

Nuova S.S.195 "Sulcitana" Tratto Cagliari - Pula  
Collegamento con la S.S.130 e aeroporto di Cagliari Elmas  
Opera Connessa Nord

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTAZIONE: RTI GPI-IRD-SAIM-HYPRO

<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Paolo Orsini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 13817</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> <p><i>Ing. Vincenzo Secreti</i> Ordine Ingegneri Provincia di Crotone n. 412</p>	<p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE (Mandatario)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p><b>IRD</b> IRD ENGINEERING</p> <p><b>SAIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p><b>HYpro</b> srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Michele Coghe</i></p>	<p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>

IDROLOGIA E IDRAULICA  
IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> LIV. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> ANNO <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>	T00ID01IDRRE01_A		
	CODICE ELAB. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">T</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</span>	
D			
C			
B			
A	Emissione	Giugno '23	MALCOTTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO
		VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1. <u>PREMESSA</u></b> .....	<b>2</b>
1.1. DESCRIZIONE SINTETICA DEL TRACCIATO STRADALE.....	5
<b>2. <u>RIFERIMENTI NORMATIVI</u></b> .....	<b>7</b>
2.1. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....	7
2.2. PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI.....	10
2.3. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA).....	11
<b>3. <u>ANALISI IDROLOGICA</u></b> .....	<b>13</b>
3.1. CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA DEL BACINO.....	13
3.2. METODI DI STIMA DELLE PORTATE AL COLMO.....	14
3.2.1. <i>Criteria generali</i> .....	15
3.2.2. <i>Metodo razionale scs per la definizione delle portate al colmo</i> .....	16
3.2.3. <i>Aggiornamento delle curve di possibilità pluviometriche per durata d&gt;1 ora</i> .....	32
3.2.4. <i>Parametri per durate &lt; 1 ora</i> .....	42
3.2.5. <i>Determinazione delle portate</i> .....	44
<b>4. <u>SINTESI DEI RISULTATI IDROLOGICI</u></b> .....	<b>46</b>

## 1. PREMESSA

L'intervento in oggetto rientra nel più ampio progetto di realizzazione della nuova "SS195 "Sulcitana" di collegamento tra Cagliari e Pula, in provincia di Cagliari (CA), finalizzata a meglio raccordare l'area del Sulcis con la strada statale SS130 e l'aeroporto di Cagliari Elmas.

Il Lotto, denominato "Opera Connessa Nord", ricade nei comuni di Assemmini e Capoterra e funge da collegamento funzionale tra la provinciale SP2 e il Lotto denominato "Opera Connessa SUD" (in fase di costruzione) in corrispondenza dello svincolo Inceneritore-Dorsale Casic, ripercorrendo in parte la strada Dorsale Casic in località Macchiareddu.

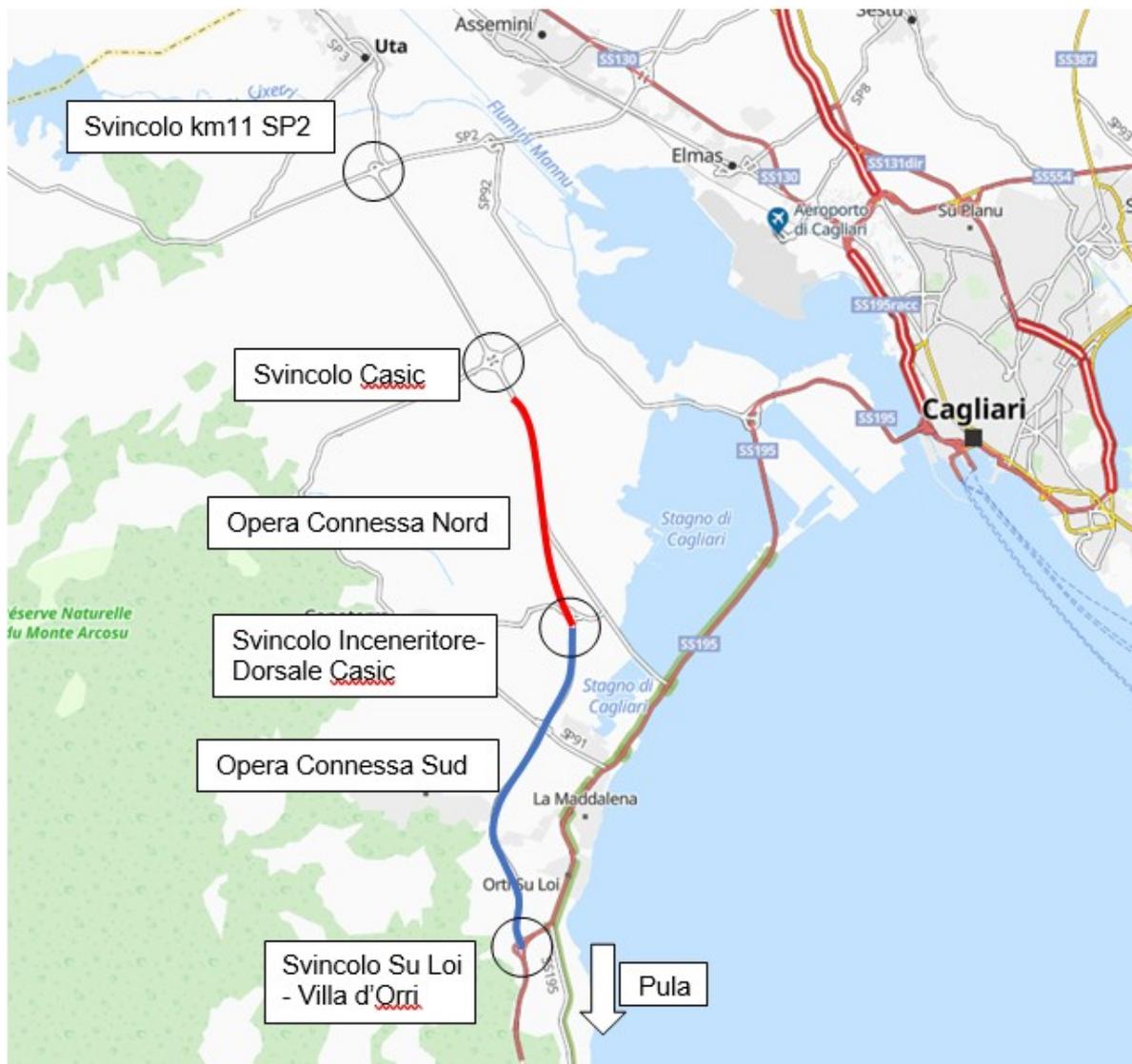


Fig. 1 Corografia di inquadramento: in rosso il Lotto in oggetto

PROGETTAZIONE ATI:

Lo studio svolto nella presente relazione è finalizzato all'analisi idrologica delle interferenze che genera il tracciato stradale col reticolo idrografico e alle successive verifiche sia degli attraversamenti idraulici che del sistema di drenaggio delle acque di piattaforma.

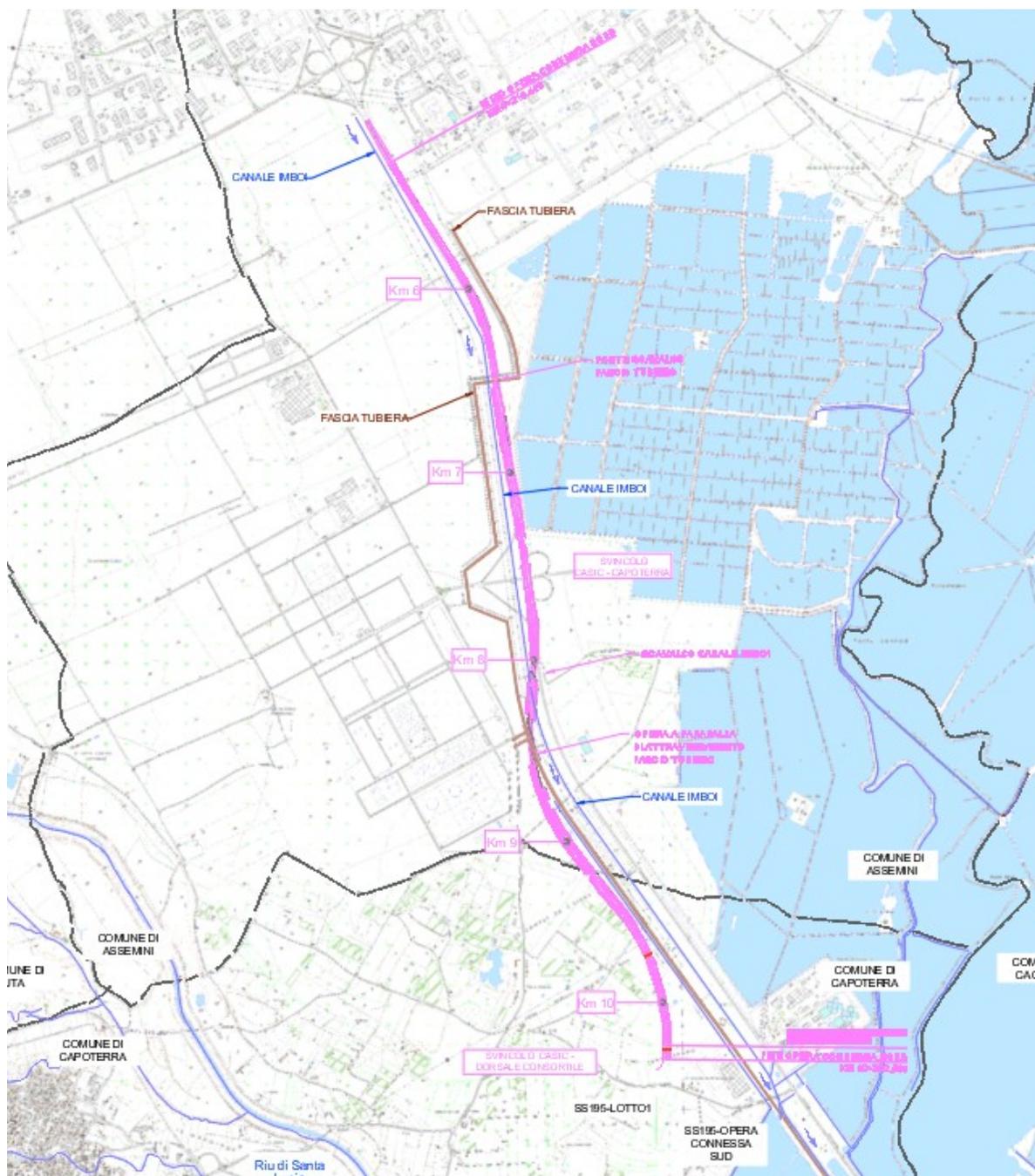


Fig. 2 Tracciato di progetto e reticolo idrografico

PROGETTAZIONE ATI:

L'inquadramento normativo connesso alle attività idrologiche ed idrauliche consente di poter delimitare i vincoli attorno ai quali costruire/inserire il progetto. Nel quadro complessivo, si pone particolare attenzione alle norme definite dal Distretto Idrografico Sardegna (PAI e Direttiva Alluvioni), nonché alle norme tecniche delle costruzioni NTC2018.

L'attività idrologica sviluppata è coerente con gli approcci regionali e nazionali, e tiene conto, mediante opportune assunzioni, delle necessarie cautele che gli eventi alluvionali meteorici impongono.

L'attività ha previsto la preliminare definizione del reticolo idrografico: il reticolo è quello ufficiale acquisito direttamente dalla Regione, assunto a riferimento per tutti gli studi idraulici sul territorio regionale sardo.

Sulla scorta di tale reticolo, insieme ad una analisi cartografica di dettaglio, sono state codificate tutte le interferenze principali e secondarie (compluvi), così come descritto nella tavola "Planimetria delle interferenze idrografiche".

Dalla consultazione del Piano di Assetto Idrogeologico e Piano Gestione Rischio Alluvioni, risulta che un tratto della strada statale già esistente ricade all'interno di pericolosità idraulica mappata nel piano (vedasi a tal proposito tavola "PAI" negli elaborati grafici del presente progetto).

L'analisi idrologica determina le portate al colmo di piena nelle sezioni di attraversamento dei corsi d'acqua lungo il percorso stradale per i tempi di ritorno di riferimento del progetto. La stima delle portate è stata elaborata con riferimento ai metodi regionali sviluppati secondo le Linee Guida Metodologiche di PAI e PSFF "Piano Stralcio Fasce Fluviali" regionali.

Sono n.3 in particolare i bacini analizzati:

- n. 1 corso d'acqua principale, il Canale Imboi, identificato da B.01 a B.03 per sottosezioni di calcolo idraulico e approfondito successivamente mediante modellistica idraulica numerica in modalità bidimensionale;
- n. 2 compluvi (C.01 e C.02), che NON hanno un reticolo idrografico associato e che saranno analizzati mediante verifiche idrauliche semplificate.

## 1.1. DESCRIZIONE SINTETICA DEL TRACCIATO STRADALE

Le caratteristiche stradali del nuovo collegamento sono quelle di una strada di categoria B "STRADA EXTRAURBANA PRINCIPALE" costituita da due carreggiate da 9,75m con spartitraffico centrale.

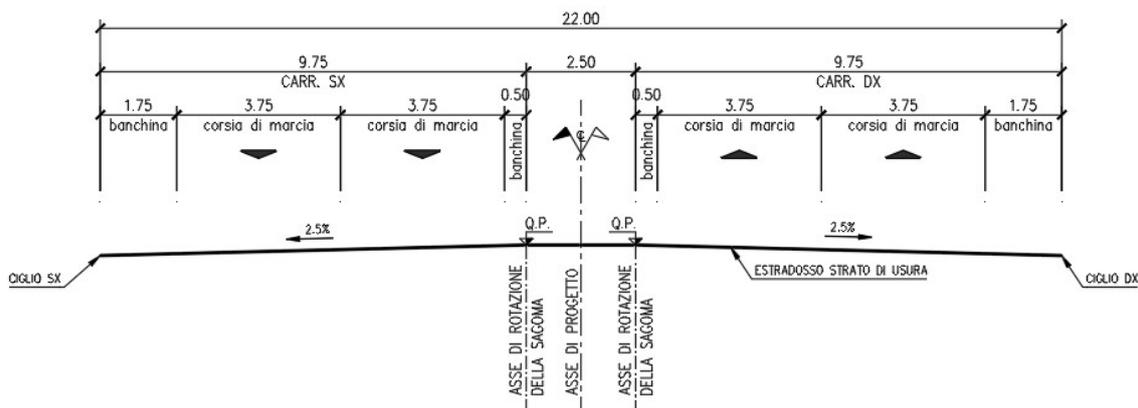


Fig. 3 Schema di strada Cat. B

Il tracciato prevede:

- l'adeguamento ad una sezione tipo B DM2001 di circa 5km di strada esistente;
- l'adeguamento dello svincolo Casic-Capoterra;
- la realizzazione sull'asse principale di un ponte/cavalcavia "a farfalla" per l'attraversamento della Fascia Tubiera Casic alla pk 8+336;
- di un cavalcavia sullo svincolo Casic-Capoterra;
- di n.4 ponti per l'attraversamento del Canale Imboi e la realizzazione di un sottopasso.

In termini planimetrici si prevede:

- un primo tratto in sovrapposizione alla consortile, sino allo svincolo CASIC;
- curva verso destra per superare il Canale Imboi;

PROGETTAZIONE ATI:

- flesso tra canale Imboi e fascia tubiera, con curva verso sinistra per affiancarsi alla fascia tubiera stessa;
- nuovo flesso e successiva curva verso destra per allinearsi al Lotto Opera Connessa Sud.

In termini di profilo altimetrico il tracciato presenta:

- due vertici di massimo, entrambi presso gli scavalchi della fascia tubiera;
- tre vertici di minimo: all'inizio, presso lo svincolo CASIC e alla fine del tracciato.

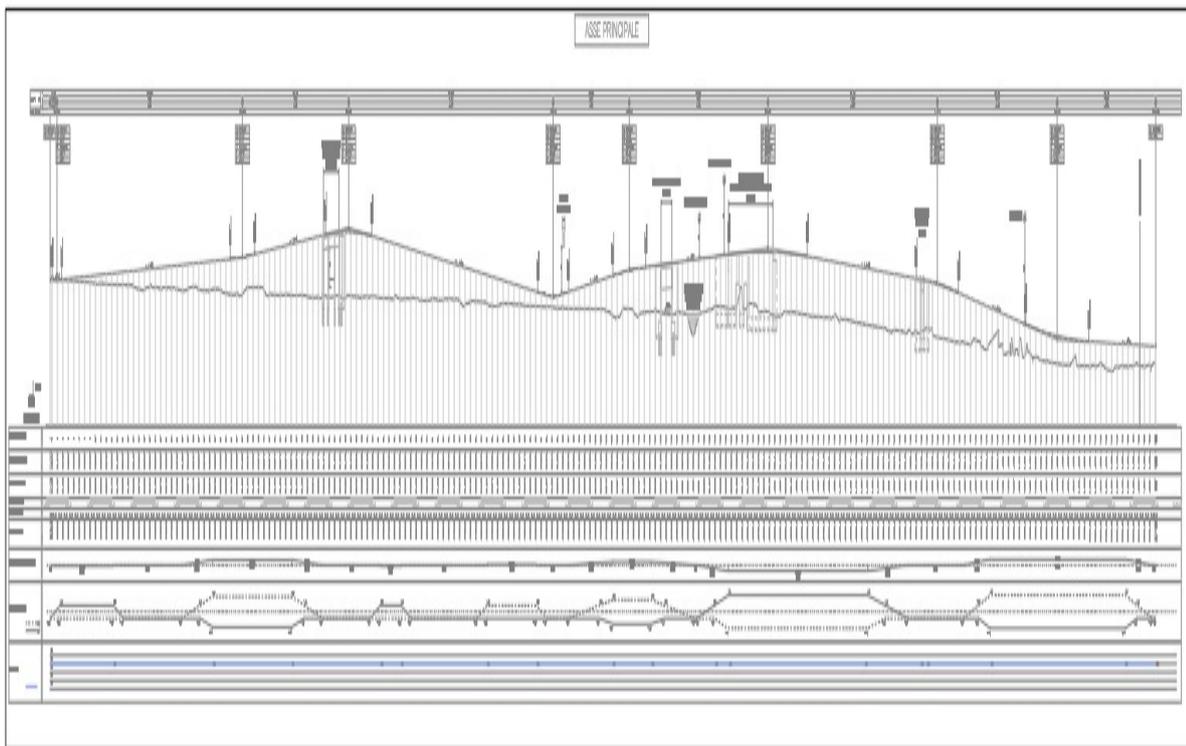


Fig. 4 Schema di Profilo longitudinale

PROGETTAZIONE ATI:

## 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.
- D.lqs. 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"
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617. C.S.LL.PP.
- NTC2018 Norme Tecniche per le Costruzioni
- N.T.A. e Linee Guida del Piano Stralcio per l'Assetto Idrologico
- Direttive per la manutenzione degli alvei e la gestione dei sedimenti approvate dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino regionale della Sardegna con Delibera n°22 del 1° agosto 2012
- Piano Stralcio Fasce Fluviali
- Piano di Gestione del Rischio di alluvioni (approvato con delibera C.I. n. 2 del 19/02/2019 e ultimo aggiornamento con delibera C.I. n.1 del 16/06/2020)

A seguire un dettaglio più specifico inerente ai Piani idraulici di settore.

### 2.1. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione. Il PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale. Il PAI è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici.

Il PAI ha definito pericolosità idraulica e rischio non a livello estensivo sul reticolo principale e secondario ma solo in tronchi potenzialmente critici ai fini dello smaltimento della portata di piena, individuati secondo le metodologie descritte nelle Linee Guida allegate alla Relazione generale di piano.

PROGETTAZIONE ATI:

In tali tratti sono state definite quattro classi di pericolosità idraulica corrispondenti a tempi di ritorno crescenti, come descritto nella tabella seguente.

**Tab. 1 PAI classi di pericolosità idraulica (Hi)**

Pericolosità		Frequenza (1/T)	Periodo di ritorno (T anni)
H <sub>1</sub>	bassa	0.002	500
H <sub>2</sub>	moderata	0.005	200
H <sub>3</sub>	alta	0.010	100
H <sub>4</sub>	molto alta	0.020	50

In corrispondenza di tali tratti critici sono quindi stati definiti gli elementi a rischio (E) di essere colpiti da eventi calamitosi; tali elementi sono stati suddivisi in coerenza con la normativa vigente, secondo le seguenti classi:

**Tab. 2 PAI classi elementi a rischio (E)**

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree escluse dalle definizioni E2, E3 ed E4. Zona boschiva. Zone di protezione ambientale con vincolo estensivo (p.e. vincolo Galasso). Zone falesie costiere con possibilità di frequentazione.	0,25
E2	Zona agricola generica. Infrastrutture puntuali per le telecomunicazioni. Zone di protezione ambientale con vincolo specifico ma non puntuale (p.e. parchi, riserve...).	0,50
E3	Infrastrutture pubbliche (altre infrastrutture viarie e fondo artificiale, ferrovie, oleodotti, elettrodotti, acquedotti, bacini artificiali). Zone per impianti tecnologici e discariche di R.S.U. ed assimilabili, zone di cava e zone minerarie attive e non, discariche minerarie di residui di trattamento, zona discarica per inerti. Beni naturali protetti e non, beni archeologici. Zona agricola irrigua o ad alta produttività, colture strategiche e colture protette. Specchi d'acqua con aree d'acquacoltura intensiva ed estensiva. Zona di protezione ambientale puntuale (monumenti naturali e assimilabili).	0,75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità; nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane poco abitate; edifici sparsi; nuclei urbani non densamente popolati; aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori);  Zona discarica rifiuti speciali o tossico nocivi. Zona impianti industriali ad elevato rischio potenziale. Aree di intensa frequentazione turistica. Beni architettonici, storici e artistici. Infrastrutture pubbliche strategiche (strade statali). Porti vari, aeroporti, stazioni.	1

In questo modo, posta cautelativamente la Vulnerabilità pari a 1, è stato possibile definire le diverse classi di rischio secondo l'usuale formula:

$$R_i = H_i \cdot E \cdot V$$

Le classi di rischio adottate nel PAI conformi alla normativa in materia sono descritte in Tab. 3 PAI classi di rischio idraulico (Ri).

Tab. 3 PAI classi di rischio idraulico (Ri)

Rischio idraulico			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R <sub>11</sub>	Moderato	≤ 0,002	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R <sub>12</sub>	Medio	≤ 0,005	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R <sub>13</sub>	Elevato	≤ 0,01	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 rilevanti al patrimonio ambientale
R <sub>14</sub>	Molto elevato	≤ 0,02	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche

Il canale Imboi è interessato in parte dal PAI Pericolosità idraulica, in corrispondenza dello svincolo Capoterra – Casic alla progressiva 7+200 circa dell'opera connessa nord, dove si palesa una relazione con aree a pericolosità bassa (H<sub>11</sub>).

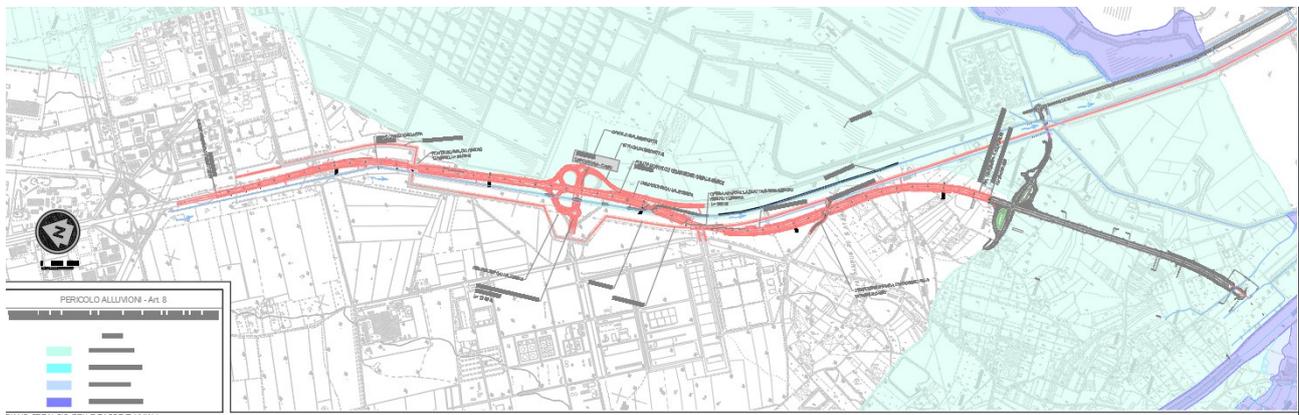


Fig. 5 Pericolo idraulico: area interessata la zona dello svincolo CASIC.

La perimetrazione presente negli elaborati è stata acquisita direttamente dal sito del Distretto Idrografico della Regione Sardegna. Per la loro visualizzazione, si veda la tavola dedicata.

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.2. PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6, della legge n. 183 del 19 maggio 1989, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, adottato in via definitiva nel 2015, ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

L'approccio metodologico all'attività di delimitazione delle Fasce Fluviali ha seguito le indicazioni delle Linee Guida per la Redazione del PSFF; il differente livello di approfondimento del quadro conoscitivo definito per i corsi d'acqua principali, dove sono state condotte analisi geomorfologiche, idrologiche e idrauliche di dettaglio, rispetto a quello gli affluenti secondari (dove non sono state condotte verifiche idrauliche delle modalità di deflusso in corso di piena) ha suggerito due differenti criteri di tracciamento delle fasce fluviali.

Sui corsi d'acqua principali sono state individuate cinque fasce:

- fascia A\_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- fascia A\_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- fascia B\_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- fascia B\_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;

PROGETTAZIONE ATI:

- fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica (inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

Sui corsi d'acqua secondari è stata definita la fascia C o area di inondazione per piena catastrofica che, tracciata con criteri geomorfologici, rappresenta la regione fluviale potenzialmente oggetto di inondazione nel corso delle piene caratterizzate da un elevato tempo di ritorno (500 anni) e comunque di eccezionale gravità.

Nel tratto di intervento il canale Imboi è interessato dal PSFF prettamente nel tratto vallivo del corso d'acqua: la fascia C è in realtà afferente all'ampia perimetrazione della laguna di S.Gilla in cui affluiscono sia il fiume Cixerri che il Flumini Mannu, oltre che la laguna del rio Santa Lucia.

La perimetrazione presente negli elaborati è stata acquisita direttamente dal sito del Distretto Idrografico della Regione Sardegna. Per la loro visualizzazione, si veda la tavola dedicata.

### 2.3. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

In data 30 marzo 2016 è stato approvato con delibera del C.I. n. 1 il Piano Gestione del Rischio Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna, secondo la Direttiva 2007/60/CE e il D.Lgs. 49/2010, predisposto al fine degli adempimenti previsti dal comma 3 dell'art. 14, della Direttiva medesima.

Con delibera del C.I. n. 1 del 16 giugno 2020, il 29 settembre 2020 sono state aggiornate e semplificate alcune procedure relative al PGRA.

La Direttiva Alluvioni 2007/60/CE stabilisce che le mappe di pericolosità mostrino l'area geografica che può essere inondata in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- a) scarsa probabilità o scenari di eventi estremi;
- b) media probabilità di alluvioni (tempo di ritorno  $\geq 100$  anni);
- c) elevata probabilità di alluvioni.

In corrispondenza di ciascuno scenario, è compito degli stati membri fornire le informazioni sull'estensione delle alluvioni e sulla profondità o livello delle acque e dove opportuno sulle velocità del flusso o sulle portate.

Agli stati membri è, dunque, consentita una flessibilità nell'assegnazione dei valori di probabilità d'inondazione ai diversi scenari. A tale proposito il D.Lgs. 49/2010, attuativo della Direttiva Alluvioni, stabilisce che siano da considerarsi scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 20 e 50 anni, mentre sono da considerarsi scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 100 e 200 anni. Ne consegue che siano da considerarsi scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi, quelli corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni.

Per quanto riguarda le alluvioni di origine fluviale, la Regione autonoma della Sardegna, ha utilizzato per le modellazioni i seguenti tempi di ritorno:

- $TR < 50$  anni;
- $50 < TR < 100$  anni;
- $100 < TR < 200$ .

Le aree caratterizzate da pericolosità idraulica secondo il Piano Gestione del Rischio Alluvioni non interessano il canale Imboi e nemmeno l'opera connessa nord per la sua intera estensione. A tal riguardo, si rimanda agli elaborati grafici dedicati per la loro visualizzazione.

### 3. ANALISI IDROLOGICA

#### 3.1. CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA DEL BACINO

L'individuazione del reticolo idrografico e la caratterizzazione fisiografica dei bacini è stata condotta in conformità a:

- Tavole I.G.M. alla scala 1:25.000;
- Reticolo idrografico ufficiale della Regione Autonoma della Sardegna;
- DTM, di maglia 1 x 1 m;
- Rilievo celerimetrico appositamente realizzato per il presente progetto.

La perimetrazione dei bacini è stata limitata ai soli corsi d'acqua interferenti con le opere in progetto congiuntamente ai fossi realizzati per il drenaggio delle acque superficiali afferenti all'opera in progetto che vedono la sezione di chiusura in corrispondenza dei compluvi. Per ciascun bacino individuato, sono state determinate:

- Superficie del bacino  $A$  [km<sup>2</sup>], attraverso elaborazione GIS;
- Altitudine massima  $H_{max}$  [m.s.l.m.], altitudine media  $H_{mean}$  [m.s.l.m.], altitudine minima (altitudine sezione di chiusura)  $H_{min}$  [m.s.l.m.], attraverso un'elaborazione di analisi statistica in GIS (valore medio, minimo e massimo) sulle quote altimetriche delle celle del DTM racchiuse all'interno del perimetro di ciascun bacino idrografico analizzato;
- Pendenza media del bacino  $SL$  [m/m]: attraverso elaborazione GIS, analizzando le pendenze medie delle celle del modello digitale ricadenti all'interno del bacino in questione;
- Lunghezza dell'asta  $L$  [km]: rappresentando digitalmente il corso d'acqua e stimandone la lunghezza in GIS.

Le caratteristiche fisiografiche dei principali bacini individuati sono illustrate in Tab. 4.

La delimitazione dei bacini, effettuata su base cartografica CTR 1: 10.000, è riportata nei relativi elaborati grafici (Corografia), assieme alle interferenze tra reticolo idrografico e gli interventi in progetto.

PROGETTAZIONE ATI:

Tab. 4 Caratteristiche fisiografiche e morfometriche dei bacini.

BACINO ID	A [km <sup>2</sup> ]	H			L [km]	SL %
		min [m s.l.m.]	max [m s.l.m.]	mean [m s.l.m.]		
IMBOI - B.01	4.0	9	40	22	4.2	3.0
IMBOI - B.02	8.7	6	45	22	5.8	4.0
IMBOI - B.03	12.5	2	45	19	7.0	4.0
C.01	0.5	5	15	7	1.6	0.6
C.02	0.5	3	14	7	1.6	0.6

### 3.2. METODI DI STIMA DELLE PORTATE AL COLMO

### 3.2.1. CRITERI GENERALI

Sono state valutate le portate al colmo per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 e 500 anni, sulla base di quanto indicato nelle "Linee guida per l'attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia".

Viene fatto riferimento, per i bacini con superficie superiore ai 60 km<sup>2</sup>, al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, riportato nelle sopraccitate Linee guida e descritto in dettaglio nella "Valutazione delle piene in Sardegna" (Cao C., Piga E., Salis M., Sechi G.M. Rapporto Regionale Sardegna, CNR-GNDCI, LINEA 1, Istituto di Idraulica, Università di Cagliari, 1991). Per i bacini con superficie inferiore ai 60 km<sup>2</sup>, si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale.

Come si evince dalla precedente tabella i bacini minori afferenti al fosso e al canale hanno superfici inferiori a 60 km<sup>2</sup>, pertanto, si è proceduto alla determinazione delle portate mediante il metodo razionale.

PROGETTAZIONE ATI:

### 3.2.2. METODO RAZIONALE SCS PER LA DEFINIZIONE DELLE PORTATE AL COLMO

In riferimento alla formula Razionale, la portata di piena è espressa come prodotto tra l'intensità di precipitazione ( $i$ ) di assegnata durata e tempo di ritorno ( $Tr$ ), il coefficiente di assorbimento ( $\Phi$ ), la superficie del bacino ( $A$ ) e il coefficiente di laminazione  $\varepsilon(t)$ :

$$Q = i [\Theta_c, Tr, r(\Theta_c, A)] \cdot \Phi \cdot A \cdot \varepsilon(\Theta_c)$$

dove con  $\Theta_c$  si è indicato il valore di durata critica, mentre  $r(\Theta_c, A)$ , rappresenta il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata  $\Theta_c$  e della superficie del bacino  $A$ .

#### Durata critica: tempo di corrivazione e di formazione

La durata di pioggia critica ( $\Theta_c$ ) è assunta pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale ( $t_f$ ) e del tempo di corrivazione ( $t_c$ ).

Il tempo di corrivazione ( $t_c$ ) è ottenuto con la formula del Soil Conservation Service:

$$t_c = \frac{100 \cdot L^{0.8}}{1900 \cdot i_v^{0.5}} \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [minuti]}$$

Dove:

$i_v$  = pendenza media del bacino (di versante) [%];

$L$  = lunghezza dell'asta [ft] (piedi).

In ore, la stessa formula è usualmente espressa come:

$$t_c = 1.67 \cdot 2.587 \cdot \frac{L^{0.8}}{1900 \cdot i_v^{0.5}} \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [ore]}$$

Dove:

$i_v$  = pendenza media del bacino (di versante, non dell'asta fluviale) [%];

$L$  = lunghezza dell'asta [m].

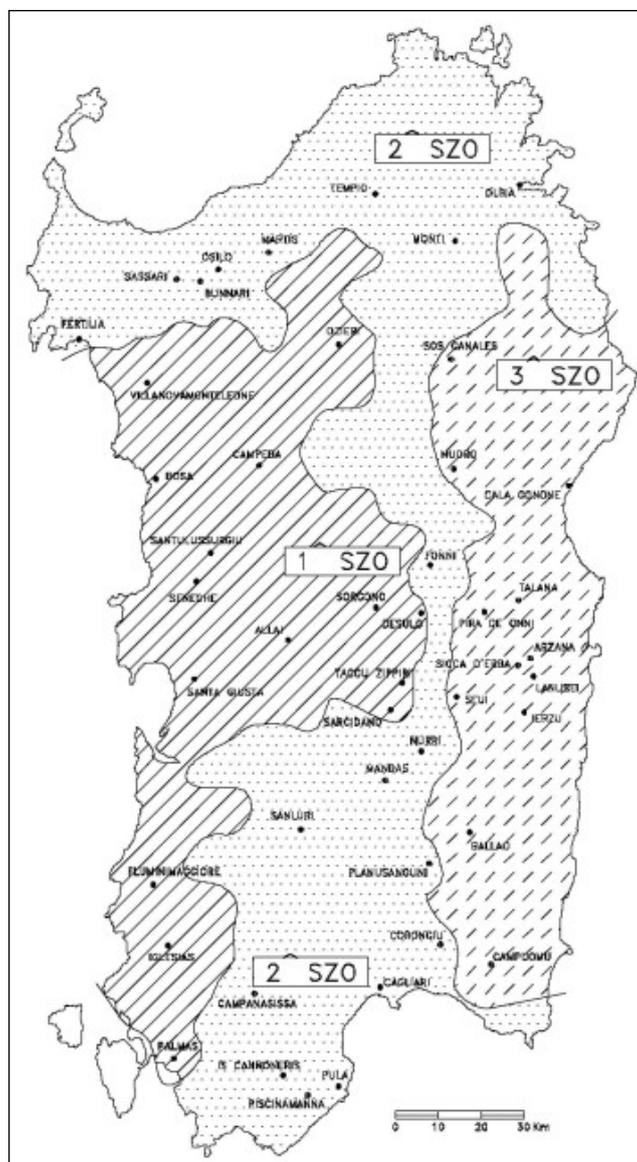
Il tempo di formazione del deflusso ( $t_f$ ) esprime il tempo di formazione del deflusso superficiale prima che inizi a scorrere sul bacino e dipende dalla capacità di assorbimento del suolo e dall'intensità e durata della pioggia lorda. La sua determinazione avviene in modo iterativo. Per i bacini di piccole dimensioni, come i seguenti, si è verificato che tale tempo non sia mai superiore al

PROGETTAZIONE ATI:

50% del tempo di corrivazione, valore che è stato assunto per la sua stima sistematica in tale analisi.

Altezze di pioggia: curve segnalatrici di possibilità pluviometrica in Sardegna

Per la definizione delle precipitazioni si segue l'analisi regionale sulle precipitazioni brevi ed intense riportate nel progetto "VAPI Sardegna". La procedura individuata definisce innanzitutto la sottozona omogenea SZO della Regione Sardegna di appartenenza del bacino in esame, secondo la divisione riportata in figura seguente (Fig. 6 Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna).



**Fig. 6** Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna

PROGETTAZIONE ATI:

La pioggia indice  $\mu(t)$  di durata  $\tau$  (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata  $\tau$ ) può essere espressa in forma monomia:

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{n_1}$$

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{n_1})$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \text{Log}_{10} \mu_g$$

La pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  viene stimata sulla base della carta delle isoiete (Fig. 7).

PROGETTAZIONE ATI:

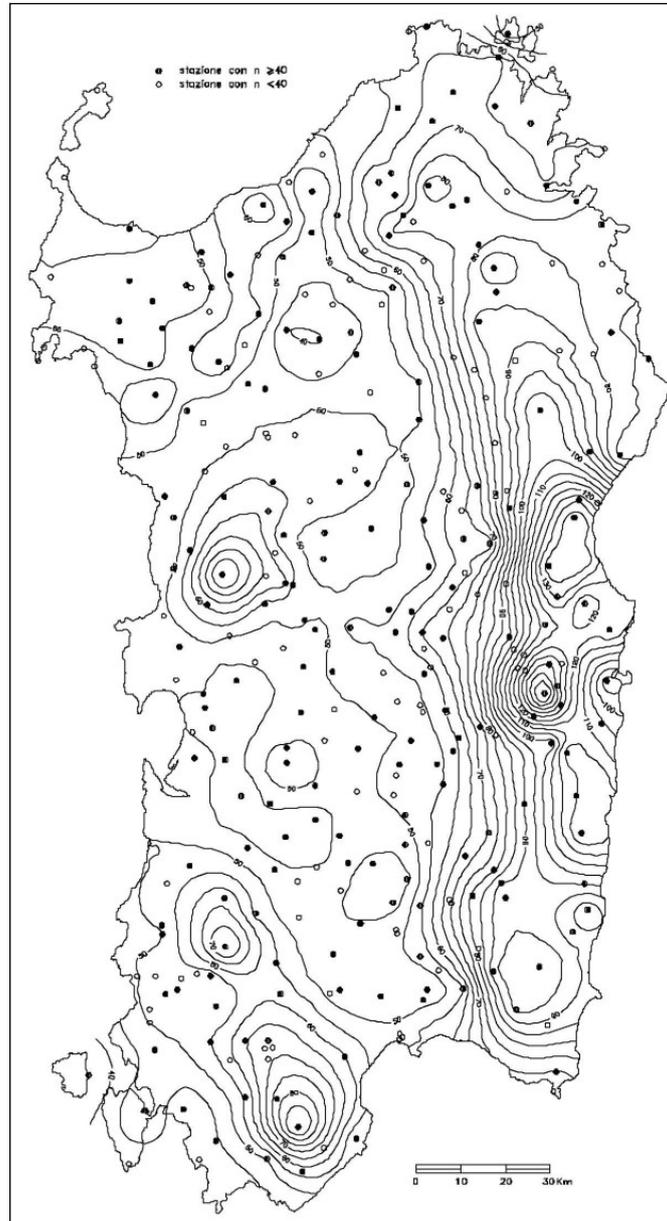


Fig. 7 Carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  (mm)

L'altezza di pioggia  $hT(\tau)$  di durata generica  $\tau$  con assegnato tempo di ritorno  $T$  in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice  $\mu(\tau)$  per un coefficiente di crescita  $KT(\tau) = a_2 \tau^{n_2}$ :

$$hT(\tau) = \mu(\tau) KT(\tau) = (a_1 a_2) \tau^{(n_1 + n_2)}$$

Dove i coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona, per differenti  $T$  e  $\tau$ .

PROGETTAZIONE ATI:

Per tempi di ritorno  $T > 10$  ANNI:

- SZO 1

$$a_2 = 0.46378 + 1.0386 * \text{Log}_{10}(T)$$

$$n_2 = -0.18449 + 0.23032 * \text{Log}_{10}(T) - 3.3330 * 10^{-2} * \text{Log}_{10}(T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -1.0563 * 10^{-2} - 7.9034 * 10^{-3} * \text{Log}_{10}(T) \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

- SZO 2

$$a_2 = 0.44182 + 1.0817 * \text{Log}_{10}(T)$$

$$n_2 = -0.18676 + 0.24310 * \text{Log}_{10}(T) - 3.5453 * 10^{-2} * \text{Log}_{10}(T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -5.6593 * 10^{-3} - 4.0872 * 10^{-3} * \text{Log}_{10}(T) \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

- SZO 3

$$a_2 = 0.41273 + 1.1370 * \text{Log}_{10}(T)$$

$$n_2 = -0.19055 + 0.25937 * \text{Log}_{10}(T) - 3.8160 * 10^{-2} * \text{Log}_{10}(T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = 1.5878 * 10^{-2} + 7.6250 * 10^{-3} * \text{Log}_{10}(T) \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

Nota la durata critica, le formule permettono di calcolare l'altezza di pioggia lorda.

### Altezze di pioggia ragguagliata ( $h_r$ )

La pioggia ottenuta, calcolata per la durata critica  $\Theta_c$  di ogni bacino, viene ragguagliata all'area tramite il parametro  $r$ , secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) \Theta_c^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) \Theta_c^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A > 20 \text{ km}^2$$

dove:

- $\Theta_c$  = durata critica della precipitazione;
- $A$  = superficie del bacino [ $\text{km}^2$ ].

Altezze di pioggia nette ( $h_N$ )

Il valore del coefficiente di afflusso è stato calcolato con il metodo SCS-Curve Number che permette di ricavare la pioggia netta  $h_N$  in base all'espressione:

$$h_N = (h_r (\theta) - 0,2 S)^2 / (h_r (\theta) + 0,8 S) \text{ [mm]}$$

Dove:

- $h_r$  = precipitazione meteorica ragguagliata [mm];
- $S$  = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione [mm].

Il valore  $S$  è stato calcolato mediante l'equazione:

$$S = 254 * ((100/CN)-1) \text{ [mm]}$$

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

La carta CN è costruita sulla base delle informazioni sull'uso suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione. La procedura prevede inizialmente l'associazione ad ogni tipologia di copertura del territorio di un valore di CN secondo la classificazione riportata in Tab. 5.

**Tab. 5 Valori di Curve Number in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo**

Descrizione	CN
1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	95
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95
1122 - FABBRICATI RURALI	95
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95
123 - AREE PORTUALI	95
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95
131 - AREE ESTRATTIVE	75
1321 - DISCARICHE	75

PROGETTAZIONE ATI:

Descrizione	CN
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75
133 – CANTIERI	95
141 - AREE VERDI URBANE	70
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75
143 – CIMITERI	95
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60
2122 – RISAIE	99
2123 – VIVAI	70
2124 - COLTURE IN SERRA	75
221 – VIGNETI	60
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60
223 – OLIVETI	60
231 - PRATI STABILI	75
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60
242 - SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	70
244 - AREE AGROFORESTALI	70
3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE	50
31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
31122 – SUGHERETE	65
31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50
31124 – ALTRO	50
3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	60
321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
3222 - FORMAZIONI DI RIPANON ARBOREE	65
3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
3232 – GARIGA	65

PROGETTAZIONE ATI:

Descrizione	CN
3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E< 40%	75
411 - PALUDI INTERNE	99
421 - PALUDI SALMASTRE	99
422 - SALINE	75
423 - ZONE INTERTIDALI	99
5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99
5112 - CANALI E IDROVIE	99
5121 - BACINI NATURALI	99
5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
522 - ESTUARI E DELTA	99
5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	99
5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99

La carta tematica costruita utilizzando le informazioni riportate sopra restituisce una visione d'insieme delle diverse risposte del suolo secondo l'immagine sotto riportata (Fig. 8).

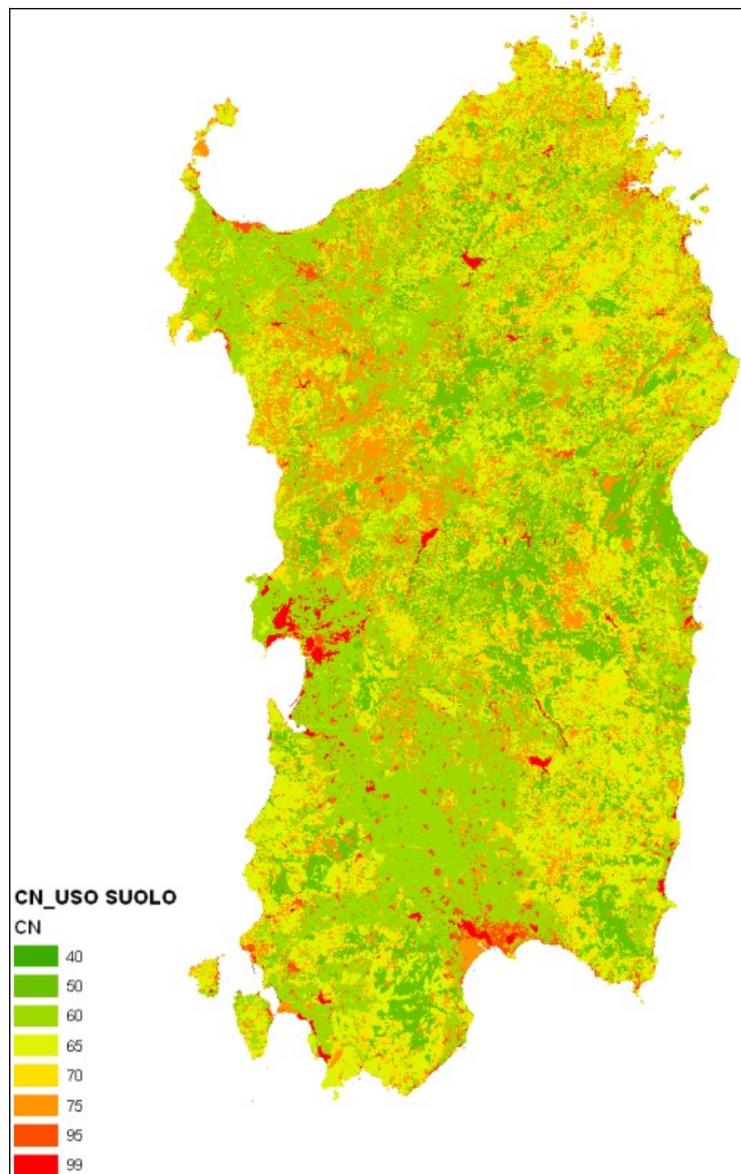


Fig. 8 Carta del CN in funzione del solo Uso Suolo, sulla base dei dati Carta CORINE

Successivamente, così 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 (Fig. 9).

PROGETTAZIONE ATI:

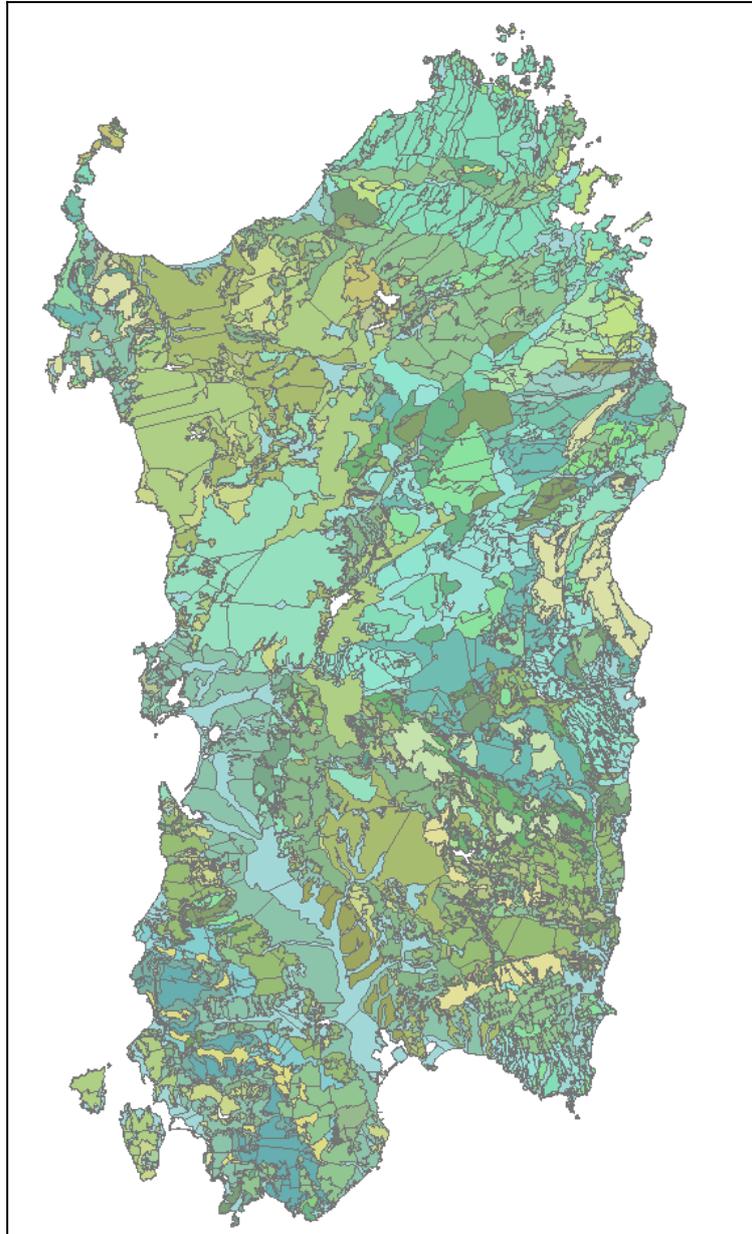


Fig. 9 Carta geologica della Sardegna

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 ad ogni tipo litologico.

I coefficienti di variazione del Curve Number sono stato assunti nell'intervallo di valori (- 5, +15); un coefficiente di variazione pari a -5 è tipico dei terreni incoerenti ad elevata capacità di infiltrazione: ne sono un esempio i depositi detritici, come il tipo "Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di

PROGETTAZIONE ATI:

origine alluvionale, eolica e litorale”; al contrario un valore del coefficiente di variazione pari a +15 è proprio delle rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili, come il tipo “Metarioliti e Metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; quarziti, metarenarie, metaconglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti,metagrovacche. (Ordoviciano medio)”.

La tavola dei fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA-Protezione Civile Nazionale, è riportata in forma completa in (Tab. 6).

**Tab. 6 Assegnazione dei fattori correttivi al Curve Number per caratteristiche geologiche da attribuire, per sovrapposizione, ad ogni tipo litologico**

DESCRIZIONE	ΔCN
Alternanza di metarenarie, quarziti e filladi (47b). Metarenarie e filladi a bt (47a). Successioni terrigene prevalentemente attribuite al Cambriano-Ordoviciano inf. e subordinatamente all'Ordoviciano sup. e al Devoniano-Carbonifero inf.)	5
Alternanza di quarziti, metarenarie, metapeliti e metasiltiti, metaconglomerati e brecce; olistoliti e olistostromi della successione siluro-devoniana. (Carbonifero inf.)	10
Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità tholeiitica e calcalcalina, talora brecciati in colate, cupole di ristagno; lave andesitiche e dacitiche in cupole e filoni; andesiti, basalti andesitici e latiti ad affinità da calcalcalina a	10
Anfiboliti con relitti di paragenesi eclogitiche. (Precambriano)	15
Anfiboliti e anfiboliti ultramafiche con relitti di paragenesi granulitiche. (Precambriano)	15
Arenarie di San Vito e Formazione di Solanas: metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati, con piste ed impronte di Meduse e Acritarchi; nella parte alta metapeliti viola, nere e verdastre, quarziti e metaconglomerati	10
Arenarie eoliche wurmiane (2c); Conglomerati, arenarie e biocalcareni di spiaggia (2b); Conglomerati, sabbie, argille più o meno cementate (2a).	0
Arenarie marnose, siltiti, calcareniti sublitorali (9d). (Serravalliano med.- sup.)Marne e marne arenacee epibatiali (9c).(Langhiano med. -sup.-Serravalliano inf.) Marne arenacee e siltose,arenarie,conglomerati, calcareniti e sabbie silicee sublitoral	10
Argille rosso violacee, arenarie quarzoso-micacee e conglomerati di piana alluvionale, con intercalazioni di calcari silicizzati. (Permiano sup.-Trias medio p.p) Conglomerati, arenarie, brecce vulcaniche, calcari con selci lacustri e lenti di antra	10
Basalti alcalini e transizionali, trachibasalti, andesiti basaltiche e basalti subalcalini,intercalati, alla base, da depositi di tipo fluvio lacustri (5b). (Pliocene-Pleistocene) Trachiti, trachiti fonolitiche, fonoliti, fonoliti tefritiche e tefriti	10
Conglomerati a matrice argillosa e arenarie di derivazione alluvionale (8d). Calcarivacuolari e brecciati sopratidali e intertidali; calcari microcristallini di ambiente evaporitico,marne e calcari organogeni sublitorali (8c). (Messiniano)Calcari e ar	0
Conglomerati e arenarie continentali con banchi di selce, tuffiti, tufi pomicei (10f). (Burdigagliano)Arenarie, conglomerati, tuffiti più o meno arenacee, calcari sublitorali (10e) Calcari selciosi, siltiti, arenarie e conglomerati fluviali con interca	0
Conglomerati, arenarie ed argille derivanti dallo smantellamento di sedimentimiocenici (Formazione di Samassi) (3b); Sabbie carbonatiche e siltiti argillose (3a).	0

PROGETTAZIONE ATI:

DESCRIZIONE	ΔCN
Conglomerati, arenarie marnose, marne e calcareniti sublitorali (Plioc. inf.)	0
Dolomie, dolomie marnose e marne con gessi e argille. (Trias sup) Depositi carbonatici di piattaforma: calcari dolomitici e dolomie arenacee, calcari e calcari marnosi con rare intercalazioni gessose, circolitorali e transizionali. (Trias medio)	10
Filoni a composizione prevalentemente basaltica e comenditica. (Oligocene sup.- Miocene inf. medio)	10
Filoni a composizione trachibasaltica, alcalibasaltica e hawaistica. (Pliocene-Pleistocene)	10
Filoni principali di porfidi granitici e ammassi di micrograniti, principali filoni aplitici e pegmatitiche. (Carbonifero sup.- Permiano)	10
Filoni principali di quarzo. (Carbonifero sup. Permiano)	10
Formazione di Cabitza: argilloscisti, metarenarie, metacalcari nodulari, metasiltiti con rare lenti calcaree. (Cambriano inf.-Ordoviciano)	10
Formazione di Dorgali: dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circa litorali; conglomerati, arenarie quarzose, siltiti ed argille fluvio-deltizi con livelli lignitiferi (Dogger-Malm)	5
Formazione di Gonnese (Metallifero Auct.): metacalcari e metadolomie; metadolomie e metacalcari stromatolitici. (Cambriano inf.)	5
Formazione di Nebida (Formazione delle Arenarie Auct.): metarenarie a cemento carbonatico, metadolomie, metacalcari oolitici e micritici; arenarie siltose con rare intercalazioni di calcari (63c). (Cambriano inf.) Filladi e metarenarie, talvolta con i	10
Formazione di Serra Tonnai: metavulcaniti intermedie o raramente basiche, metagrovacche vulcaniche; Formazione di Manixeddu: metaepiclastiti, metaconglomerati a prevalenti elementi di vulcaniti acide. Formazione di M.te Corte Cerbos: metarioliti, metac	5
Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale.	-5
Granitoidi a crd. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granitoidi foliati, principalmente granodioriti tonalitiche fino a tonaliti. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti tonalitiche. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti, monzogranitiche equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti, monzogranitiche inequigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Leucograniti a grt. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Leucograniti equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Marmi grigi, raramente dolomitici, con alternanze filladiche, localmente fossiliferi. (Devoniano)	5
Metacalcari nodulari. (Devoniano) Metacalcari a graptoliti. (Siluriano-Devoniano inf.)	10
Metacalcari nodulari; sottili alternanze di metacalcari e metasiltiti (49b). (Devoniano inf. medio-Tournaisiano inf.) Marmi talvolta dolomitici e calcescisti (49a). (Devoniano- Carbonifero inf.)	10
Metaconglomerati, metarcosi, metesiltiti, metagrovacche, con intercalazioni di metabasiti alcaline; metacalcareniti e metacalcari fossiliferi spesso silicizzati. (Caradoc-Ashgill)	10
Metagabbri alcalini (45b). (Carbonifero inf.) Filladi scure carboniose, metasiltiti, quarziti nere con rare e sottili intercalazioni di marmi (45a). (Devoniano)	10
Metapeliti scure carboniose, nella parte inferiore livelli di quarziti nere a graptoliti; nelle partesuperiore metacalcari	5

PROGETTAZIONE ATI:

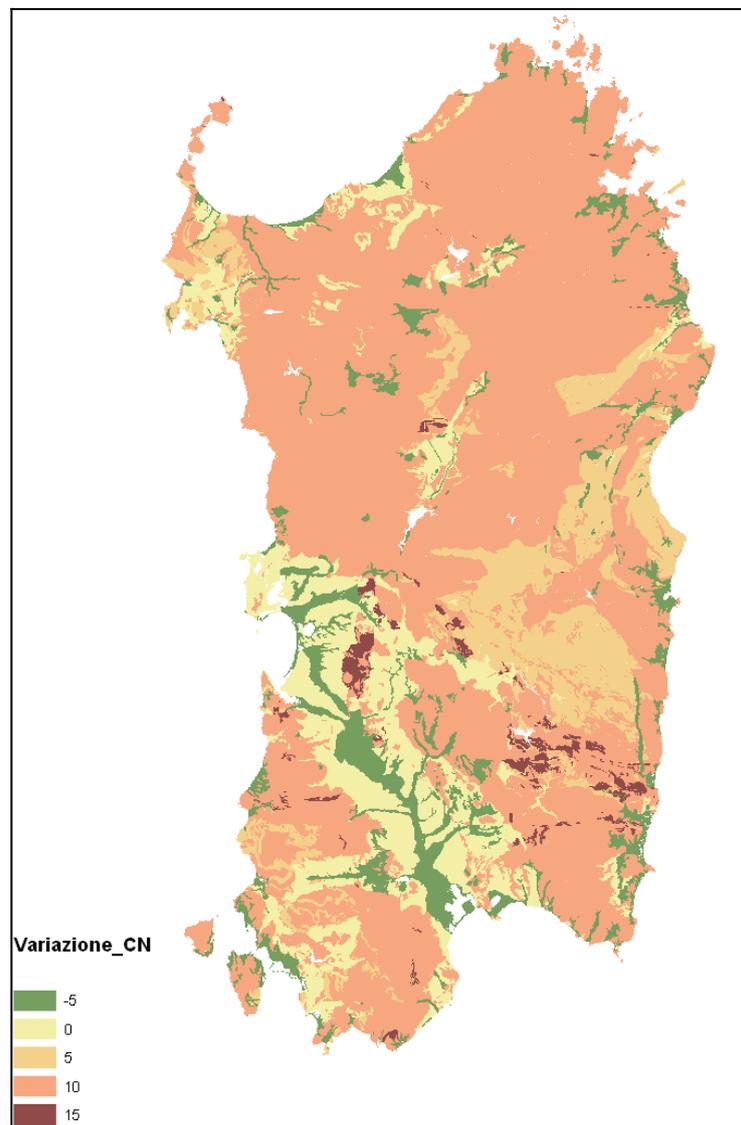
DESCRIZIONE	ΔCN
nodulari. (Siluriano inf.-Devoniano inf.)	
Metapeliti scure carboniose; nella parte inferiore quarziti nere a graptoliti. (Siluriano inf.)	15
Metarenarie , quarziti, filladi, metacglomerati ad elementi di liditi, olistoliti e olistostromi della successione siluro-devoniana e ordoviciana, e metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow.(Carbonifero inf.)	10
Metarioliti e metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; alla base sono presentiquarziti, metarenarie, metaconglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti,metagrovacche. (Ordoviciano medio)	15
Metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufi; metaconglomerati con olistoliti di calcari e dolomie cambriani, metasiltiti e metarenarie rosso-violacee di piana da alluvionale a costiera. (Caradoc-Ashgill)	10
Metavulcaniti acide, intermedie e basiche e metaepiclastiti. (Ordoviciano medio)	10
Micascisti e paragneiss a grt+/-oligoclasio. (Paleozoico)	10
Migmatiti leucocratiche, nebuliti, magmatiti, gneiss, talora con lenti a silicati di calcio. (Precambriano)	10
Monzograniti equigranulari (28b). Monzograniti inequigranulari (28a). (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Ortogneiss granodioritici e granitici. (Ordoviciano medio)	10
Ortogneiss granodioritici e monzogranitici. (Precambriano)	10
Ortogneiss granodioritici. (Ordoviciano medio)	15
Paragneiss, micascisti a grt+/-st+/-ky e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia, miloniti di variabile grado metamorfico tra la facies anfibolitica e quella degli scisti verdi. (Paleo-zoico)	10
Paragneiss, micascisti e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia con sovraimprontati alta temperatura. (Paleozoico)	10
Porfidi grigi: metariodaciti e metadaciti massive, spesso porfiriche, metatufi e metatufiti; metavulcaniti riolitiche metatufiti e metaepiclastiti; metaconglomerati poligenici grossolani, con clasti di metarioliti. (Ordoviciano medio)	15
Principali corpi filoniani a composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcareo-calcalina e subordinatamente shoshonitica. (Carbonifero sup.- Permiano)	10
Rioliti e riodaciti in espandimenti ignimbrici e colate, porfidi in ammassi subvulcanici, lave, breccie andesitiche, subordinati espandimenti dacitici; rioliti alcaline in espandimenti ignimbrici. (Carbonifero sup.-Permiano sup.- Trias inf.)	10
Rioliti e riodaciti, daciti porfiriche vetrose e bollose. (Pliocene)	15
Rioliti, riodaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole diristagno e rare colate a cui si associano prodotti freatomagmatici; talora livelli epiclastici intercalati. (Oligocene sup.-Miocene inf. medio)	10
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, calcari dolomitici, calcari oolitici e calcari bioclastici, sublitorali; alla base marne e calcari marnosi paralici (17b). (Berriasiano-Albiano inf.) Sardegna orientale: depositi carbonatici	5
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, marne e calcareniti glauconitiche sublitorali e localmente calcari lacustri (16b). (Cenomaniano-Campaniano) Sardegna orientale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari marnosi e	10
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: dolomie e calcari dolomitici, calcari oolitici, calcari ad oncoidi, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne; alla sommità dolomie e calcari dolomitici scuri lacustri (18b)	5

PROGETTAZIONE ATI:

DESCRIZIONE	$\Delta CN$
Sardegna orientale: calcari, calcari maenosi e marne argillose sublitorali (14b). Arenarie e conglomerati poligenici più o meno quarzosi fluvio-deltizi (14a). (Ypresiano-Luteziano inf.)	10
Sieniti sodiche. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Sulcis e Trexenta: calcari litorali e transizionali, calcari marnosi, marne e argille continentali e paralicco-transizionali con depositi di carbone; alla base sono presenti, arenarie e conglomerati di piana alluvionale. (Paleocene sup.-Eocene inf. m)	0
Tonaliti (33b). Gabbri e masse gabbro-tonalitiche (33a). (Carbonifero sup.-Permiano)	10

Utilizzando la tabella correttiva, è stata realizzata una carta tematica che restituisce visivamente la distribuzione dei fattori correttivi  $\Delta CN$  (Fig. 10).

PROGETTAZIONE ATI:



**Fig. 10** Carta di variazione del CN derivante dalla stima di permeabilità del terreno desunto dalla carta geologica

In tal modo è stato possibile effettuare la correzione dei valori di Curve Number associati alle caratteristiche di uso del suolo (CORINE) con i fattori di variazione derivanti dall'analisi delle informazioni geologiche; il prodotto finale è la "Carta del Curve Number per la Regione Sardegna", in formato raster, con maglia 10 X 10 metri (Fig. 11).

PROGETTAZIONE ATI:

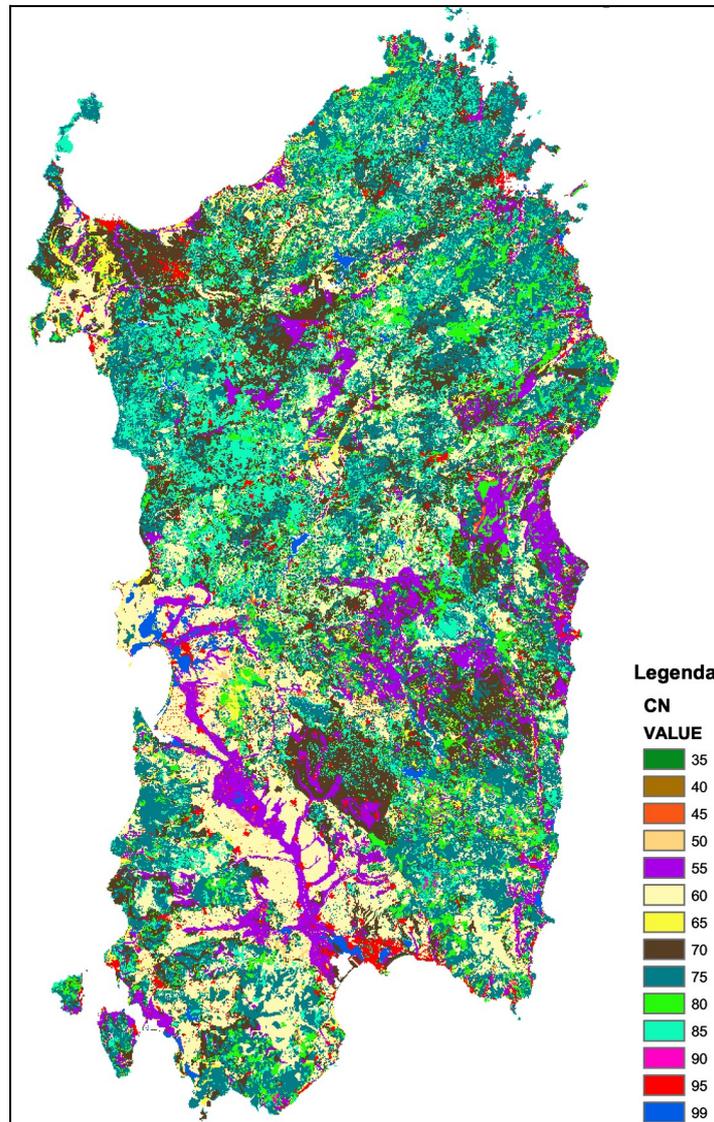


Fig. 11 Carta del CN aggiornato

Infine, un ulteriore incremento del CN (che così definito nella procedura rappresenta condizioni medie di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento, AMCII) avviene per ogni sottobacino nel valutare elevate le condizioni di umidità antecedenti l'evento (condizione AMCIII).

In definitiva i valori del CN scelti vengono riassunti in Tab. 7.

Tab. 7 Scelta dei valori del CN

	CN	CN (III)

PROGETTAZIONE ATI:

Bacini ID	[-]	[-]
<b>B.01</b>	61	83
<b>B.02</b>	65	86
<b>B.03</b>	65	86
<b>C.01</b>	61	83
<b>C.02</b>	61	83

Durata critica e tempo di corrivazione

Applicando la metodologia e i parametri sopra descritti ne conseguono i seguenti valori di durata critica e tempo di corrivazione, considerando il tempo di formazione pari a 1/2 del tempo di corrivazione, come indicato nel PAI:

**Tab. 8 Durata critica e tempi di corrivaizone**

Bacini ID	$\theta_c$	$t_c$
	[h]	[h]
<b>B.01</b>	3.2	2.1
<b>B.02</b>	3.3	2.2
<b>B.03</b>	3.8	2.5
<b>C.01</b>	3.5	2.3
<b>C.02</b>	3.5	2.3

### 3.2.3. AGGIORNAMENTO DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICHE PER DURATA $D > 1$ ORA

Ad integrazione idrologica per la specifica area in esame, la Regione Sardegna, a seguito dei gravosi e tragici eventi alluvionali del 22 ottobre 2008 accaduti sul territorio di Capoterra, ha redatto una nuova stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

L'attività è stata svolta per 4 stazioni pluviometriche di misura, rispettivamente Is Cannoneris, Capoterra, Pixinamanna e Pula, che sono state scelte dalla stessa Regione in quanto giudicate complessivamente le più rappresentative per il comparto idrografico interessato (Fig. 12).

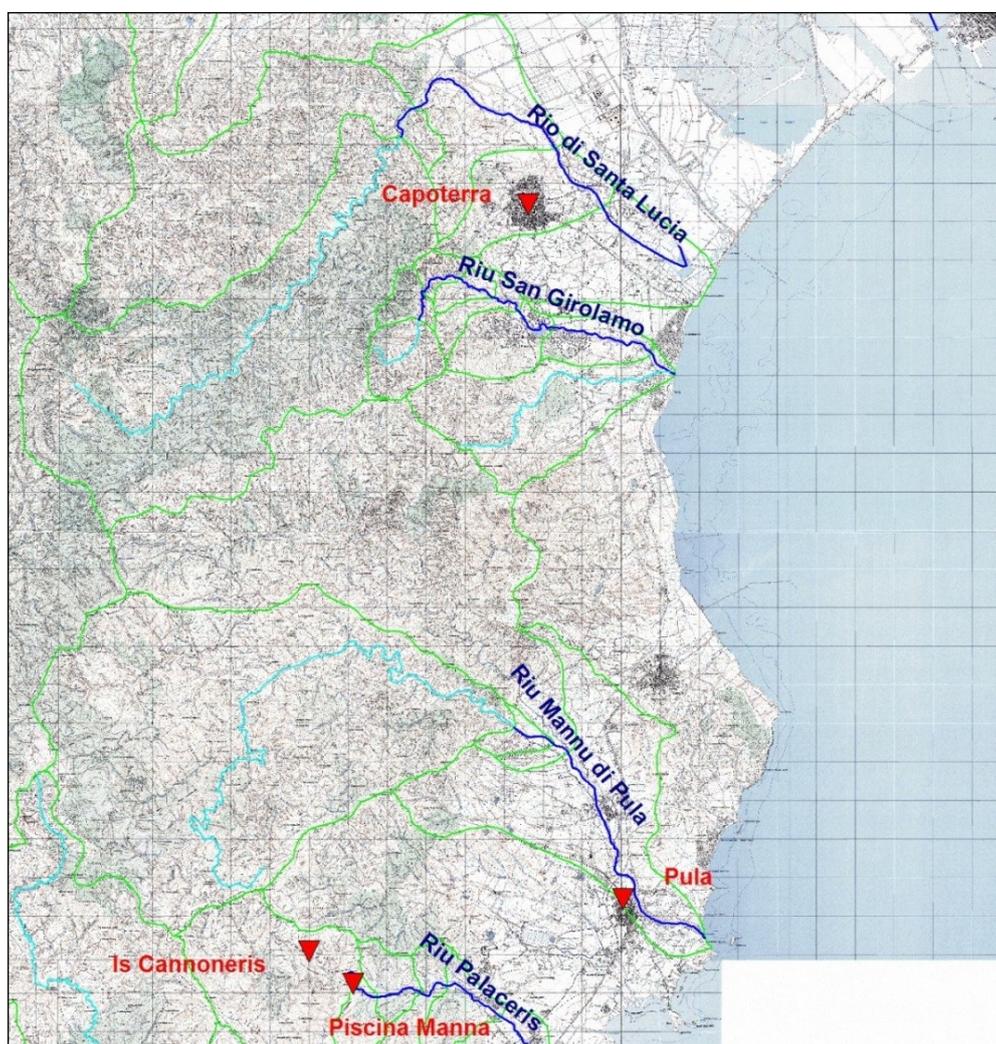


Fig. 12 Distribuzione territoriale dei pluviometri oggetto di aggiornamento delle serie storiche delle precipitazioni di breve durata ed alta intensità

PROGETTAZIONE ATI:

Gli annali del Servizio Idrografico, pubblicati sino al 1988, riportano i dati delle precipitazioni di breve durata e massima intensità (1, 3, 6, 12, 24 ore) per la stazione di Is Cannoneris per 36 anni, per Pixina Manna per 24 anni e per Pula per 29 anni (i periodi si intendono a ritroso dal 1988); per la stazione di Capoterra gli annali non riportano letture di massima intensità.

Sulle stazioni indicate sono state eseguite le attività rivolte rispettivamente all'aggiornamento delle serie storiche e alla ri-elaborazione delle curve di possibilità pluviometrica mediante l'applicazione del metodo TCEV; in maggiore dettaglio:

- analisi ed elaborazione dei pluviogrammi relativi al periodo 1988-2008, ad integrazione della serie storica disponibile, con costruzione dei campioni dei massimi annuali delle piogge giornaliere e delle precipitazioni di breve durata (1, 3, 6, 12 e 24 ore);
- costituzione delle serie storiche complessive per ciascuna stazione, integrando i dati del punto precedente con le osservazioni pregresse pubblicate (periodo di osservazione 1922-2008, non continuo);
- applicazione del modello TCEV ai dati complessivi delle 4 stazioni (precipitazioni massime giornaliere e di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore) con elaborazione dei parametri di primo e secondo livello di regionalizzazione;
- definizione delle curve di possibilità pluviometrica per assegnati tempi di ritorno e confronto con l'evento pluviometrico del 22/10/2008.

L'aggiornamento, condotto sulla base dell'estensione delle serie storiche disponibili, permette la successiva nuova determinazione delle portate al colmo per assegnato tempo di ritorno.

### **Costituzione serie storiche**

Le serie dei valori massimi annuali delle piogge giornaliere e delle precipitazioni di breve durata (1, 3, 6, 12 e 24 ore) delle quattro stazioni in esame (Is Cannoneris, Capoterra, Pixinamanna e Pula), ottenute con la precedente attività di analisi e lettura dei pluviogrammi disponibili nel periodo 1988÷2008, sono state congiunte alle corrispondenti serie fornite dall'Ufficio Idrografico per il periodo storico antecedente.

Per le successive elaborazioni si è deciso però di eliminare, nelle serie delle precipitazioni intense di durata 1÷24 ore, gli anni in cui sono state riscontrate anomalie di rilevamento.

In conclusione, delle attività condotte di raccolta dati sono risultate disponibili serie storiche con un numero di valori compresi tra 42 e 75 (vedi Tab. 9), con unica eccezione rappresentata dalla stazione di Capoterra la quale, non disponendo di dati di precipitazione intensa precedenti il 1988, presenta serie di durata 1÷24 ore limitate a 18 anni utili di osservazioni.

PROGETTAZIONE ATI:

Tab. 9 Estensione delle serie storiche disponibili

Nome stazione	N° anni serie di durata 1÷24 ore	N° anni serie di durata 1 giorno
Is Cannoneris	54	73
Capoterra	18	75
Pixinamanna	44	51
Pula	42	74

Le caratteristiche delle serie storiche sono sintetizzabili con le curve di caso critico, elaborate per ciascuna stazione rispettivamente con riferimento alla serie completa dei dati disponibili e alla serie limitata agli anni precedenti il 2000.

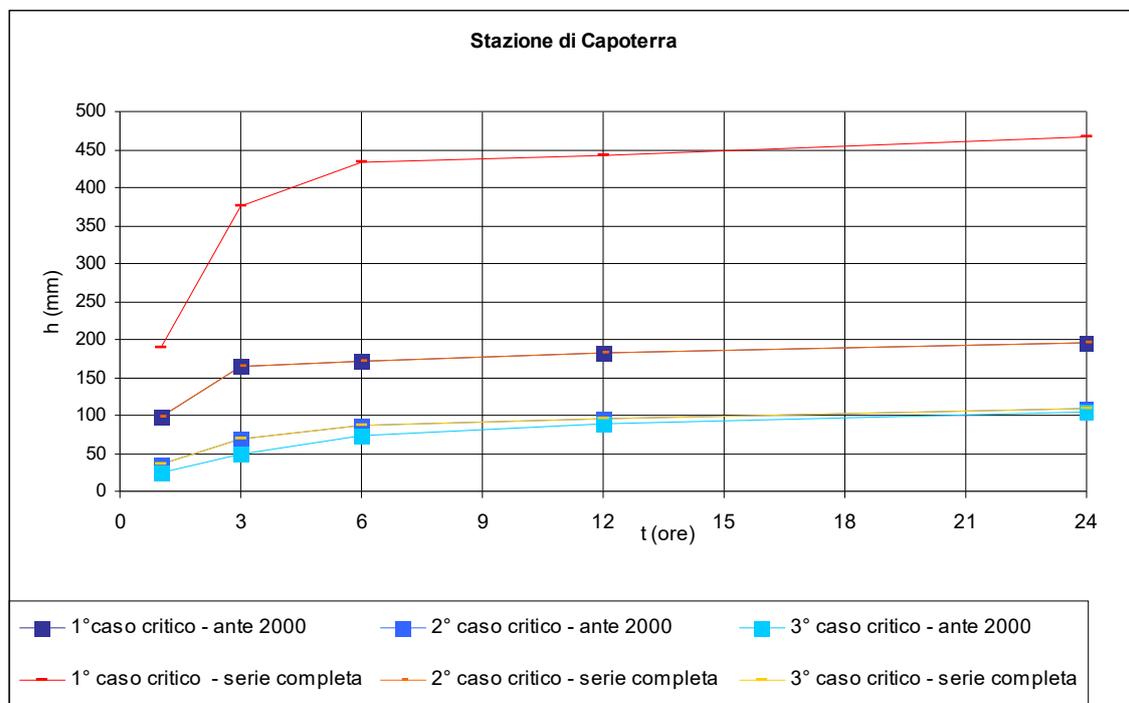


Fig. 13 Stazione di Capoterra: curve di caso critico per le durate tra 1 e 24 ore

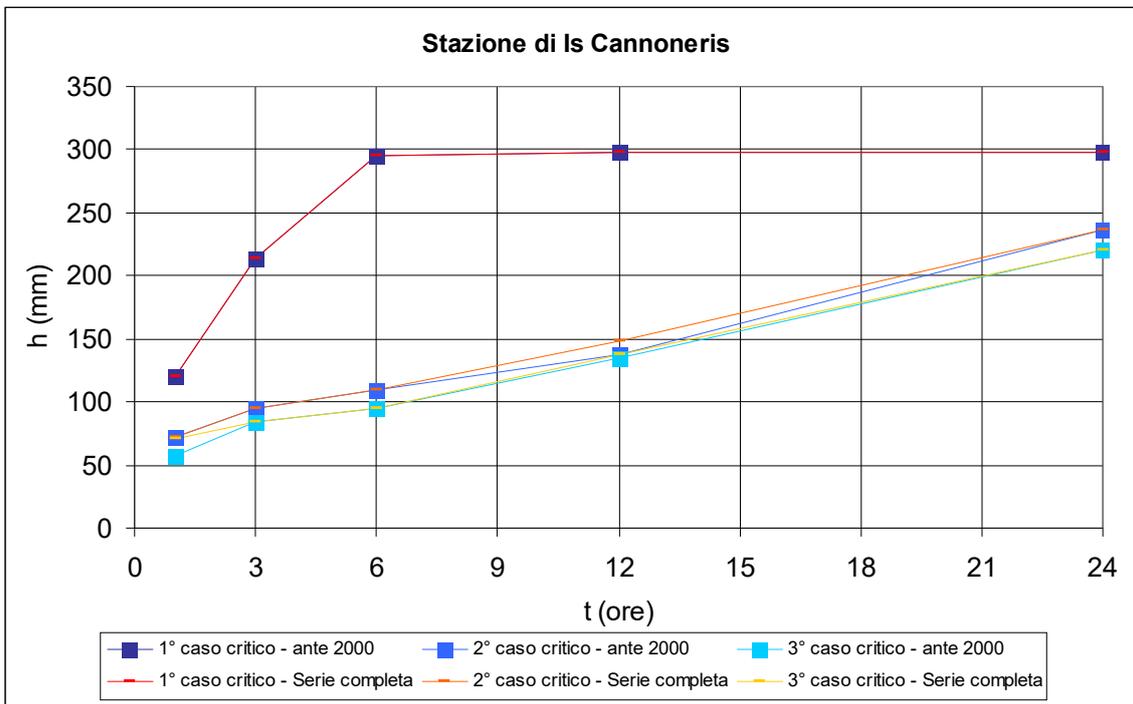


Fig. 14 Stazione di Is Cannoneris: curve di caso critico per le durate tra 1 e 24 ore

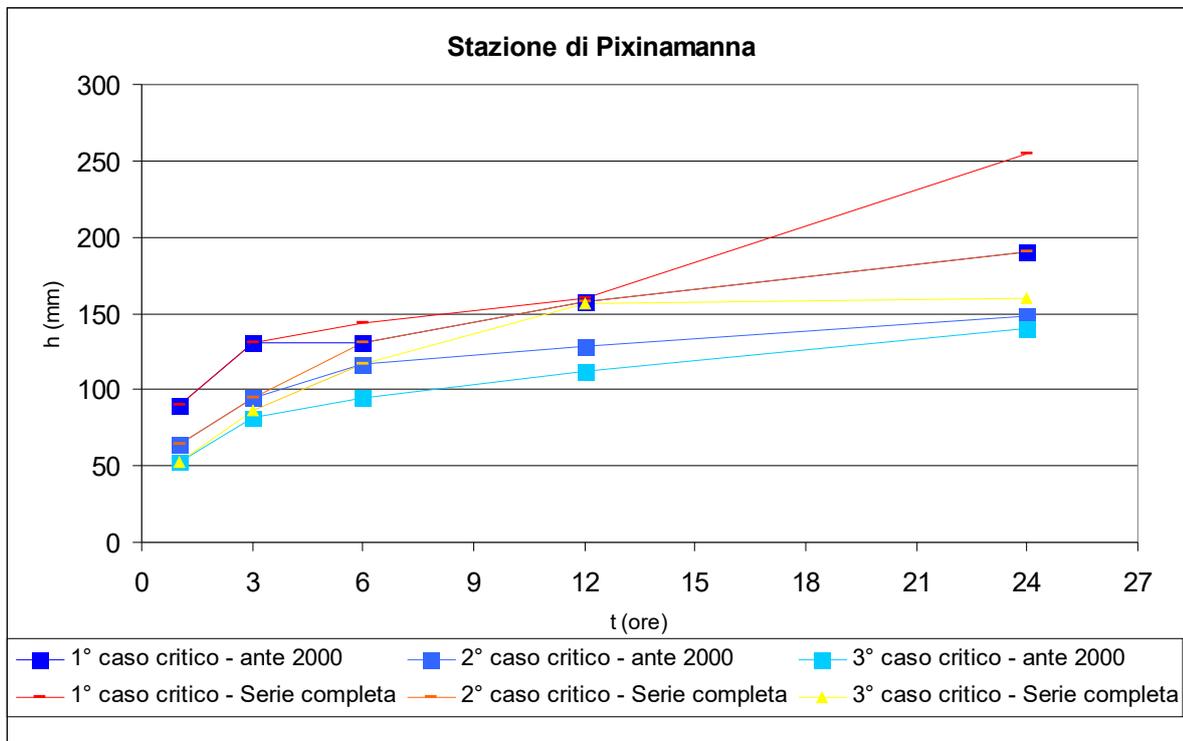


Fig. 15 Stazione di Pixinamanna: curve di caso critico per le durate tra 1 e 24 ore

PROGETTAZIONE ATI:

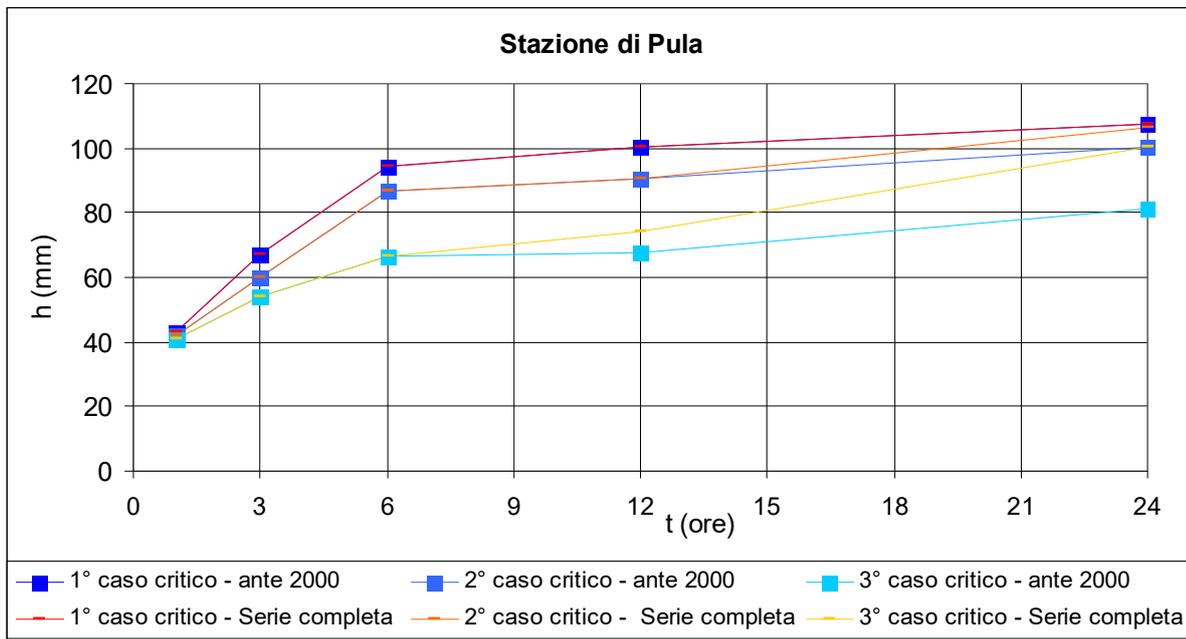


Fig. 16 Stazione di Pula: curve di caso critico per le durate tra 1 e 24 ore

### Legge di distribuzione TCEV

La legge di distribuzione a doppia componente TCEV presenta la seguente espressione:

$$F(x) = \exp(-\lambda_1 \exp(-x/\vartheta_1) - \lambda_2 \exp(-x/\vartheta_2)) =$$

$$= \exp(-\exp(-(x - E_1)/\vartheta_1) - \exp(-(x - E_2)/\vartheta_2))$$

con  $E_1 = \vartheta_1 \ln \lambda_1$ ,  $E_2 = \vartheta_2 \ln \lambda_2$  e in cui  $F(x)$  è la probabilità di non superamento dell'altezza di pioggia  $x$  di durata  $t$ , mentre  $\lambda_1, \lambda_2, \vartheta_1, \vartheta_2$  sono i quattro parametri della legge. L'espressione a "doppia componente" si presenta formalmente come il prodotto di due funzioni di probabilità di Gumbel: la prima rappresenta una variabile che assume valori non elevati ma frequenti (componente "base" o "ordinaria" con parametri  $\lambda_1, \vartheta_1$ ), la seconda genera invece eventi più rari e più rilevanti (componente "straordinaria" con parametri  $\lambda_2, \vartheta_2$ ).

Introducendo la variabile standardizzata y definita dalla seguente espressione:

$$y = x/\vartheta_1 - \ln \lambda_1 = (x - E_1)/\vartheta_1$$

PROGETTAZIONE ATI:

la F(x) assume la seguente forma:

$$F(y) = \exp(-\exp(-y) - \Lambda^* \exp(-y/\Theta^*))$$

In cui si è posto:

$$\Theta^* = \vartheta_2/\vartheta_1$$

$$\Lambda^* = \lambda_2/(\lambda_1)^{1/\Theta^*}$$

Il coefficiente di asimmetria della distribuzione TCEV dipende solo dai parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  mentre il suo coefficiente di variazione dipende da  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  e  $\lambda_1$ .

Un altro parametro considerato è:

$$\eta = \frac{\mu}{\vartheta_1} = \ln \lambda_1 + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j} \Gamma(j/\Theta^*)}{j!}$$

in cui si è indicato con  $\mu$  la media della distribuzione e con  $\Gamma$  la funzione gamma.

Utilizzando la legge TCEV è possibile attivare una procedura gerarchica di regionalizzazione che si articola su tre livelli successivi, in ognuno dei quali si considerano costanti alcuni parametri statistici.

Nel "primo livello di regionalizzazione" si ipotizza che il coefficiente di asimmetria G della serie dei massimi annuali della variabile idrologica considerata sia costante in una "zona omogenea" molto ampia (ad esempio l'intera Regione Sardegna), per cui ad essa competono due valori costanti dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ . Tali parametri vengono stimati con il metodo della massima verosimiglianza (ML), utilizzando contemporaneamente tutte le serie storiche standardizzate ricadenti nella zona omogenea. Successivamente, sempre con il metodo ML, per ogni serie vengono stimati i parametri  $\lambda_1, \vartheta_1$  della componente base "vincolati" ai valori dei parametri regionali  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  precedentemente definiti.

Con il "secondo livello di regionalizzazione" si individuano "sottozone omogenee" per le quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della distribuzione teorica, in modo che per tutte le serie ricadenti in una sottozona risultino costanti i tre parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  e  $\lambda_1$ .

PROGETTAZIONE ATI:

Utilizzando le espressioni precedenti ed introducendo la variabile adimensionale  $x' = x/\mu$  si ottiene la seguente legge di distribuzione TCEV della variabile  $x'$  che dipende solo dai parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  e  $\lambda_1$  della sottozona considerata:

$$F(x') = \exp\{-\lambda_1 \exp[-\Lambda^* \lambda_1^{1/\Theta^*} \exp(-\eta x')]\}$$

La relazione che lega la variabile adimensionale  $x'$  al tempo di ritorno T risulta pertanto la seguente:

$$T = \frac{1}{1-F(x')} = \frac{1}{1-\exp\{-\lambda_1 \exp[-\Lambda^* \lambda_1^{1/\Theta^*} \exp(-\eta x')]\}}$$

### Regionalizzazione delle serie storiche delle precipitazioni intense

Per ogni durata di precipitazione (1, 3, 6, 12, 24 ore e 1 giorno) sono state regolarizzate con la legge di distribuzione a doppia componente TCEV contemporaneamente le serie delle quattro stazioni in esame, considerandole appartenenti ad una stessa "zona omogenea" in modo da determinare i due valori costanti dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ . Successivamente per ogni serie sono stati stimati i parametri  $\lambda_1, \vartheta_1$  della componente base "vincolati" ai valori dei parametri regionali  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  precedentemente definiti per ogni durata di precipitazione. Infine, le quattro stazioni sono state considerate appartenenti anche alla stessa "sottozona omogenea" ricavando così i parametri  $\lambda_1$  e  $\eta$  che caratterizzano le distribuzioni per le varie durate.

Nella Tab. 10 sono riportati i parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  ottenuti per ciascuna durata con la regionalizzazione di primo livello.

**Tab. 10 Parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  della regionalizzazione di primo livello della distribuzione TCEV**

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	1 giorno
Lambda-star	0,477	0,049	0,124	0,156	0,536	0,209
Theta-star	4,709	4,758	6,055	3,916	3,153	3,855

PROGETTAZIONE ATI:

Nella Tab. 11 è riportato l'elenco dei parametri della distribuzione TCEV per ogni stazione "vincolati" ai valori dei parametri regionali  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  sopra definiti.

Tab. 11 Parametri della distribuzione TCEV "vincolati" ai valori dei parametri regionali  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$

<b>IS CANNONERIS</b>	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>	<b>1 giorno</b>
lambda-1	30,360	16,406	15,768	13,673	32,124	27,817
theta-1	4,906	12,102	16,320	22,602	18,595	19,703
eta	7,414	3,753	4,708	4,048	5,917	5,004
<b>CAPOTERRA</b>	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>	<b>1 giorno</b>
lambda-1	19,825	1,398	19,592	10,321	12,082	14,379
theta-1	5,471	66,157	12,476	19,617	20,147	16,704
eta	6,988	1,290	4,925	3,767	4,939	4,344
<b>PIXINAMANNA</b>	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>	<b>1 giorno</b>
lambda-1	18,251	12,559	14,969	17,963	19,382	16,493
theta-1	5,707	12,771	14,728	16,769	17,647	18,019
eta	6,905	3,485	4,656	4,321	5,412	4,481
<b>PULA</b>	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>	<b>1 giorno</b>
lambda-1	77,524	8,802	34,794	22,898	36,455	27,821
theta-1	2,890	10,860	7,754	10,774	9,999	10,719
eta	8,351	3,130	5,499	4,564	6,043	5,004

Nella Tab. 12 sono, infine, indicati i parametri della regionalizzazione TCEV per la "sottozona omogenea" composta dalle 4 stazioni pluviometriche in esame, in base ai quali è stato possibile ricavare le corrispondenti altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno riportate nella Tab. 13 e successivamente determinare i coefficienti "a" e "n" delle curve di possibilità climatica  $h_T = a t^n$  che interpolano i valori di precipitazione di durata 1÷24 ore, utilizzando il metodo dei minimi quadrati.

Tab. 12 Parametri della regionalizzazione TCEV per la "sottozona omogenea" composta dalle 4 stazioni pluviometriche in esame.

PROGETTAZIONE ATI:

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	1 giorno
Lambda-star	0,477	0,049	0,124	0,156	0,536	0,209
Theta-star	4,709	4,758	6,055	3,916	3,153	3,855
lambda-1	28,197	3,851	19,455	15,107	21,671	20,186
eta	5,676	3,624	4,160	3,815	4,977	4,261

Tab. 13 Altezze di precipitazione di assegnato tempo di ritorno e parametri a e n delle curve di possibilità climatica ottenute in base alla regionalizzazione di primo livello.

TR (anni)	REGIONALIZZAZIONE	
	a	n
2	22,75	0,376
5	34,64	0,357
10	46,46	0,335
20	59,97	0,331
25	64,85	0,332
50	81,48	0,337
100	101,14	0,333
200	123,33	0,325
500	153,06	0,317

Applicando la procedura precedentemente descritta sono state determinate in conclusione le seguenti relazioni:

$$h(t,T) = 0,436 \cdot t^{0,323} \cdot h(\text{giorno},T)$$

$$h(t,T) = (16,84799 + 22,61126 \cdot \text{Log}T + 10,00240 \cdot (\text{Log}T)^2) \cdot t^{0,323}$$

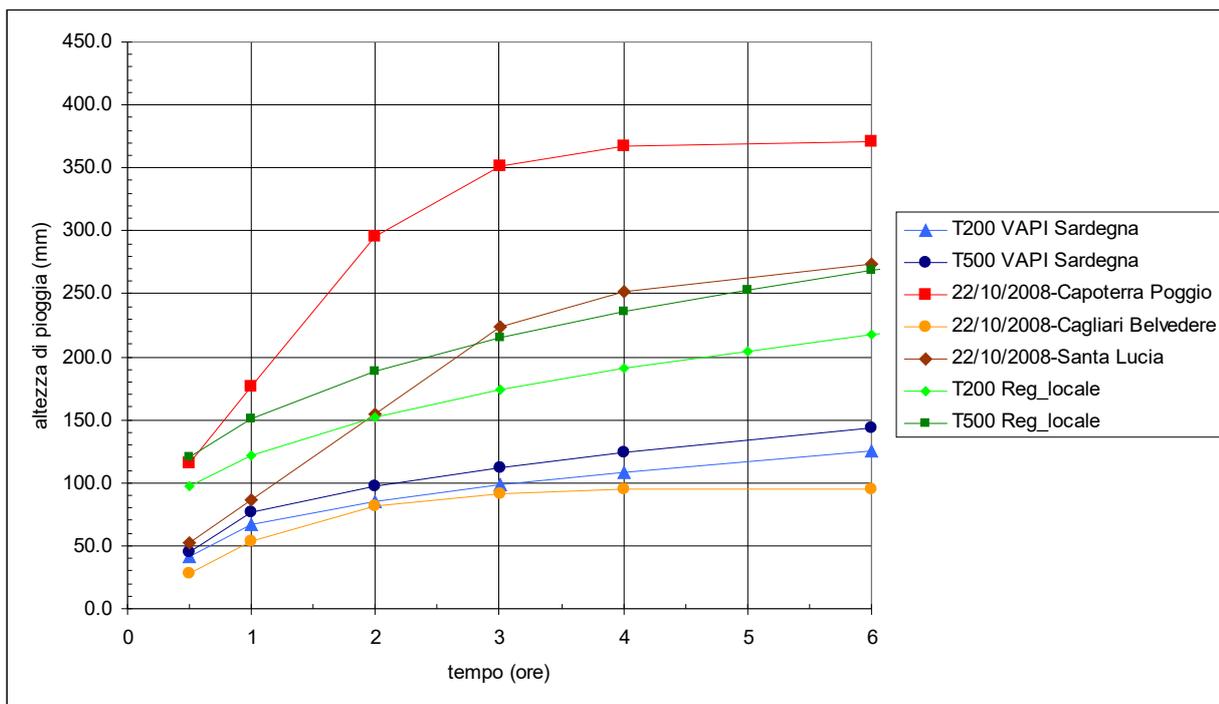
delle quali la prima consente di calcolare la precipitazione per qualunque durata "t" compresa tra 1 e 24 ore a partire dalle altezze di precipitazione massime giornaliere di assegnato tempo di ritorno

PROGETTAZIONE ATI:

“T” calcolata con la legge TCEV, mentre la seconda permette di determinare direttamente le massime altezze di precipitazione in funzione della durata e del tempo di ritorno.

Il confronto tra le curve di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno derivanti dalla nuova elaborazione TCEV e le altezze di pioggia misurate nelle stazioni pluviometriche di Capoterra, Santa Lucia e Cagliari Belvedere è rappresentato in Fig. 17., in cui sono anche riportate le curve pluviometriche del VAPI regionale. È possibile osservare come l’aggiornamento della serie storica agli ultimi 20 anni e la presa in conto degli eventi intensi recenti (tra cui in particolare quelli del 2008 e del 1999) comportino un deciso innalzamento delle curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla regionalizzazione locale, rispetto a quelle del VAPI a parità di tempo di ritorno.

Ciò nonostante, le altezze di pioggia dell’evento del 2008 misurate alla stazione di Capoterra rimangono notevolmente superiori a quelle derivanti dalla curva con tempo di ritorno di 500 anni per tutte le durate considerate; nella stazione di Santa Lucia, per le durate superiori alle 3 ore, si hanno invece valori di poco superiori al tempo di ritorno di 500 anni.



**Fig. 17** Confronto tra le curve pluviometriche del VAPI regionale, le altezze di pioggia misurate durante l’evento 2008 e le curve di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno derivanti dalla nuova elaborazione TCEV

### 3.2.4. PARAMETRI PER DURATE < 1 ORA

Poiché la metodologia di calcolo citata nei paragrafi precedenti trae origine da dati di altezze di pioggia di durata superiori ad 1 ora, non risulta corretto estrapolare con la stessa procedura le curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori.

Per ovviare a tale errore, per le durate brevi ed intense si è proceduto adottando una metodologia di stima derivante da osservazioni sperimentali.

In letteratura sono infatti disponibili numerosi studi ed esperienze che mostrano come le altezze d'acqua massime associate ad eventi di breve durata, siano correlate a quelle determinate per tempi di pioggia di un'ora secondo uno schema tipico.

Più in dettaglio, definendo il parametro  $\rho(t) = h(t)/h(1)$ , ovvero il rapporto tra l'altezza di pioggia per durata  $t$  e quella per durata di 1 ora, è stato notato (Bell, 1969; Goswami, 1973) come esso risulti poco dipendente dalla località considerata, fintantoché si considerino durate brevi ( $t < 2$  ore).

Ad analoghe conclusioni sono pervenuti altri Autori, analizzando serie di dati relative a diverse regioni del mondo, ad esempio Goswami (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings (1950) e Hershfield ed Engman (1981), nell'ambito di uno studio per una curva involucro delle massime piogge osservate nel mondo.

Per quanto riguarda il territorio italiano, il parametro  $\rho(t)$  è stato calcolato in alcuni studi disponibili in letteratura; si segnalano in particolare (per significatività dei dati) quelli relativi al pluviometro di Roma Macao, su un campione di 8 anni (Domanico, 1986 e Calenda et al., 1993), e a quello di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga et al., 1990).

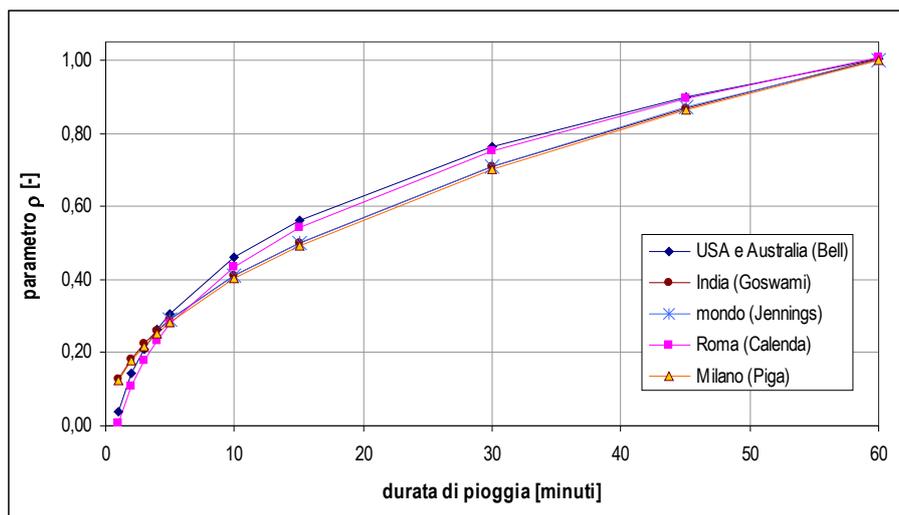


Fig. 18 Andamento del parametro  $\rho(t)$  ottenuto in diversi studi

PROGETTAZIONE ATI:

La figura precedente mette a confronto i valori medi del parametro  $\rho(t)$  ottenuti negli studi citati. Si osserva come effettivamente le differenze riscontrate tra i vari siti appaiano modeste, e si riscontri un andamento tipico poco dipendente dalla località considerata.

In particolare, tutte le curve presentano all'incirca lo stesso valore per durate di circa 5 minuti, mentre gli scostamenti sono massimi tra i 15 e i 30 minuti. Tutte le curve assumono ovviamente valore unitario per  $t = 1$  ora.

In conformità a tali osservazioni sperimentali, è stata sviluppata da Hydrodata S.p.A. una metodologia di stima in grado di fornire i parametri di precipitazione necessari ad una valutazione più accurata delle portate di piena su piccoli bacini, per i quali il tempo di pioggia critica è inferiore all'ora.

In particolare, l'andamento di  $\rho(t)$  è stato assunto come totalmente indipendente dalla località, e cautelativamente pari all'involuppo dei valori, così da introdurre unicamente possibili errori di sovrastima dell'altezza di pioggia.

In funzione dei parametri  $(a, n)$  della curva di possibilità pluviometrica (CPP) di progetto, espressa nella forma monomia  $h=a \cdot t^n$ , si ottengono le altezze di pioggia  $h(t)$  relative a durate di 60 e 120 minuti. Applicando ad  $h(60)$  i valori assunti per il parametro  $\rho(t)$ , si ricavano quindi i valori di  $h(t)$  per durate inferiori.

Diagrammando su un piano bi-logaritmico  $[\ln(t), \ln(h)]$  i punti ottenuti, per durate comprese tra 5 e 120 minuti, la validità della forma monomia (legge di potenza) come curva di adattamento dei dati presuppone che essi giacciono approssimativamente su una retta.

Eseguendo pertanto una regressione lineare (con il metodo dei minimi quadrati) nel campo bi-logaritmico è possibile determinare i parametri della retta interpolante e pertanto ricavare  $(a', n')$ , parametri della curva di possibilità pluviometrica per  $t < 60$  minuti.

I valori di  $h(t)$  stimati mediante  $\rho(t)$ , per  $t < 60$  minuti, dipendono da  $h(60)$ , ovvero unicamente da  $a$  (essendo  $t$  espresso in ore nella formula monomia, per  $t=1$  si ottiene  $h=a$ ). Estendendo la regressione anche all'altezza di pioggia per durate di 2 ore, anche il parametro  $n$  viene preso in conto nella regressione; questo permette di ottenere minori errori qualora la curva  $(a', n')$  sia utilizzata per la stima di portate prossime all'ora.

Attraverso la metodologia sopra descritta, partendo dai valori in Tab. 13, è stato possibile determinare i seguenti parametri  $a$  e  $n$  per le durate inferiori l'ora.

**Tab. 14 Parametri delle curve di possibilità pluviometriche per durate  $d < 1$  ora**

TR	2	5	10	20	25	50	100	200	500
<b>a</b>	23	35	46	60	65	81	100	122	151
<b>n</b>	0.448	0.445	0.442	0.441	0.441	0.442	0.442	0.441	0.439

PROGETTAZIONE ATI:

### 3.2.5. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE

Una volta stabiliti i parametri delle curve di possibilità pluviometrica da utilizzare, i valori di durata critica e di CN per ciascun bacino, sono state ricavate le altezze di pioggia lorda per assegnato tempo di ritorno. I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella.

Tab. 15 Valori delle altezze di pioggia lorda per ciascun bacino, per assegnato tempo di ritorno.

Bacini ID	Pioggia lorda								
	h2	h5	h10	h20	h25	h50	h100	h200	h500
<b>B.01</b>	35	52	68	88	95	120	148	179	220
<b>B.02</b>	36	53	70	89	97	122	151	183	224
<b>B.03</b>	38	56	73	93	101	128	158	190	234
<b>C.01</b>	36	54	71	91	98	124	153	185	227
<b>C.02</b>	36	54	71	91	98	124	153	185	227

Questi valori sono stati ragguagliati all'estensione del bacino di appartenenza, attraverso il parametro r.

Tab. 16 Valori delle altezze di pioggia ragguagliata per ciascun bacino, per assegnato tempo di ritorno.

Bacini ID	r [-]	Pioggia lorda								
		h2	h5	h10	h20	h25	h50	h100	h200	h500
<b>B.01</b>	0.96	34	50	65	84	91	115	142	172	211
<b>B.02</b>	0.95	34	50	66	85	92	116	143	173	212
<b>B.03</b>	0.94	35	53	68	88	95	120	149	179	220
<b>C.01</b>	0.98	36	53	69	89	96	122	150	181	223
<b>C.02</b>	0.98	36	53	69	89	96	122	150	181	223

In seguito, applicando il metodo SCS-Curve Number, sono stati ricavati i valori delle altezze di pioggia netta.

Tab. 17 Valori delle altezze di pioggia netta per ciascun bacino, per assegnato tempo di ritorno.

Bacini ID	S [mm]	Pioggia lorda								
		h2	h5	h10	h20	h25	h50	h100	h200	h500
B.01	51	7	17	29	44	50	71	95	123	160
B.02	41	10	21	34	50	56	78	103	132	170
B.03	41	11	23	36	52	59	82	109	138	177
C.01	51	8	19	32	48	54	76	103	132	171
C.02	51	8	19	32	48	54	76	103	132	171

Infine, a conclusione dell'analisi, è stato possibile ricavare le portate al colmo nella sezione di chiusura di ciascun bacino individuato, i cui risultati sono riportati nella seguente tabella.

Tab. 18 Metodo indiretto: valori delle durate critiche e delle portate al colmo nella sezione di chiusura di ciascun bacino, per assegnato tempo di ritorno.

Bacini ID	t <sub>c</sub> [h]	Q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]								
		TR2	TR5	TR10	TR20	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500
B.01	2.1	3	6	10	15	18	25	34	43	57
B.02	2.2	7	16	25	36	41	57	75	96	124
B.03	2.5	10	21	33	48	54	75	100	127	163
C.01	2.3	0	1	1	2	2	3	4	5	7
C.02	2.3	0	1	1	2	2	3	4	5	7

#### 4. SINTESI DEI RISULTATI IDROLOGICI

Di seguito si riportano i valori da adottare nel progetto in esame per le successive verifiche idrauliche in termini di parametri idrologici e valori di portata di riferimento.

##### Parametri idrologici

Le curve di possibilità climatica adottate, ottenute in base alla regionalizzazione di primo livello, sono quelle ricavate al Paragrafo 3.2.3. rappresentate in Fig. 17 aventi come parametri  $a$  ed  $n$  quelli di Tab. 13. Per il tempo di corrivazione, è stata utilizzata la relazione propria del metodo SCS.

**Tab. 19 Parametri delle curve di possibilità pluviometriche per durate  $d > 1$  ora**

TR	2	5	10	20	25	50	100	200	500
<b>a</b>	23	35	46	60	65	81	101	123	153
<b>n</b>	0.376	0.357	0.335	0.331	0.332	0.337	0.333	0.325	0.317

**Tab. 20 Parametri delle curve di possibilità pluviometriche per durate  $d < 1$  ora**

TR	2	5	10	20	25	50	100	200	500
<b>a</b>	23	35	46	60	65	81	100	122	151
<b>n</b>	0.448	0.445	0.442	0.441	0.441	0.442	0.442	0.441	0.439

##### Portate al colmo nelle sezioni d'interferenza

Nella tabella a seguire sono descritti i valori di portata di progetto duecentennale dei bacini individuati come interferenti al tracciato stradale. Si evidenzia per ciascun bacino il valore di portata specifica  $q$ , ottenuto rapportando la portata al colmo con la superficie sottesa.

**Tab. 21 Valori delle portate al colmo TR200 anni nella sezione di chiusura di ciascun bacino.**

Bacino ID	Area (km <sup>2</sup> )	Q <sub>200</sub> [m <sup>3</sup> /s]	q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	PAI/PGRA/PSFF
<b>B.01</b>	4.0	43	11	Hi1
<b>B.02</b>	8.7	96	11	Hi1
<b>B.03</b>	12.5	127	10	Hi1
<b>C.01</b>	0.5	5	11	Assente
<b>C.02</b>	0.5	5	11	Assente

Perimetrazione PAI, PSFF e PGRA

In termini di pericolosità, in corrispondenza del tracciato di progetto il canale Imboi, interferente con l'opera, risulta mappato PAI e PSFF in termini di Hi1.

Le mappe del PGRA non riportano scenari di pericolosità nei pressi dell'opera in progetto.

In termini di rischio, la mappa del PAI interessa principalmente il Riu Santa Lucia, non interferente con l'opera connessa nord.

PROGETTAZIONE ATI: