riferimento a valori di velocità e profondità che determinano “instabilità” rispetto alla posizione di equilibrio (eretta). Molti degli autori che si sono occupati della instabilità delle persone in acqua fluente propongono di far riferimento a valori critici del prodotto tra tirante d'acqua (h) e velocità (v) del flusso.

Il tutto viene riassunto nella seguente relazione:

$$FHR = h \cdot (v + 0.5) + DF$$

I valori di DF in funzione di h , v e uso del suolo prevalente sono riportati in Tabella 4-2.

Tabella 4-2: Valori di DF per diversi valori di h , v e uso del suolo prevalente.

CAMPI DI h E v	Pascolo/Agricolo	Bosco	Urbano
$0 \text{ m} < h \leq 0.25 \text{ m}$	0	0	0
$0.25 \text{ m} < h \leq 0.75 \text{ m}$	0	0.5	1
$h > 0.75 \text{ m}$ e/o $v > 2 \text{ m/s}$	0.5	1	1

Sulla base dei valori che può assumere FHR sono stati associati, in via del tutto deduttiva, i valori di VP, cioè del valore di vulnerabilità connesso alle persone fisiche.

Una delle ipotesi di base che viene assunta è che le persone risultano vulnerabili per tiranti superiori almeno a 0.25 m. Nella Tabella 4-3 sono riassunte tali considerazioni.

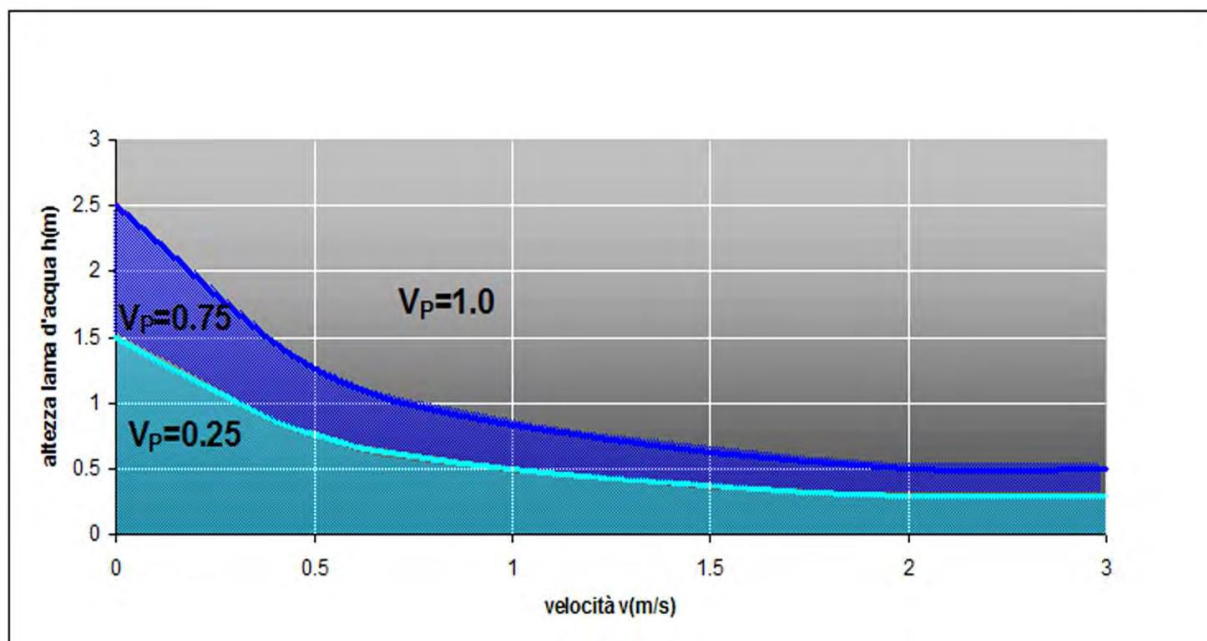


Figura 4-2 Valori di vulnerabilità legata alle persone fisiche (V_P) in funzione dei valori di h e v .

La tematica sopra esposta è riassunta attraverso la rappresentazione grafica del campo h, v di Figura 4-2.

Tabella 4-3: Valori di vulnerabilità in relazione alle persone fisiche

DESCRIZIONE	CAMPI di FHR	V_P
Cautela: "Zone inondate da acque fluenti con basso tirante o da acque ferme ma profonde"	$FHR < 0.75$	0.25
Pericolo per qualcuno (bambini): "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"	$0.75 \leq FHR < 1.25$	0.75
Pericolo per chiunque: "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"	$FHR \geq 1.25$	1

Per quanto riguarda la vulnerabilità delle attività economiche queste trovano riferimento nelle categorie di uso del suolo di Tabella 4-1. Anche in questo caso la metodologia adottata si basa sull'identificazione di tre classi di vulnerabilità (V_E), in funzione dei valori di h e v che manifestano in conseguenza ad un allagamento.

Per quanto concerne gli edifici (categorie 1, 2, 3, 4, 5, 14, 15, 17, 18, 19, 23 di Tabella 4-1), essi possono collassare a causa della pressione dell'acqua, dello scalzamento delle fondazioni, o di una combinazione di tali cause. In aggiunta, va tenuto presente il possibile effetto del materiale solido trasportato da una piena soprattutto in forma di legname e materiale detritico che può provocare danni alle strutture.

La formulazione proposta da Clausen e Clark (1990) per edifici in mattoni e muratura viene modificata per tenere in conto le sperimentazioni condotte da Risk-Frontiers (Fonte: *Natural Hazards Research Centre*) sulle perdite potenziali dovute ai danni da inondazione ai beni contenuti negli edifici: i risultati di laboratorio evidenziano che già per altezze d'acqua di 0.5 m le perdite in termini di "beni interni" si aggirano intorno al 50%. Facendo riferimento alla Figura 24, la vulnerabilità strutturale degli edifici e dei beni in essi contenuti è sintetizzata secondo le leggi di Tabella 4-4.

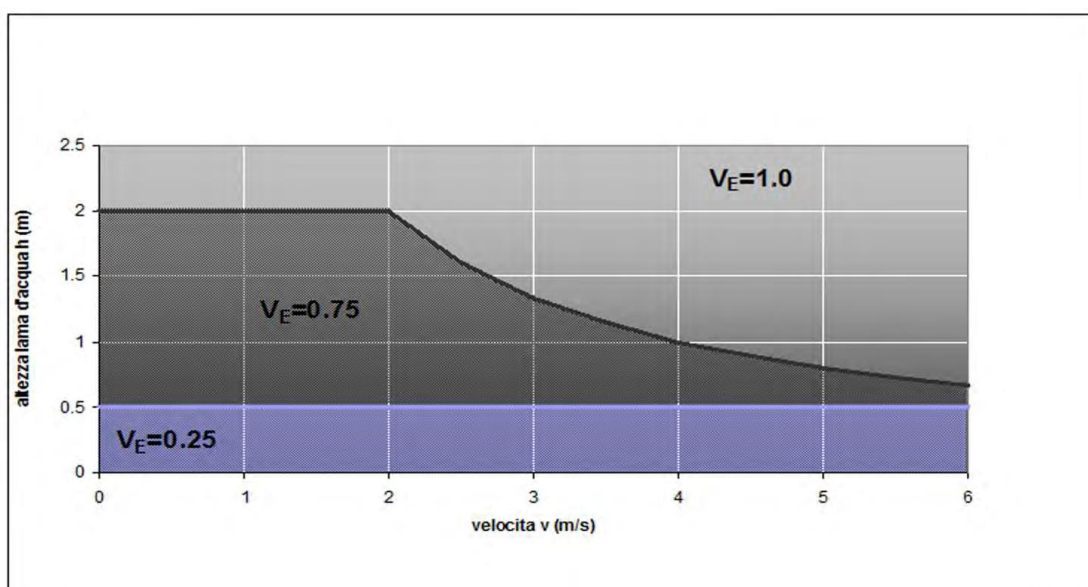


Figura 4-3 Valori di vulnerabilità legati agli edifici in funzione dei valori di h e v

Tabella 4-4: Attribuzione della vulnerabilità agli edifici.

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
Danni simili a quelli causati da un'inondazione naturale a basso tirante	se $h < 0.5$	0.25

Danni moderati, come finestre e porte buttate a terra, danni parziali ai "beni interni" e piccoli danni ai principali elementi strutturali degli edifici	con $v < 2$ m/s se $0.5 \leq h < 2$ m; con $v \geq 2$ m/s se $(h \cdot v) \leq 4$ m ² /s e $h \geq 0.5$	0.75
Collasso totale o danni gravi alle strutture che necessitano demolizione e ricostruzione	con $v < 2$ m/s se $h \geq 2$ m; con $v \geq 2$ m/s se $(h \cdot v) > 4$ m ² /s	1

Per le classi d'uso del suolo corrispondenti alle infrastrutture di collegamento (categorie 12 e 13 di Tabella 4), la vulnerabilità è legata all'impossibilità di utilizzare le infrastrutture e quindi all'interruzione del servizio.

Ciò può verificarsi sia con che senza danni strutturali alle infrastrutture stesse (semplice allagamento o anche distruzione del bene). Sulla base delle stime di altezza d'acqua e velocità a cui gli autoveicoli diventano instabili in presenza di inondazione viene adottata la funzione di vulnerabilità di Tabella 4-5, rappresentata in Figura 26. Va precisato che i valori di h e v derivano da osservazioni condotte durante sperimentazione in laboratorio da Reiter (2000), e dei valori di riferimento limite riportati nel rapporto finale di Australian Rainfall and Runoff (AR&R) Project n. 10 "Appropriate Safety Criteria for Vehicles –Literature Review", rel. Febbraio 2011.

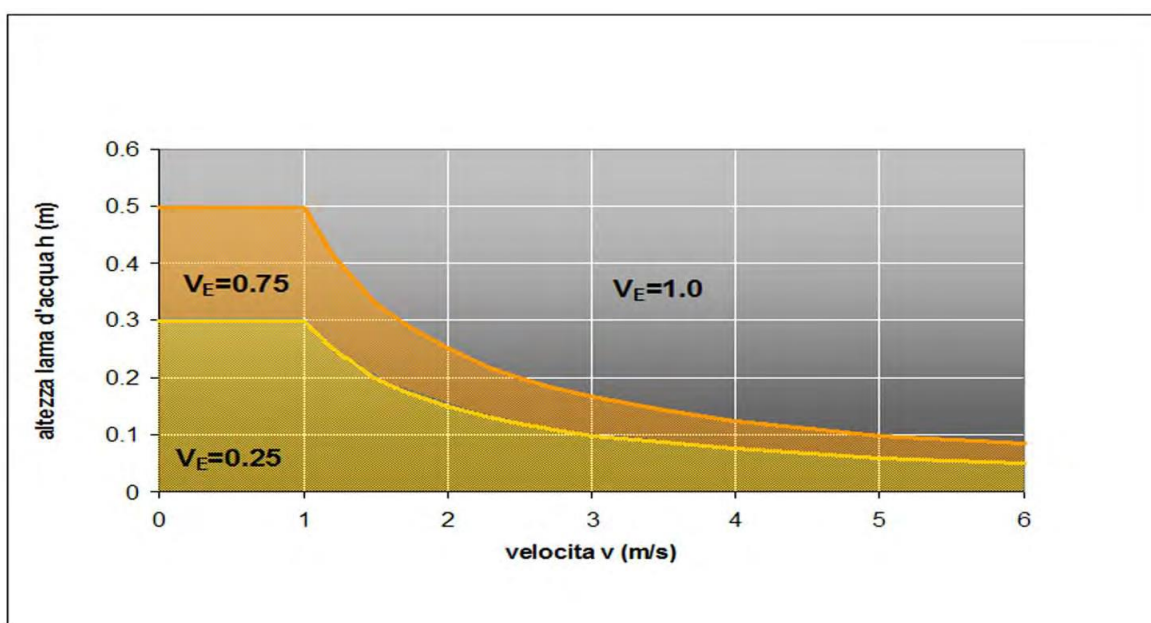


Figura 4-4 Valori di vulnerabilità legati alle infrastrutture di collegamento in funzione dei valori di h e v .

Tabella 4-5: Attribuzione della vulnerabilità alle infrastrutture viarie

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
La stabilità del veicolo non è compromessa con eventuali danni ridotti; limitati disagi nell'utilizzo dell'infrastruttura	con $v < 1$ m/s se $h < 0.3$ m; con $v \geq 1$ m/s se $h \cdot v < 0.3$ m ² /s	0.25
Il veicolo si trova in condizioni di stabilità critica con eventuali danni parziali; si possono manifestare disagi nell'utilizzo dell'infrastruttura	con $v < 1$ m/s se $0.3 \leq h < 0.5$ m; con $v \geq 1$ m/s se $0.3 \leq h \cdot v < 0.5$ m ² /s	0.75
Il veicolo ha perso le condizioni di stabilità e si verificano danni significativi che ne compromettono il futuro; l'infrastruttura non è agibile	con $v < 1$ m/s se $h \geq 0.5$ m; con $v \geq 2$ m/s se $h \cdot v \geq 4$ m ² /s	1

Per le reti tecnologiche e di servizio, si assume che ci possa essere vulnerabilità sono in caso di tiranti e velocità maggiori rispettivamente a 2 m e 2 m/s. Nel qual caso V_E assume valore pari a 1.

Per la valutazione della vulnerabilità nelle aree agricole (categorie 6 e 7 di Tabella 4), si assume l'ipotesi che il danno, in prima istanza, è legato alla perdita del raccolto e, per valori di altezza e velocità più elevati, agli edifici e ai beni in essi contenuti. In relazione a ciò risulta intuitivo che la massima altezza d'acqua tollerabile che può sommergere un terreno agricolo dipende dal tipo di coltivazione e dall'altezza della vegetazione.

Citeau (2003) fornisce alcuni esempi in proposito tenendo conto anche della velocità del flusso: 1 m per frutteti e 0.5 m per i vigneti; velocità massime variano tra 0.25 m/s per i vegetali da campo e 0.5 m/s per i frutteti. Per le colture in serra i massimi danni da inondazione si verificano per altezze d'acqua pari a 1 m. Alte velocità possono non solo causare danni diretti alle coltivazioni ma determinare degradazione dei suoli a causa dell'erosione.

Per quanto riguarda la vulnerabilità dei beni culturali l'approccio proposto nel Distretto delle Alpi Orientali è quello di identificare l'ambiente come le Aree Protette potenzialmente interessate dalle inondazioni. In particolar modo nel caso di presenza di aree sensibili rispetto ai nutrienti, comprese quelle designate come zone vulnerabili a norma della direttiva 91/676/CEE (Nitrati) e le zone designate come aree sensibili a norma della direttiva 91/271/CEE (Reflui urbani), si assume vulnerabilità pari a 1 (categoria 20 di Tabella 4-1).

Allo stato attuale non si dispone di elementi conoscitivi o informativi tali da stabilire una vulnerabilità specifica dei singoli beni in funzione delle caratteristiche dell'inondazione, né si ritiene possibile stabilire una scala di valori circa l'importanza relativa dei beni stessi di cui alla categoria 21 di Tabella 4-1. Pertanto, nelle more di un approfondimento che permetta almeno una differenziazione per tipologia si ritiene cautelativo associare una vulnerabilità pari a 1.

Con riferimento alle tre macro-categorie richiamate precedentemente, si riporta di seguito la metodologia per la quantificazione dell'esposizione.

- **Persone**

Nel presente lavoro l'esposizione delle persone è caratterizzata da due fattori. Il primo riguarda il numero di persone che insistono sul territorio che è espresso attraverso un fattore di densità (F_d), stabilito nelle 5 classi di Tabella 14.

Tabella 4-6: Valori relativi alla presenza umana (F_d)

NUMERO DI PERSONE	F_d
1 ÷ 50	0.90
51 ÷ 100	0.95
101 ÷ 500	0.98
> 500	1

Il secondo riguarda la durata temporale della presenza umana. Questa viene rappresentata dal fattore di durata (F_t), calcolato, come il rapporto della durata

ipotizzata di permanenza rispetto alle 24 ore (PGUAP – Provincia Autonoma di Trento – DPR 15/02/2006). Nella Tabella 15 sono riportati detti valori per ciascuna delle classi utilizzate nel presente piano.

Tabella 4-7: Valori relativi alla presenza umana (F_t).

COD	DESCRIZIONE	F_t
1	Residenziale	1
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale	1
3	Edifici sede di servizi pubblici	1
4	Commerciale e artigianale	$0.5 \div 1$
5	Industriale	$0.5 \div 1$
6	Agricolo specializzato	$0.1 \div 0.5$
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani	$0.1 \div 0.5$
8	Turistico-Ricreativo	$0.4 \div 0.5$
9	Improduttivo	0.1
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio	$0.3 \div 0.5$
11	Campeggi	1
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria	0.5
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria	0.5
14	Zona ferroviaria	$0.7 \div 1$
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo	1
16	Infrastruttura a rete, Infrastruttura per le comunicazioni	$0.3 \div 0.5$
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)	$0.7 \div 1$
18	Zona per la produzione di energia	0.4
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori	0.3
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59	0.9
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico; beni culturali	$0.5 \div 1$
22	Beni ambientali	$0.5 \div 1$
23	Zona militare	$0.1 \div 1$

L'esposizione riferita alle persone (E_P) è quindi calcolata come:

$$E_P = F_d \cdot F_t$$

- **Attività economiche**

L'esposizione relativa alle attività economiche (E_E) viene espressa attraverso i costi di ripristino, di mancata produzione e di mancata fruizione del servizio. I valori adottati per esprimere detta valenza economica, sono riportati nella Tabella 4-8.

Tabella 4-8: Valori relativi alla valenza economica (E_E).

COD	DESCRIZIONE	E_E
1	Residenziale	1
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale	1
3	Edifici sede di servizi pubblici	1
4	Commerciale e artigianale	1
5	Industriale	1
6	Agricolo specializzato	$0.3 \div 1$
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani	0.3
8	Turistico-Ricreativo	0.5
9	Improduttivo	0.1
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio	$0.3 \div 1$
11	Campeggi	0.5
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria	1
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria	$0.5 \div 1$
14	Zona ferroviaria	1
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo	0.3
16	Infrastruttura a rete, Infrastruttura per le comunicazioni	1
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)	1
18	Zona per la produzione di energia	1
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori	0.5
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59	1
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico; e culturali	1
22	Beni ambientali	1
23	Zona militare	$0.1 \div 1$

- Ambiente e beni culturali**

Per definire il valore esposto in relazione alla componente ambientale, analogamente a quanto sopra svolto, si procede in termini relativi tra le diverse classi di uso del territorio avendo in questo caso a riferimento le modifiche che possono essere indotte dall'evento calamitoso sull'assetto ambientale degli elementi coinvolti. Detti valori (EA) sono riportati in Tabella 17.

Tabella 4-9: Valori relativi alla valenza ambientale (EA).

COD	DESCRIZIONE	EA
1	Residenziale	1
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale	1
3	Edifici sede di servizi pubblici	1
4	Commerciale e artigianale	0.8
5	Industriale	0.3 ÷ 1
6	Agricolo specializzato	0.7
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani	0.7
8	Turistico-Ricreativo	0.1
9	Improduttivo	0.3
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio	0.3
11	Campeggi	0.1
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria	0.2
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria	0.1
14	Zona ferroviaria	0.7
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo	0.3
16	Infrastruttura a rete, Infrastruttura per le comunicazioni	0.1
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)	1
18	Zona per la produzione di energia	1
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori	1
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59	1
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico	1
22	Beni ambientali e culturali	1
23	Zona militare	0.1 ÷ 1

Per la determinazione del Rischio si individua il contributo legato a ciascuna macrocategoria (rischio specifico):

$$R_P = P \cdot V_P \cdot E_P = P \cdot D_P$$

$$R_E = P \cdot V_E \cdot E_E = P \cdot D_E$$

$$R_A = P \cdot V_A \cdot E_A = P \cdot D_A$$

dove R_P , R_E , R_A , V_P , V_E , V_A , E_P , E_E , E_A , D_P , D_E , D_A rappresentano rispettivamente il rischio, la vulnerabilità, l'esposizione ed il danno riferiti alla componente popolazione (P), economica (E) e ambientale (A), cioè le tre macrocategorie sopra richiamate.

Affrontata così la determinazione del rischio specifico, per gli adempimenti previsti nel D. Lgs. 49/2010, per formulare un giudizio complessivo in termini di "rischio totale" (R), si procede ad una rideterminazione dello stesso per ricondurlo ad un unico valore. Stabiliti i pesi da assegnare alle tre componenti del rischio, R può essere determinato mediante la seguente espressione:

$$R = \frac{p_P \cdot R_P + p_E \cdot R_E + p_A \cdot R_A}{p_P + p_E + p_A}$$

Risolta l'equazione per ciascun tempo di ritorno, il rischio finale in ciascun punto del territorio è dato dal massimo rischio che può verificarsi.

Al fine di stabilire la classe di rischio (moderato, medio, elevato, molto elevato), vengono introdotti gli intervalli di appartenenza numerica delle classi di rischio, così come illustrato in Tabella 18.

Tabella 4-10: Definizione della classe di rischio (totale).

INTERVALLI DI R	DESCRIZIONE	CATEGORIA DI RISCHIO
$0 < R \leq 0.2$	Rischio moderato per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli	R1
$0.2 < R \leq 0.5$	Rischio medio per il quale sono possibili danni minori	R2

VE407

Relazione Idrologica

	agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche	
$0.5 < R \leq 9$	Rischio elevato per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio economiche e danni relativi al patrimonio ambientale	R3
$0.9 < R \leq 1$	Rischio molto elevato per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche	

Le planimetrie di pericolosità idraulica dedotte dal PGRA per l'area sopracitata in corrispondenza delle opere stradali interferenti, sono riportate, come detto, nella tavola di progetto VE407_T00ID00IDRPL08_B.

Inoltre, sui corsi d'acqua maggiori interferenti con l'opera, il Maè e il Desedan, sono state sviluppate le modellazioni idrauliche per l'identificazione delle aree di esondazione secondo quanto riportato nella Relazione Idraulica (VE407_T00ID00IDRRE02B), i cui risultati sono illustrati nelle specifiche tavole di progetto VE407_T00ID00IDRPE09A/22A.

5 ANALISI IDROLOGICA

In questa fase dello studio è stato necessario procedere secondo i seguenti passi:

- Individuazione dei bacini tributari e loro caratterizzazione fisica e idrografica;
- Individuazioni sezioni di controllo di particolare interesse;
- Valutazione dell'uso del suolo e caratteristiche dei bacini;
- Calcolo del Tempo di Corrivazione dei bacini.

5.1 Caratterizzazione fisica e idrografica dei bacini tributari

La caratterizzazione fisiografica dei bacini individuati è stata eseguita mediante le seguenti basi:

- DEM (maglia 5 x 5 m);
- CTR 1:10.000;
- Tavole IGM scala 1:25.000;

Per ciascun bacino individuato, sono state valutate le seguenti grandezze:

- **Superficie del bacino S** [km²]: elaborazione GIS; la superficie è calcolata sulla base del DEM, in relazione al poligono chiuso che individua ciascun singolo bacino idrografico;
- **Perimetro del bacino P** [km]: elaborazione GIS; la linea è calcolata sulla base del DEM, in relazione al poligono chiuso che individua ciascun singolo bacino idrografico;
- **Altitudine massima H_{max}** [m.s.l.m.], altitudine minima (altitudine sezione di chiusura) H_{min} [m.s.l.m.]: elaborazione GIS, direttamente dalla base del DEM, come risultato di un'analisi di tipo statistico (valore minimo e massimo) delle quote altimetriche delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante il bacino analizzato;
- **Altitudine media H_{media}** [m.s.l.m.]: elaborazione numerica direttamente dal DEM, come risultato dell'analisi della curva ipsografica relativa al

bacino indagato e riferita alla sezione di chiusura posta in corrispondenza del punto di interferenza del corso d'acqua con l'asse stradale;

- **Pendenza media del bacino i_v [%]:** elaborazione GIS direttamente dalla base del DEM, come risultato dell'analisi delle pendenze medie delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante il bacino idrografico analizzato;
- **Lunghezza dell'asta L_{max} [Km]:** calcolo automatico in GIS della lunghezza dei segmenti rappresentanti i corsi d'acqua digitalizzati, intesa come percorso idraulico più lungo all'interno del bacino idrografico analizzato.

I bacini idrografici individuati sono undici, di seguito denominati secondo una progressione numerica e rappresentati nelle Corografie dei bacini idrografici principali (VE407_T00ID00IDRCO01/02_A) cui si rimanda.

Questi rappresentano la porzione di territorio che, in seguito alle precipitazioni, genera deflusso attraverso la sezione di chiusura coincidente con il punto di interferenza tra i corsi d'acqua individuati e l'infrastruttura stradale oggetto degli interventi. Per ogni bacino sono stati valutate le seguenti caratteristiche geomorfologiche elencate nel seguito.

In particolare sono state calcolate le grandezze che descrivono l'orografia e la planimetria del luogo e tutti i parametri altimetrici necessari alla definizione del bacino, quali:

- Pendenza media dell'asta principale i [%], data dal rapporto tra il dislivello tra sorgente e sezione di chiusura del bacino e la lunghezza dell'asta;
- Altezza massima e minima del bacino H_{max} e H_{min} ;
- Altezza massima e minima dell'alveo h_{max} e h_{min} ;
- Altezza media del bacino H_{media} , ricavata dalla curva ipsografica mediante la formula;

I valori delle grandezze elencate sono riportati nella Tabella 5.1 di seguito.

Tabella 5-1 - Caratteristiche dei bacini idrografici

Pk progetto	N° Bacino	Denominazione Bacino	Asta fluviale				Bacino idrografico				
			L asta [Km]	H max [m slm]	H media [m slm]	i [%]	Area [km ²]	Perimetro [km]	H max [m]	H min [m]	i [%]
0+210	01		0,04	1214	660	1,76	0,36	4,25	1222	387	26,6
0+820	02	Rio Val dei Frari	4,40	2118	1175,6	0,36	8,09	12,8	2118	399	35
1+520	03		0,02	1040	647,43	2,53	0,31	2,8	1040	415	31
2+100	04		0,34	1070	706,7	1,73	0,32	9,68	1070	406	36
2+350	05	Rio salto del Lupo	1,28	1446	1052,3	0,78	0,53	3,67	1446	405	36
2+640	06	Torrente Fortignasi	0,82	1221	762,15	1,04	0,43	3,19	1221	413	35
3+140	07		0,05	978	580,16	0,53	0,58	3,38	978	410	25,33
3+880	08	Torrente Desedan	7,70	2370	1198,22	0,24	16,22	20,47	2370	409	29,3
6+800	09	Maè	33,36	3200	1303	0,07	234,20	179,1	3200	409	34
7+650	10		0,75	1266	682,32	0,96	1,99	6,29	1266	429	24
8+850	11		0,90	1382	882,77	0,92	0,80	4,22	1382	435	27,9
9+150	12		1,54	1560	874,36	0,62	0,88	18,25	1560	482	27,3
9+840	13		1,80	1784	1181,9	0,63	0,73	5,09	1784	539	27
9+960	14		2,22	1993	1295,2	0,60	1,98	21,67	1993	546	11,49
10+180	15		1,19	1584	883,87	0,76	0,55	4,25	1584	555	27
10+880	16		1,50	1692	1198,5	0,66	0,91	5,10	1692	588	24
11+150	17		0,40	1349	897,9	1,93	1,40	4,90	1349	458	26

Partendo dalle informazioni di carattere planimetrico è stata caratterizzata la forma del bacino attraverso i seguenti indici:

- **Fattore di circolarità:** esprime la somiglianza con un bacino di forma circolare avente lo stesso perimetro P

$$R_c = 4\pi \frac{A}{P^2};$$

$R_c \rightarrow 1$ forma tondeggiante;

$0.4 < R_c < 0.5$ forme ovali;

$R_c < 0.4$ forme allungate.

- **Fattore di uniformità:** è dato dal rapporto tra il perimetro del bacino e quello di un cerchio di uguale area.

$$R_u = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

- **Fattore di allungamento:** è il rapporto tra il diametro del cerchio di uguale area A e la lunghezza L dell'asta principale:

$$E = \frac{2\sqrt{A}}{L\sqrt{\pi}}$$

Tabella 5-2 – Riassunto fattori caratteristici bacini idrografici

ID	Pk progetto	Area [km ²]	L asta [km]	Perimetro [km]	R _c	R _u	E
1	0+210	0,39	0,04	4,25	0,27	1,92	17,62
2	0+820	8,09	4,4	12,80	0,62	1,27	0,73
3	1+520	0,31	0,02	2,80	0,50	1,42	31,41
4	2+100	0,35	0,34	9,68	0,05	4,59	1,97
5	2+350	0,53	1,28	3,67	0,49	1,43	0,64
6	2+640	0,44	0,82	3,19	0,54	1,36	0,91
7	3+120	0,58	0,05	3,38	0,64	1,25	17,19

ID	Pk	Area	Lasta	Perimetro	R _c	R _u	E
8	3+921	16,22	7,7	20,47	0,49	1,43	0,59
9	6+800	234,20	33,36	179,00	0,09	3,30	0,52
10	7+660	1,99	0,75	6,29	0,63	1,26	2,12
11	8+840	0,80	0,9	4,22	0,56	1,33	1,12
12	9+150	0,88	1,54	18,25	0,03	5,47	0,69
13	9+840	0,73	1,8	5,09	0,35	1,68	0,54
14	9+980	1,98	2,22	21,67	0,05	4,34	0,72
15	10+180	0,55	1,19	4,25	0,38	1,62	0,70
16	10+620	0,91	1,5	5,10	0,44	1,50	0,72
17	11+150	1,40	0,40	4,90	0,73	1,17	3,34

5.2 Aggiornamento dati pluviometrici

La zona interessata dal bacino imbrifero è caratterizzata da un regime pluviometrico di tipo sub continentale, con addensamento delle piogge nel semestre estivo-autunnale e un marcato minimo invernale (da Giugno a Novembre).

Nell'area di influenza dei bacini imbriferi delle sezioni considerate ricade la stazione pluviometriche di “Longarone”, come si evince nella corografia dei bacini VE407_T00ID00IDRCO01A.

L'analisi pluviometrica è stata svolta mediante l'utilizzo dei dati messi a disposizione dal Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio – Servizio Centro Meteorologico di Teolo. I dati pluviometrici utilizzati per lo studio idrologico in esame provengono dalle registrazioni della stazione pluviometrica di Longarone.

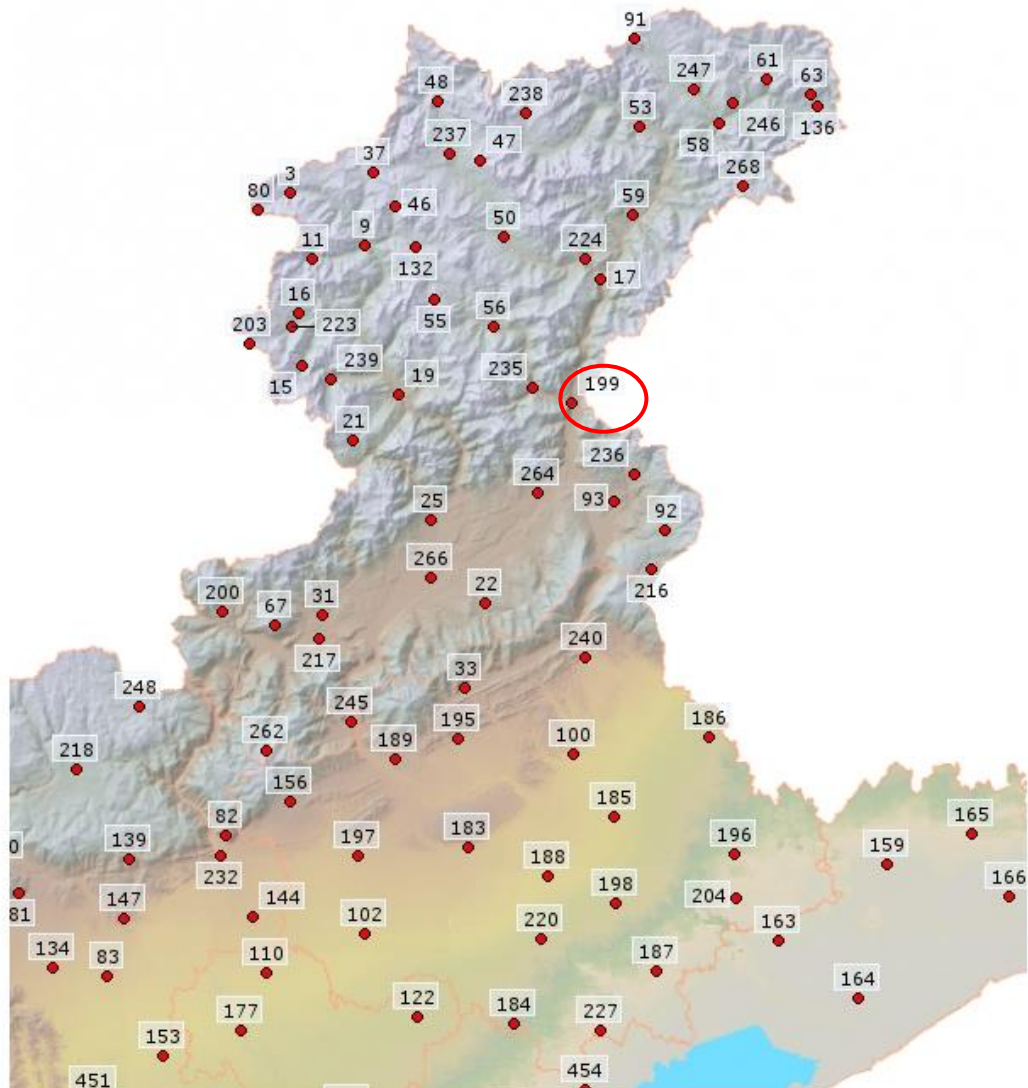


Figura 5-1 Carta delle stazioni pluviometriche (fonte: Arpa Veneto)

Per questa stazione, attiva dal 1991, si riportano in tabella i metadati relativi alla posizione geografica.

Tabella 5-3: Stazione Pluviometrica Longarone

Stazione	Longarone	
Quota	435	m s.l.m.
Coordinata X	1754615	Gauss-Boaga fuso Ovest (EPSG:3003)
Coordinata Y	5128434	
Comune	LONGARONE (BL)	

Di tale stazione si riporta in allegato le serie storiche delle altezze di pioggia massime annuali relative ad intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore. I dati di pioggia sono stati desunti dai bollettini storici dell'ARPAV- Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio – Servizio Meteorologico.

Ultimo anno di pubblicazione è stato il 2020. Nello specifico si sono consultati gli annali che vanno dall'anno 1992 all'anno 2020 per un totale di 29 anni di osservazioni. Le serie storiche desunte dagli annali idrologici 1992-2020 sono riportate nelle tabelle inserite in progetto. A partire da questi dati si sono calcolate le curve di possibilità pluviometriche per i diversi tempi di ritorno.

Le CPP (Curve di Possibilità Pluviometrica), caratteristiche per la stazione pluviometrica permettono di determinare per ogni durata dell'evento l'altezza di pioggia temibile. Esse sono state costruite sulla base dati di pioggia attualmente disponibili (sino al 2020), per tempi di ritorno T di piena ordinaria, pari a 5, 10 e 25 anni, e tempi di ritorno T più elevati, pari a 50, 100, 200 e 300 per poter definire al meglio il rischio idrogeologico seguendo le procedure del PAI. La distribuzione di probabilità di Gumbel adattata ai dati di pioggia trova vasta applicazione nel caso di serie di dati estremi.

Secondo Gumbel la funzione di distribuzione limite, ossia di distribuzione cumulata, CDF, definita per $x > 0$, è:

$$F_x(x) = \exp \left[- e^{-(x-v)/\alpha} \right]$$

La distribuzione Gumbel è una distribuzione biparametrica, dove il parametro di locazione v coincide con la moda della distribuzione, poiché $df(x)/dx=0$, mentre il parametro di scala α rappresenta una misura di dispersione. Entrambi i parametri si possono stimare con il metodo dei momenti, ossia eguagliando i momenti della popolazione a quelli del campione; in tal caso, essendo due i parametri da stimare, si sono eguagliati solo i momenti del primo (media) e del secondo ordine (varianza).

Per la distribuzione di Gumbel, applicando il metodo dei momenti, si sono calcolati α e v con le seguenti relazioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{s} \quad v = \bar{x} - \frac{0.5772}{\alpha}$$

Dove $\bar{x}$ e s sono rispettivamente pari a media e scarto quadratico medio della distribuzione per ogni durata, determinati con le seguenti formule:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{v=1}^N x_v}{N} \quad s = \frac{\sum_{v=1}^N (x_v - \bar{x})^2}{N-1}$$

Nell'applicare il metodo descritto, si sono considerati per la stazione pluviometrica di Longarone le piogge di massima intensità, per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore, nel periodo fino al 2020 (vedi Tabelle in Appendice). Si sono determinati i valori di media, scarto quadratico medio, α e v per ciascuna durata di pioggia. Fissati i tempi di ritorno per determinare la CPP, ovvero le altezze di precipitazione per le varie durate di pioggia ed in riferimento ai tempi di ritorno sono usate delle leggi teoriche (con espressione analitica nota) che ben si sono adattate alla curva empirica di distribuzione di probabilità costruita con i dati campionari qui usati. L'espressione analitica della legge di Gumbel in forma esplicita è:

$$h_{d,T} = v_d - (1/\alpha_d) * \ln [\ln (T / (T-1))]$$

Calcolati, α e v si sono ricavate le altezze di precipitazione per ogni tempo di ritorno ($T = 5, 10, 25, 50, 100, 200$ e 300 anni). Noti i quantili per le varie durate di pioggia si sono disposti questi valori su un diagramma (h, d). Si sono calcolati, allora, una serie di punti interpolabili da una curva con equazione del tipo:

$$h = a * d^n$$

che rappresenta la Curva di Probabilità Pluviometrica, per fissato tempo di ritorno. Questa curva fornisce, per fissato tempo di ritorno e per fissata durata, la massima altezza di pioggia complessiva dell'evento. Tuttavia, in genere la CPP si costruisce su scala logaritmica, ovvero i quantili sono regolarizzati tramite diagrammi del tipo ($\log h, \log d$), poiché dal grafico ottenuto si estrapolano la

pendenza della retta che corrisponde al valore di nT ed il valore dell'intercetta di cui si è fatto l'esponenziale, corrispondente ad aT . Qui di seguito si è scelto di riportare nel grafico le CPP solo per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni.

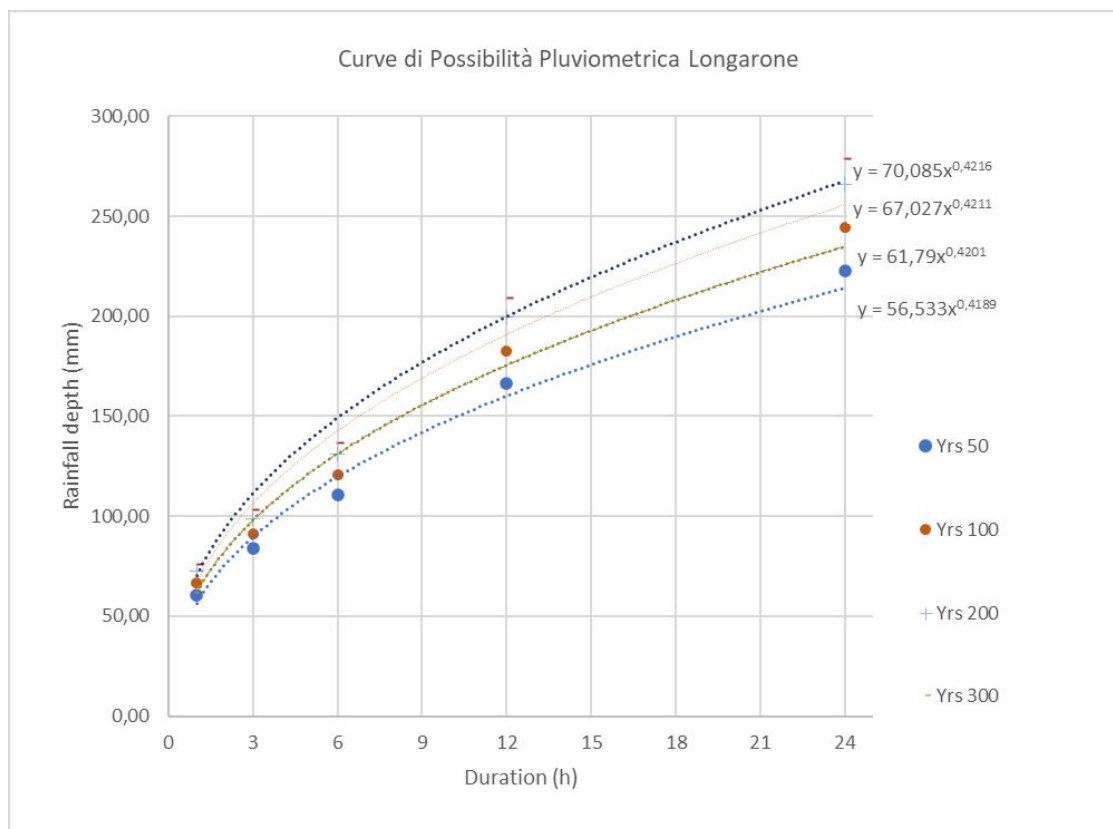


Figura 5-2 Curve di possibilità Pluviometrica della Stazione Longarone

Di seguito si riportano i parametri calcolati per tutti i tempi di ritorno.

Tabella 5-4: Parametri CPP

LONGARONE		
Tr	a	n
2	29,908	0,4063
5	38,447	0,4129
10	44,098	0,415
30	52,636	0,4179
50	56,533	0,42
100	61,79	0,42
200	67,027	0,4211
300	70,085	0,4216

LONGARONE		
Tr	a	n
500	73,935	0,422

L'analisi idrologica e idraulica si è quindi svolta a partire dalle informazioni delle stazioni pluviometriche. Tali risultati hanno permesso l'individuazione delle portate. Tali portate stimate sono state poi confrontate con le portate fornite dall'Autorità di distretto delle Alpi Orientali nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA). I tempi di ritorno di riferimento sono quelli adoperati nel PGRA: 30, 100 e 300 anni.

5.3 Sezioni di controllo di particolare interesse

L'analisi idrologica e idraulica si è focalizzata su alcune sezioni individuate nello studio come di particolare interesse, che sono elencate di seguito:

Denominazione Bacino	N° Bacino	Pk progetto	Area [km ²]	L asta [km]
Torrente Desedan	08	3+880	16,22	7,698
Maè	09	6+800	234,20	33,36

Tali sezioni idrografiche, anche in relazione a particolari situazioni di criticità documentate nell'analisi della situazione attuale, sono state indagate con maggior cura con l'ausilio del software Basement per un evento con tempo di ritorno di 200 anni, utilizzato nella successiva verifica della funzionalità idraulica delle opere in progetto, con la verifica dimensionale e del franco netto, sulle quali si riferirà in dettaglio nella relazione idraulica.

5.4 Uso del suolo e caratteristiche dei bacini nella stima della pioggia netta

Per quanto attiene l'uso del suolo, l'area territoriale oggetto dello studio è stata analizzata nel suo complesso, utilizzando la carta realizzata dalla Regione Veneto, Assessorato Territorio ed Ambiente, in scala 1:250.000 nel 2012 riportata nella Figura 5-3 e dell'aggiornamento in scala 1:10.000 del 2018.

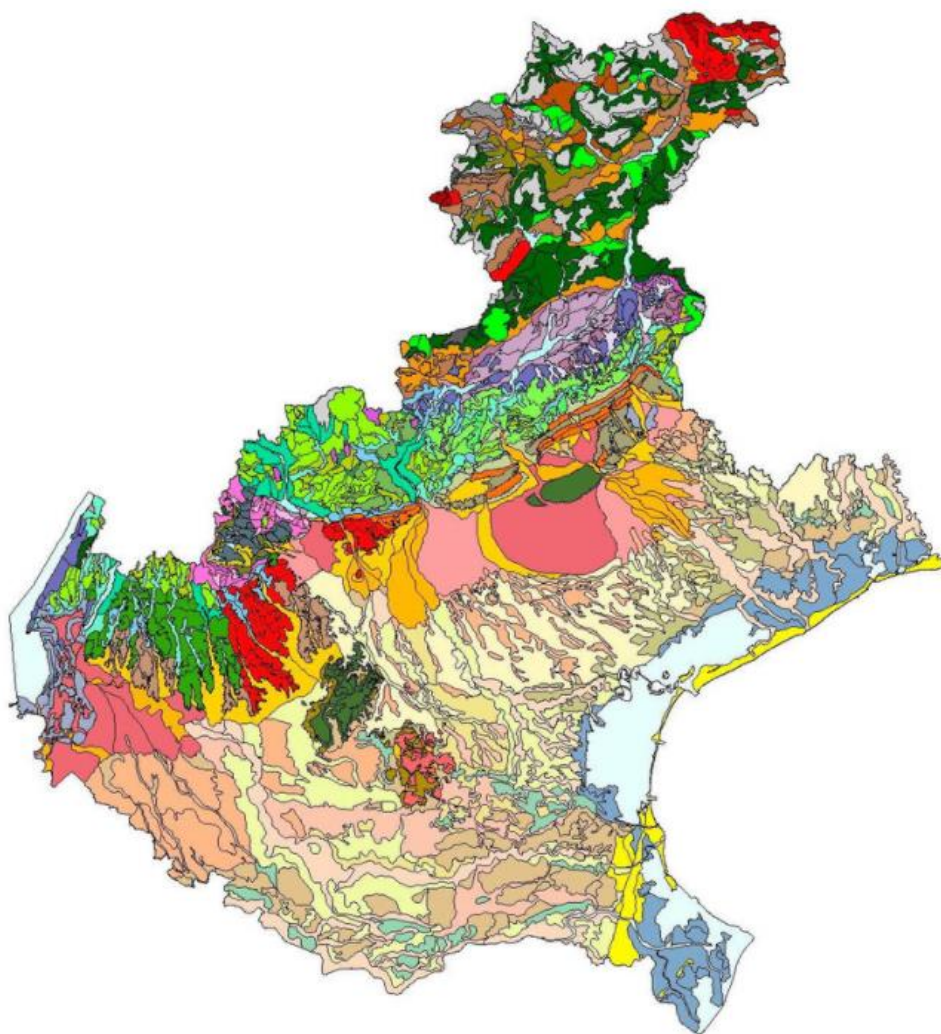


Figura 5-3 Carta Uso Suolo ARPAV

Il territorio attraversato dalla S.S.51 tra i le frazioni di Longarone e Castellavazzo è caratterizzato da boschi misti di conifere e latifoglie, faggete, frassineti, lariceti, abieteti e pascoli.

Significativa è, inoltre, la presenza di abeti, larici e pini montani uno dei sistemi più diffuso e di elevato valore paesaggistico, a volte consociato con boschi di latifoglie molto diffusa nei territori della provincia di Belluno, ubicati ad una altitudine che va dai 750 ai 2000 m s.l.m.

Una parte minore del territorio è dedicata al pascolo, mentre soltanto il 3,63% risulta urbanizzato.

5.5 Tempo di corrivazione dei bacini

Ai fini di un confronto critico, il tempo di corrivazione relativo a ciascun bacino idrografico indagato è stato calcolato scegliendo la formula più idonea, tra quelle disponibili in letteratura, a descrivere il comportamento del bacino oggetto dello studio. Si è scelto di suddividere i bacini, in funzione della loro estensione, in tre categorie:

- 1° Gruppo: bacini aventi superficie inferiore a 1,5 Km²;
- 2° Gruppo: bacini aventi superficie compresa 1,5 Km² < S < 20 Km²;
- 3° Gruppo: bacini aventi superficie maggiore di 20 Km².

Tra le formule presenti in letteratura si sono scelte quelle che in base all'estensione e alle caratteristiche del suolo approssimano meglio il comportamento del bacino.

Per i bacini del 1° Gruppo è stata scelta la formula di Kirpich

$$t_c = 0.000325 (L_p / i^{0.5}_a)^{0.77}$$

Per i bacini del 2° Gruppo è stata scelta la formula del SCS

$$t_c = 0.571 (100 L_p^{0.8} (1000/CN - 9)^{0.7} / (i_b^{0.5}))$$

Per l'unico bacino del 3° Gruppo sono stati scelti i tempi di corrivazione derivanti dagli idrogrammi di piena forniti dall'Autorità di distretto delle Alpi Orientali. Nello specifico per il Torrente Maè il tempo di corrivazione è stato posto pari a 12 ore.

Per tutte le formule precedenti si ha che:

t_c = tempo di corrivazione

A = area del bacino

L = lunghezza dell'asta principale

S_b = pendenza media del bacino

I_a = pendenza media dell'alveo

La stima del tempo di crescita dell'onda di piena è stata invece ricavata con la seguente formula: -

$$T_P = \frac{D}{2} + T_{lag}$$

Dove: D = durata della pioggia che genera deflusso [h] = 0.133 T_c

T_{lag} = intervallo tra il centroide della pioggia ed il colmo = 0.6 T_c

I valori del parametro di assorbimento CN sono stati ricavati secondo la metodologia elaborata dal CIMA (Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale, Savona) e in coordinamento della Protezione Civile Nazionale.

La carta del CN è costruita sulla base delle informazioni sull'uso del suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione. La procedura prevede inizialmente l'associazione a ogni tipologia di copertura del territorio di un valore di CN secondo la classificazione riportata nella seguente tabella.

Tabella 5-5 CN per tipologie di uso suolo

DESCRIZIONE	CN	DESCRIZIONE	CN
1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO		3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE	50
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95	31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95	31122 - SUGHERETE	65
1122 - FABBRICATI RURALI	95	31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50

VE407

Relazione Idrologica

DESCRIZIONE	CN	DESCRIZIONE	CN
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95	31124 – ALTRO	50
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95	3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95	3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95	313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	60
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99	321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95	3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
123 - AREE PORTUALI	95	3222 - FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	65
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95	3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
131 - AREE ESTRATTIVE	75	3232 – GARIGA	65
1321 – DISCARICHE	75	3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75	3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
133 – CANTIERI	95	3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
141 - AREE VERDI URBANE	70	3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95	3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75	3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
143 – CIMITERI	95	332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60	333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E<40%	75
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75	411 - PALUDI INTERNE	99
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60	421 - PALUDI SALMASTRE	99
2122 – RISAIE	99	422 – SALINE	75
2123 – VIVAI	70	423 - ZONE INTERTIDALI	99
2124 - COLTURE IN SERRA	75	5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99
221 – VIGNETI	60	5112 - CANALI E IDROVIE	99
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60	5121 - BACINI NATURALI	99
223 – OLIVETI	60	5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
231 - PRATI STABILI	75	5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60	5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	90	522 - ESTUARI E DELTA	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60	5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	99
242 - SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60	5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	70		
244 - AREE AGROFORESTALI	70		

Come indicato dalla metodologia CIMA - Protezione Civile Nazionale, si è proceduto ad analizzare le informazioni presenti nella Carta geologica, al fine di ottenere fattori correttivi per il calcolo definitivo dei valori di CN a scala regionale.

Ogni classe è stata indagata e, in considerazione degli aspetti geologici preminenti e delle caratteristiche di permeabilità proprie, sono stati stimati i coefficienti di variazione del CN da attribuire a ogni tipo litologico.

Infine, un ulteriore incremento del CN (che così definito nella procedura rappresenta condizioni medie di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento, AMCII) per tener conto per ogni sottobacino delle elevate condizioni di umidità antecedenti l'evento (condizione AMCI), oltre che di un fattore che tiene conto del substrato geologicamente impermeabile.

Nella tabella sottostante si riassumono i parametri ottenuti dall'elaborazione in ambiente GIS ed utilizzati per ogni bacino nella metodologia SCS.

Tabella 5-6 – Valori di CN per ciascun bacino

N°	A [km ²]	CN
1	0,56	85
2	8,09	70
3	0,36	89
4	0,42	87
5	0,63	70
6	0,49	77
7	0,66	69
8	16,22	78
9	234,20	80
10	1,99	75
11	0,80	68

VE407

Relazione Idrologica

N°	A [km ²]	CN
12	0,88	63
13	0,73	55
14	1,98	86
15	0,55	67
16	0,91	63
17	1,40	65

Qui di seguito sono riportati i tempi di corrivazione calcolati con le diverse formule sopracitate per ciascun bacino.

Tabella 5-7 - Tempi di corrivazione bacini idrografici

N°	A [km ²]	Kirpich	SCS	Da valutazione Distretto delle Alpi Orientali
1	0,56	0,027		
2	8,09		1,011	
3	0,36	0,018		
4	0,42	0,022		
5	0,63	0,083		
6	0,49	0,047		
7	0,66	0,075		
8	16,22		1,776	
9	234,20			12
10	1,99	0,054		
11	0,80	0,064		
12	0,88	0,111		
13	0,73	0,125		

N°	A [km²]	Kirpich	SCS	Da valutazione Distretto delle Alpi Orientali
14	1,98		0,216	
15	0,55	0,085		
16	0,91	0,107		
17	1,40	0,197		

6 METODO DI STIMA DELLE PORTATE AL COLMO

6.1 Criteri generali

Ai fini della modellazione idrologica, per poter fare un modello di trasformazione delle piogge in portate nelle sezioni di attraversamento del rilevato stradale delle aste principali, per differenti tempi di ritorno sono state utilizzate due metodologie per descrivere la trasformazione afflussi-deflussi:

- Il metodo del CN;
- Il metodo Razionale.

METODO CN è quello del Soil Conservation Service e consiste, in breve, nelle seguenti fasi:

- Calcolo del tempo di corrivazione;
- Calcolo dell'altezza di precipitazione per dati parametri a ed n per dato tempo di corrivazione e tempo di ritorno;
- Calcolo della Perdita di Volume di pioggia iniziale e Calcolo della capacità di ritenzione potenziale (entrambi funzione del Curve Number);
- Calcolo della pioggia netta e della portata di piena defluita.

METODO RAZIONALE consiste, in breve, nelle seguenti fasi:

- Calcolo del tempo di corrivazione del bacino;
- Calcolo dell'intensità di precipitazione i [mm/h] per dato tempo di corrivazione sulla curva di possibilità pluviometrica della zona omogenea d'interesse
- Calcolo della massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione;
- Calcolo della portata defluita mediante la formula razionale.

Nella tabella sottostante sono riportati tutti i valori dei parametri idrologici dei bacini utilizzati per il calcolo delle portate al colmo dei bacini sottesi alle sezioni in corrispondenza dell'interferenza con il nuovo asse stradale.

Tabella 6-1- Parametri idrologia dei bacini di progetto

N°	A [km ²]	L asta [km]	Coeff SCS	CN	r coeff ragg areale	T scelto [h]
1	0,39	0,04	0,58	85	0,91	0,027
2	8,09	4,39	0,24	70	0,92	1,011
3	0,31	0,02	0,61	89	0,91	0,018
4	0,35	0,34	0,59	87	0,91	0,022
5	0,53	1,28	0,40	70	0,92	0,083
6	0,44	0,82	0,53	77	0,91	0,048
7	0,58	0,05	0,52	69	0,91	0,075
8	16,22	7,69	0,31	69	0,92	1,776
9	234,20	33,36	0,68	80	0,99	12,000
10	1,99	0,75	0,58	75	0,91	0,054
11	0,80	0,90	0,74	68	0,90	0,063
12	0,88	1,54	0,43	63	0,92	0,111
13	0,73	1,80	0,62	60	0,92	0,125
14	1,98	2,22	0,26	86	0,91	0,216
15	0,55	1,19	0,49	67	0,92	0,084
16	0,91	1,50	0,46	63	0,91	0,107
17	1,40	0,4	0,25	65	0,92	0,197

La valutazione delle portate al colmo è stata effettuata sia mediante la metodologia del SCS sia mediante il metodo razionale.

6.2 Metodo SCS per la definizione delle portate al colmo

Tale trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena tiene conto delle perdite idrologiche, ovvero della frazione dell'altezza di pioggia che contribuisce al deflusso superficiale. La metodologia del CN, sviluppata dal Soil Conservation Service del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti parte dall'assunto che la precipitazione non contribuisce per intero alla formazione della portata/volume di piena, una parte di essa non raggiunge il reticolo idrografico superficiale: ciò è principalmente dovuto all'infiltrazione nel sottosuolo, all'immagazzinamento in porzioni depresse del terreno e alla ritenzione da parte della vegetazione, tutti fattori che riducono il quantitativo di acqua che raggiunge il reticolo superficiale.

La riduzione dipende da diversi fattori, quali il tipo di suolo, l'uso del suolo, la percentuale di saturazione del terreno. La pioggia netta che è la parte della pioggia ricavata con le curve di probabilità pluviometrica che raggiunge il reticolo idrografico superficiale e contribuisce alle portate di progetto. Per valutare la pioggia netta, si adotta il metodo del Curve Number, messo a punto dallo U.S. Soil Conservation Service (SCS) (SOIL CONSERVATION SERVICE, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.). Il metodo si basa sulla definizione del Curve Number CN, un parametro che descrive le condizioni del suolo (tipo, uso, saturazione).

Come input del sistema si sono adoperate le altezze di pioggia ottenute dai valori di a ed n ricavati dalle CPP aggiornate coi dati di pioggia fino al 2020 per la stazione Longarone. Infine i risultati ottenuti per i torrenti principali si sono confrontati con quelli forniti dall'Autorità di Distretto, della durata critica per il bacino nel suo complesso.

In definitiva, per calcolare le portate dei corsi d'acqua in corrispondenza delle sezioni interessate dal nuovo asse stradale, è stato seguito il seguente metodo:

- le precipitazioni sono state desunte mediante le CPP aggiornate ai dati del 2020.

A partire da questo input del sistema il bacino scolante è stato modellato alla stessa maniera attraverso i seguenti parametri:

- i tempi di corrivazione ~~vengono~~ sono stati valutati a partire dai parametri morfometrici definiti come specificato, secondo le espressioni empiriche più rispondenti alle tipologie dei bacini in esame, come indicato nella tabella sopra riportata;
- i coefficienti di deflusso derivano dall'analisi secondo il metodo SCS Curve Number, raffrontato con i dati disponibili da studi pregressi e da eventuali misure idrologiche relative a eventi di piena storici.

Per valutare la pioggia netta è indispensabile definire il Curve Number CN, un parametro che descrive le condizioni del suolo (tipo, uso, saturazione).

L'altezza di pioggia netta è stata determinate mediante la seguente espressione:

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

dove:

- h_e (mm) è l'altezza di pioggia netta corrispondente alla durata t considerata;
- P (mm) è la pioggia realmente caduta nel medesimo intervallo di tempo;
- I_a (mm) rappresenta le perdite iniziali;
- S (mm) è la capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm), descrive il volume di pioggia potenzialmente trattenuto date le condizioni del suolo (tipologia, uso, copertura vegetale, saturazione)
- Il parametro S è stato calcolato mediante la seguente relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Le perdite iniziali (I_a) tengono conto di tutte quelle aliquote di pioggia che vengono intercettate dalle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno. Il parametro I_a dipende da S tramite la seguente relazione (raccomandata dal SCS per l'ambiente agrario statunitense):

$$I_a = 0.2 \times S$$

I parametri CN e S sono correlati: la capacità idrica massima del suolo (S) varia teoricamente da 0 a infinito e con tale equazione si ottiene un campo di variazione del parametro CN, compreso tra 0 e 100. Il parametro CN esprime le condizioni, dal punto di vista della formazione del deflusso, del complesso suolo-soprassuolo considerate le condizioni di umidità nei cinque giorni antecedenti l'evento di piena.

In altri termini riassume l'attitudine propria e specifica del bacino a produrre deflusso. Con valori di CN uguali o prossimi allo 0, si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna" cioè viene assorbita e trattenuta la totalità o quasi della precipitazione. Con valori di CN uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente o quasi in deflusso creando l'evento di piena. Tale situazione si verifica per la precipitazione che direttamente cade nella rete idrografica o nei pressi della stessa. L'acqua è infatti assimilabile ad una superficie impermeabile dove l'afflusso si trasforma istantaneamente in deflusso. Per i valori del CN per diverse tipologie di suolo e di uso del medesimo si rimanda alla tabella 5-5.

Nell'utilizzazione del metodo si è assunta una pioggia di durata pari a quella della pioggia critica, che è stata assunta coincidente con il tempo di corrivazione calcolato come detto.

In queste condizioni il valore al colmo della portata risulta:

$$Q_c = 0.208 \cdot h_e \cdot A / T_c$$

dove:

h_e = altezza netta di pioggia per unità di superficie (mm);

A = superficie del bacino (km²);

T_c = tempo di corrivazione (h).

Qui di seguito vengono riportati nelle tabelle i parametri utilizzati per valutare le portate al colmo e le portate calcolate.

Dati usati per metodologia VAPI SCS Tr=200						
NOME	ID	Area [km ²]	$h_{t,Tr=200}$	$S_{max\ invaso}$	coeff SCS	Q
0+210	1	0,39	140.9	44,82	0,58	8,05
Vallone dei Frari	2	8,09	146.1	108,86	0,24	33,61
1+520	3	0,31	161.3	31,39	0,61	5,65
2+100	4	0,35	140.6	37,95	0,59	6,21
2+350	5	0,53	136.8	108,86	0,4	6,1
2+640	6	0,44	124.2	75,87	0,53	6,47
2+840	7	0,58	124.3	114,12	0,52	8,32
Torrente Desedan	8	16,22	134.6	114,12	0,31	63,04
Maè	9	234,20	106.2	63,5	0,68	797,36
8+280	10	1,99	111.4	84,67	0,58	26,9
8+840	11	0,80	92.3	119,53	0,74	14,25
9+150	12	0,88	97.6	149,17	0,43	8,95
9+840	13	0,73	92.3	207,82	0,62	10,69
9+980	14	1,98	89.9	41,35	0,26	3,16
10+180	15	0,55	91.7	125,1	0,49	6,56
10+620	16	0,91	101.0	149,17	0,46	9,97
11+150	17	1,40	90.6	136,8	0,25	3,02

6.3 Metodo Razionale per la definizione delle portate al colmo

La seconda metodologia utilizza la formula razionale che consente la valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno. In questa metodologia hanno particolare importanza i parametri che tengono conto della regionalizzazione e permettono di spiegare il comportamento di un dato bacino descrivendone le caratteristiche morfologiche, tessiturali e di copertura vegetale.

L'ultimo parametro da valutare è Φ per il quale esistono delle apposite tabelle.

Raccolti tutti questi dati si è passati alla valutazione delle portate al colmo con la seguente formula:

$$Q = \frac{\phi \cdot h_{tc,T} \cdot S}{3,6 \cdot t_c}$$

In cui:

Q=portata di deflusso [m³/s];

ϕ = Coefficiente di deflusso della Formula razionale [-];

$h_{tc,Tr}$ = Altezza di pioggia critica per data Tr [mm];

S = Superficie del bacino [m²];

t_c = Tempo di corrivazione [h];

3.6 = Fattore di conversione

Qui di seguito si riportano in tabella i valori dei parametri utilizzati per il calcolo e i risultati di portata ottenuti per ogni bacino di progetto.

Tabella 6-2 - *Dati riepilogativi per il calcolo delle portate al colmo con la formula Razionale*

Dati Bacino			Metodo Razionale		
N°	A [km ²]	Pk	ht, Tr=200	ϕ coeff SCS	Q
1	0,39	0+210	2,40	0,58	8,14
2	8,09	0+820	67,32	0,22	32,58
3	0,31	1+520	1,64	0,61	5,71
4	0,35	2+100	2,01	0,59	6,25
5	0,53	2+350	6,94	0,40	5,92
6	0,44	2+640	4,14	0,54	6,34
7	0,58	2+840	6,32	0,52	8,12
8	16,22	4+000	85,31	0,28	61,26
9	234,20	6+800	190,33	0,69	709,39
10	1,99	8+280	4,67	0,59	28,11
11	0,80	8+840	5,40	0,74	14,09
12	0,88	9+150	9,17	0,43	8,70
13	0,73	9+840	10,24	0,62	10,28
14	1,98	9+980	17,12	0,07	3,09
15	0,55	10+180	7,06	0,49	6,34
16	0,91	10+620	8,82	0,46	9,72
17	1,40	11+150	15,66	0,09	2,92

6.4 Sintesi dei risultati

Nella tabella che segue si riporta la sintesi dei valori di calcolo delle portate T_r 200 anni, con i diversi metodi sopra enunciati, per le varie sezioni dei bacini considerati

Dati Bacino			$Q_{T_r=200}$	
N°	A [km ²]	Pk	$Q_{\text{razionale}}$	Q_{scs}
1	0,56	0+210	8,14	8,05
2	8,09	0+820	32,58	33,61
3	0,36	1+520	5,71	5,65
4	0,42	2+100	6,25	6,21
5	0,63	2+350	5,92	6,10
6	0,49	2+640	6,34	6,47
7	0,66	2+840	8,12	8,32
8	16,22	4+000	61,26	63,04
9	234,20	6+800	709,39	797,36
10	1,99	8+280	28,11	26,90
11	0,80	8+840	14,09	14,25
12	0,88	9+150	8,70	8,95
13	0,73	9+840	10,28	10,69
14	1,98	9+980	3,09	3,16
15	0,55	10+180	6,34	6,56
16	0,91	10+620	9,72	9,97
17	1,40	11+150	2,92	3,02

7 ANALISI DEI RISULTATI IDROLOGICI

Determinate le portate come sopra, nel caso dei bacini minori si è deciso di utilizzare i valori più cautelativi e cioè i valori maggiori di portata come da tabella che segue

Tabella 7-1- *Riepilogo portate di progetto per i bacini*

N°	Pk	A [km ²]	L asta [km]	Q progetto
01	0+210	0,39	0,406	8,14
02	0+820	8,09	4,398	33,61
03	1+520	0,31	0,2	5,71
04	2+100	0,35	0,314	6,25
05	2+350	0,53	1,176	6,10
06	2+640	0,44	0,662	6,47
07	2+840	0,58	0,848	8,32
08	4+000	16,22	7,698	63,04
09	6+800	234,20	33,36	797,36
10	8+280	1,99	0,75	28,11
11	8+840	0,80	0,9	14,25
12	9+150	0,88	1,54	8,95
13	9+840	0,73	1,8	10,69
14	9+980	1,98	2,22	3,16
15	10+180	0,55	1,19	6,56
16	10+620	0,91	1,5	9,97
17	11+150	1,40	0,4	3,02

8 APPENDICE - DATI DI PIOGGIA STAZIONE PLUVIOMETRICA LONGARONE

	Massimi nell'anno				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Anno					
1992	29,2	34,2	48	87	111,8
1993	30	50,4	62	92,8	102
1994	24,6	40,8	51,4	90	111,2
1995	39	57	57,4	58	58,2
1996	16,6	38,6	54,8	94,4	132,6
1997	33,2	35,4	48	78,6	116,2
1998	44,2	47,6	52,2	72	95,8
1999	26,2	51,4	57	77,6	105,6
2000	43,2	63,6	77	81,8	125,2
2001	17,8	26,4	39,6	64,8	110,8
2002	24,2	55,8	71	93,8	118,2
2003	33,4	48,6	61,6	71,4	111,4
2004	25,8	38	48,4	56,2	73,4
2005	29,2	40,6	48	67	108
2006	24	40	70,4	89	94
2007	25,6	39,8	43,4	55,4	97
2008	31,2	37,8	42,8	57,6	91,6
2009	42,8	45,6	60	90,2	125,4
2010	18,8	25,2	41,6	62,6	108,6
2011	35,8	40,8	51,4	85,2	118,8
2012	36,6	42,8	69,8	116,6	153,8
2013	30	53,8	61,2	86,8	133,2
2014	49	62,8	73	79,2	110,6
2016	68	76,8	76,8	80,4	89,2
2017	43,4	67,6	74,2	108,6	150,2
2018	31,2	79,2	121	182	208,4
2019	30,4	37,4	55	91	110,6
2020	36,6	63,4	109,6	179,4	268,2

<https://www.arpa.veneto.it/>

http://pai.adbve.it/index_PA14B.html

<http://www.pcn.minambiente.it/>