



Comune di Tertenia

Provincia di Nuoro

Regione Sardegna



INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO  
NEL COMUNE DI TERTENIA

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

OGGETTO

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA  
RELAZIONE IDROLOGICA

TIMBRI E FIRME

**SRIA**  
s.r.l.

**STUDIO ROSSO**  
**INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO  
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI  
TEL. +39 011 43 77 242  
[studiorosso@legalmail.it](mailto:studiorosso@legalmail.it)  
[info@sria.it](mailto:info@sria.it)  
[www.sria.it](http://www.sria.it)

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	
DATA	SET/2023	
COD. LAVORO	502/SR	
TIPOL. LAVORO	P	
SETTORE	G	
N. ATTIVITA'	02	
TIPOL. ELAB.	RI	
TIPOL. DOC.	E	
ID ELABORATO	06	
VERSIONE	0	

REDATTO

ing. Gianluca COLOMBO

CONTROLLATO

ing. Mirko TONDI

APPROVATO

ing. Luca DEMURTAS

ELABORATO

P.2.6



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>3</b>
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
2.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO .....	4
2.1 INQUADRAMENTO CLIMATICO.....	6
2.1.1 <i>Traiettorie delle masse d'aria e rilievi</i> .....	6
2.1.2 <i>Temperatura</i> .....	7
2.1.3 <i>Venti e pressione atmosferica</i> .....	8
2.1.4 <i>Umidità relativa ed evaporazione</i> .....	9
2.2 INQUADRAMENTO PLUVIOMETRICO.....	9
2.2.1 <i>Precipitazioni intense</i> .....	11
<b>3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI .....</b>	<b>12</b>
3.1 BACINI IDROGRAFICI DI RIFERIMENTO .....	12
3.2 TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI.....	13
3.3 DEFINIZIONE DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN .....	15
<b>4. ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>19</b>
4.1 APPROCCIO METODOLOGICO .....	19
4.2 DEFINIZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO .....	20
4.2.1 <i>Metodologia PAI – Formula Razionale</i> .....	20
<b>5. DEFINIZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA .....</b>	<b>26</b>
<b>6. ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO AL FONDO.....</b>	<b>28</b>
6.1 ASPETTI METODOLOGICI .....	28
6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO ORDINARIO .....	28
6.2.1 <i>Formule di trasporto solido semplificate</i> .....	29
6.3 CALCOLO DELLE PORTATE DI TRASPORTO SOLIDO ORDINARIO .....	29
<b>7. CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO IPERCONCENTRATO .....</b>	<b>31</b>
7.1 MECCANICA DELLA MOBILIZZAZIONE E DEL MOVIMENTO DELLA COLATA .....	31
7.2 METODOLOGIA DI CALCOLO PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PICCO DELLA COLATA DI DETRITO .....	32
7.3 CALCOLO DEL DEBRISGRAMMA PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO .....	34
<b>8. SINTESI DELLE PORTATE DI PROGETTO E DEI VOLUMI DI PIENA.....</b>	<b>37</b>

## ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Carta dei bacini idrografici



## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione idrologica del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica predisposto dagli Scriventi in merito ai lavori per *"Interventi di difesa da rischio idrogeologico nel Comune di Tertenia (NU)"* ed è volto alla riduzione del rischio idrogeologico di un'area a monte del centro abitato.

Il progetto è stato affidato dal Coordinatore dell'Ufficio di supporto del Commissario di Governo per il contrasto del dissesto idrogeologico al raggruppamento Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l. e Opere Geotecniche S.r.l., con Determinazione n. 23 prot. N. 1963 del 25/10/2021, con convenzione sottoscritta tra gli scriventi e il Commissario in modalità elettronica in data 03/05/2022.

L'area oggetto di studio risulta individuata sui versanti prospicienti l'abitato di Tertenia e relativi ai Canali Funtana 'e Si e Funtana Manna, soggetta a dissesti per la presenza lungo i versanti di materiali detritici amovibili in occasione di precipitazioni intense, e alla mancata regimazione idraulica dei bacini idrografici in esame.

Il progetto è finalizzato alla riduzione del rischio idrogeologico mediante la realizzazione di opere volte alla regimazione delle acque di impluvio e alla riduzione dei volumi di trasporto solido potenzialmente mobilitabili nella formazione di colate di detrito e che potrebbero interessare in particolare il Funtana Manna ostruendo nell'eventualità l'imbocco del canale diversore esistente, andando a canalizzare le acque in piena all'interno del canale defluente verso il centro urbano, non garantendo più alcuna difesa nei suoi confronti.

Gli interventi in progetto prevedono pertanto la realizzazione di opere, quali muri di contenimento e reti debris, atte alla formazione di bacini di sedimentazione e accumulo del materiale solido, l'adeguamento e regolarizzazione delle sezioni di deflusso dei rii e opere funzionali alla stabilizzazione dei versanti.

Il presente elaborato si articola con un inquadramento generale dell'area in esame, dal punto di vista idrografico e meteo-climatico. Si definiscono le principali caratteristiche morfologiche e fisiologiche dei bacini idrografici, si calcolano le piogge critiche di progetto per ciascun bacino finalizzando l'analisi idrologica alla definizione delle portate al colmo di piena secondo la metodologia PAI. Infine, viene riportato il calcolo delle portate solide ordinarie e delle portate di TR200 anni che potrebbero interessare gli impluvi a seguito della formazione di colate di detrito, individuando il volume potenzialmente mobilitabile. Le portate così calcolate sono state utilizzate per le verifiche idrauliche delle opere di regimazione e collettamento esistenti e a seguito degli interventi in progetto.



## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

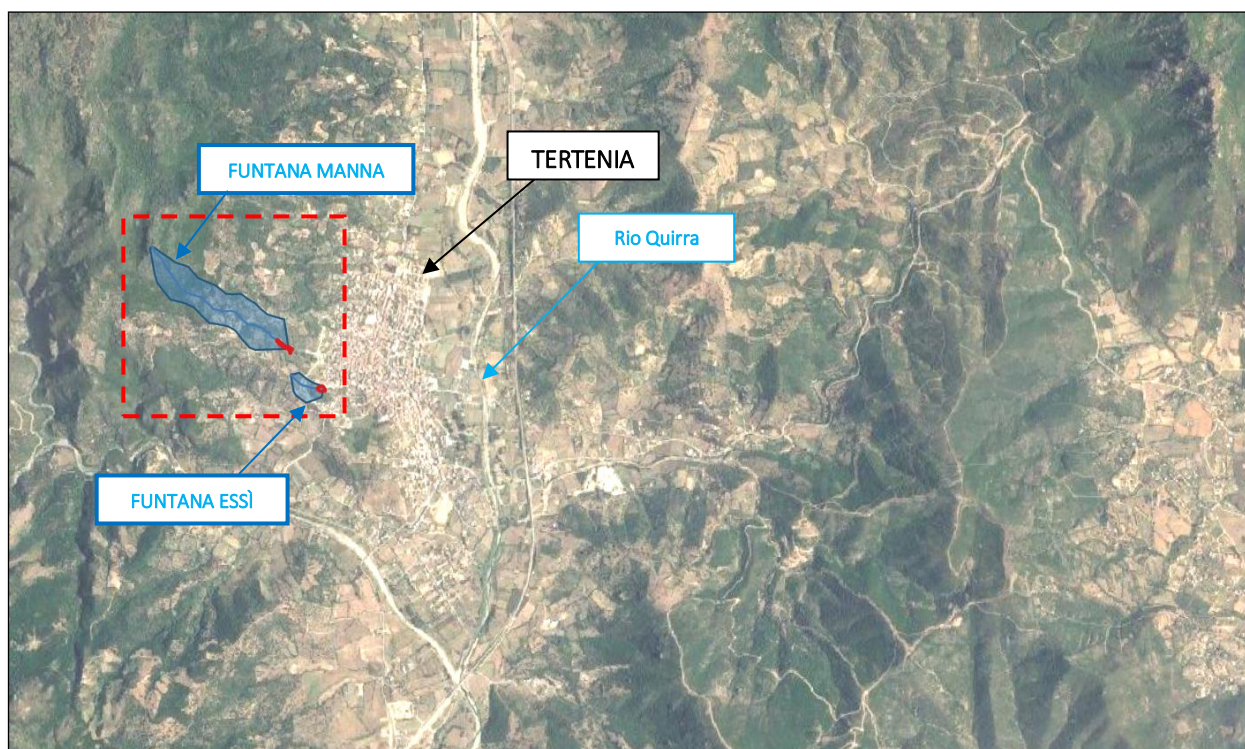
### 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Tertenia è il paese più meridionale dell'Ogliastra, regione storico-geografica situata nella Sardegna centro-orientale. Si trova ai piedi del monte Giuilèa, lungo la valle del Quirra, conta oltre 3800 abitanti e ha una quota media di 121 metri sul livello del mare. Il suo territorio si estende per circa 117 km<sup>2</sup>, e confina a nord e ovest con i comuni di Gairo, Osini, Jerzu e Ulassai, a sud con le isole amministrative di Osini, Loceri, Lanusei mentre a est è limitato dal Tirreno con 12 km di costa.

La valle del Quirra comprende una piana alluvionale di depositi del quaternario, provenienti dalle diverse alture circostanti, con suoli adatti a svariate culture. Il corso d'acqua principale è il rio omonimo, con gli affluenti Corongiu, Su Santu, e Baccu Longu, e taglia il territorio in direzione nord-sud.

L'abitato di Tertenia si sviluppa ai piedi della fascia di pendio in sponda destra del rio Quirra intersecando alcuni bacini scolanti di moderata estensione ed i relativi compluvi i quali attraversano l'abitato in direzione Ovest-Est per poi sversarsi nel rio Quirra.

Le aree interessate dal progetto sono relative a due dei suddetti compluvi di alcuni canali interni al centro urbano, in relazione alla pericolosità idraulica potenziale che possiedono nei confronti degli edifici e degli abitanti, in particolare si prevedono **interventi sul bacino del rio Funtana Manna e rio Funtana Essi** (cfr. Figura 1).



**Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di intervento lungo il bacino Funtana Manna e Funtana Essi.**





## 2.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO

I bacini oggetto di intervento sono affluenti del Rio Quirra, denominato anche **Flumini Durci** per il toponimo del tratto focivo, i quali appartengono al Sub Bacino 06 Sud Orientale - bacino idrografico dei rii minori tra il Cedrino e il Flumendosa.

Cartograficamente la porzione dei bacini idrografici interessati dagli interventi in progetto è individuata:

- nelle Tavolette 541 sez. I "Jerzu" e 541 sez. II "Tertenia" della Cartografia dell'Istituto Geografico militare in scala 1:25.000;
- nelle Sezioni n. 541 - 070 "Monte Arbu" della Cartografia Tecnica Regionale e DBGT in scala 1: 10.000;
- al foglio 541 "Jerzu" della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000.



**Figura 2 – Inquadramento territoriale generale e vista aerea dei bacini idrografici oggetto di analisi.**

Entrambi i canali oggetto di intervento presentano un tratto tombato, più o meno lungo, nel tronco interessato dal passaggio attraverso l'abitato. Le aree di intervento sono a monte dei suddetti tratti.

In particolare, il **canale Funtana Manna** risulta regimato artificialmente nel tratto a valle della Chiesa di Santa Sofia con sezione interamente rivestita in malta e pietrame di dimensioni  $L = 2,0$  m e  $H = 1,6$  m.

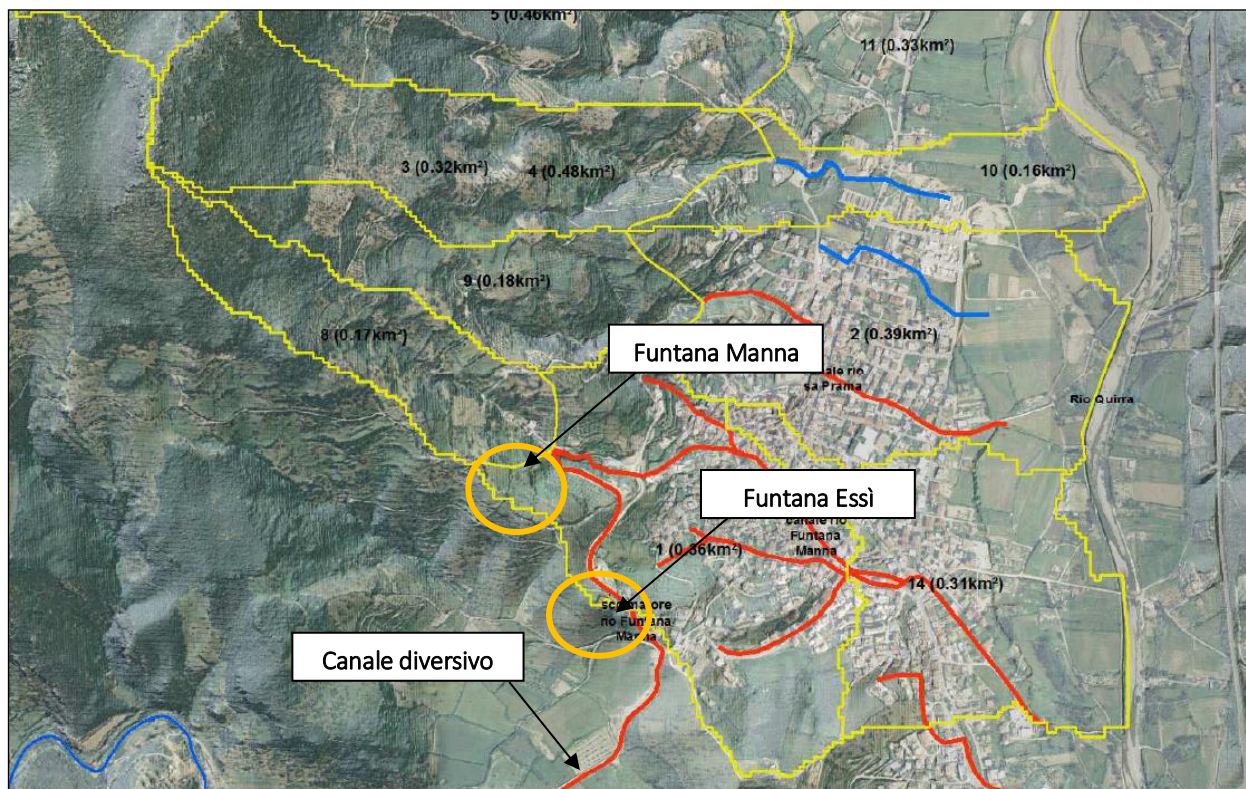
Lungo lo sviluppo di tale tratto, è stato realizzato un canale diversivo atto a deviare la portata in arrivo al di fuori del bacino idrografico di competenza allontanandone le acque dal centro abitato.





Il rio Funtana Essi defluisce invece in alveo naturale inciso dall'azione dell'acqua senza adeguamenti della sezione effettuati ad opera antropica. Il bacino idrografico ricade all'interno di un'area caratterizzata da versanti acclivi con pericolo di erosione, dilavamento di materiale e frane, area classificata dal P.A.I. a rischio RG3.

Le aree di intervento relative ai due distinti bacini sono evidenziate in arancio in Figura 3:



**Figura 3 – Disposizione dei canali interno al centro abitato e bacini sottesi; in arancione le aree di intervento.**



**Figura 4 – A sinistra l'alveo del rio Funtana Manna con sezione in malta e pietrame e folta vegetazione arbustiva, a destra sezione naturale del tratto appena a monte del pozzetto di imbottito del rio Funata Essi.**



## 2.1 INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il principale fattore di influenza sul clima della Sardegna è costituito dalla posizione geografica. L'isola si trova in piena area climatica mediterranea, tra il dominio dei venti occidentali e quello delle masse d'aria calda tropicali. Dal punto di vista climatico il bacino occidentale mediterraneo presenta condizioni particolari sia per la posizione, per la cintura di terre e rilievi che lo circondano ed infine per il contatto che esso ha con l'Oceano e col deserto.

La Sardegna, la Corsica e le Baleari lo dividono in tre aree distinte, ciascuna delle quali possiede un proprio sistema di correnti marine, il cui ritmo d'insieme è regolato dal flusso delle acque oceaniche che si spostano da Gibilterra verso il Mediterraneo orientale, con spessore peraltro limitato dall'esigua profondità dello stretto. L'area nord-occidentale, compresa tra il massiccio sardo-corso, il rilievo pirenaico-catalano e le Alpi marittime, subisce l'influenza dell'Oceano e parimenti quella delle masse di aria fredda continentale attraverso le basse terre francesi. L'area meridionale, invece, riceve il flusso dell'aria oceanica attraverso lo stretto di Gibilterra e dell'aria tropicale attraverso l'Algeria e il deserto Libico. Delle tre aree, quella ligure-tirrenica appare la più chiusa e interna; protetta a Nord dalla catena alpina, comunica col settore meridionale del Mediterraneo attraverso il canale di Sicilia e lo stretto calabro-siculo. Gli scambi di masse d'aria vi si svolgono prevalentemente nel senso dei meridiani, tra il Mar Ligure e l'Africa del Nord.

### 2.1.1 Traiettorie delle masse d'aria e rilievi

Nel quadro climatico generale, è oltremodo considerato importante valutare la posizione della Sardegna in rapporto alle traiettorie dei cicloni e delle masse d'aria, i cui spostamenti stagionali determinano i tipi di tempo caratteristici del Mediterraneo occidentale.

Quando in autunno e per tutto l'inverno, l'anticiclone siberiano ricopre la Regione balcanica e le alte pressioni si estendono sull'Africa dell'Atlante e sulla Spagna, sul bacino occidentale del Mediterraneo si originano, per l'elevata temperatura delle acque, delle aree di bassa pressione con minimi sul Tirreno, sul Mar Ligure e sul Mar di Sardegna. Richiamate da queste depressioni, masse di aria intermedia dall'Atlantico centro-settentrionale invadono il bacino occidentale del Mediterraneo, giungendo sulla Sardegna. Queste masse fredde subiscono però profonde trasformazioni nell'attraversare l'ampio tratto di mare che circonda l'Isola: si accresce il loro contenuto di vapore acqueo, si eleva la temperatura negli strati più bassi e si attenua il loro carattere di masse organizzate; soltanto quando le incursioni perdurano per diversi giorni conservano il loro carattere di aria fredda e determinano un sensibile abbassamento della temperatura. L'aria fredda si riversa sulla Sardegna con prevalente direzione Sud. L'aria intermedia può anche affluire sull'isola da Sud-Ovest, attraverso lo stretto di Gibilterra. Altre masse fredde possono giungere sulla Sardegna da Est e da Nord-Est, propaggini dell'anticiclone dei Balcani.

Pertanto se la circolazione atmosferica sulla Sardegna è data da masse d'aria temperata umida africana, alle quali si accompagna sempre un lieve aumento della temperatura, si ha un peggioramento del tempo e un periodo di piogge più o meno lungo. All'afflusso di masse d'aria fredda settentrionali si collegano invece i periodi di bel tempo, durante i quali con atmosfera tersa e nebulosità minima si abbassa la media diurna della temperatura. Se poi la circolazione è data da masse d'aria mediterranea, cioè da masse di diversa origine che per aver sostato a





lungo sul mare hanno acquistato caratteri mediterranei di umidità e di temperatura, si hanno giorni nuvolosi di moderata umidità e mite temperatura.

L'isola è manifestamente interessata dai cicloni che si spostano dalle Baleari al basso Tirreno seguendo la via del 40° parallelo, ma questa è la meno frequentata delle tre grandi traiettorie cicloniche del Mediterraneo occidentale. Ne consegue la relativa scarsità di precipitazioni di cui soffre la Sardegna, ove si pensi che le piogge vi sono portate quasi esclusivamente da queste perturbazioni del Mediterraneo settentrionale e neppure è interessata dalla importante via meridionale che attraversa l'Africa del Nord. Durante l'estate, mentre l'anticiclone si sposta verso Nord, l'aria tropicale invade il Mediterraneo portando elevate temperature e pressioni relativamente alte e livellate. Favorita dal forte riscaldamento del terreno, l'aria calda giunge sull'Isola con caratteristiche diverse di umidità e di temperatura a seconda della sua origine oceanica o continentale. L'aria tropicale continentale, di gran lunga prevalente, determina le punte massime della temperatura e quindi una notevole escursione tra il giorno e la notte.

Altri importanti fattori climatici sono legati alla insularità della regione ed alla breve distanza dal mare di tutti i punti del territorio, mentre la distanza dai continenti circostanti è notevole. La presenza e la distribuzione dei gruppi montuosi principali hanno pure notevole influenza; metà del territorio dell'Isola si trova compreso tra le isoipse di 0 e 300 metri e l'altitudine media è di soli 364 m s.l.m.

Si osserva ancora che, mentre si ha una diminuzione notevole della temperatura media per l'influenza dell'altitudine, altrettanto non si può dire per l'aumentare della latitudine. La posizione geografica e l'insularità sono i fattori generali del clima della Sardegna; all'orografia invece, che crea le diverse condizioni di esposizione, si devono i differenti valori che gli elementi climatici assumono nelle singole zone.

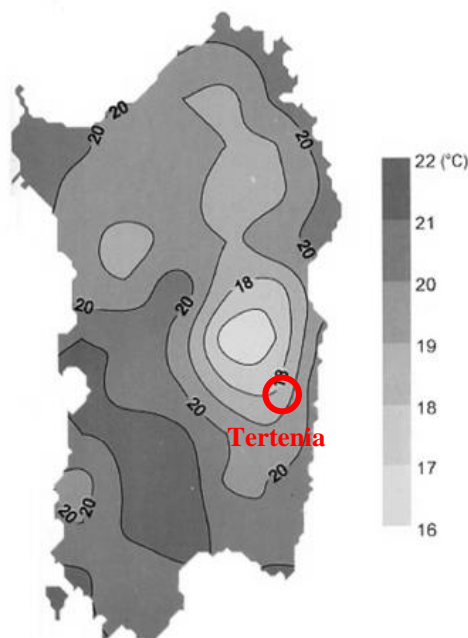
### 2.1.2 Temperatura

L'andamento annuo della temperatura dell'aria in Sardegna non presenta caratteri originali rispetto a quello di altri paesi mediterranei. L'Isola risente appieno dell'evoluzione termica delle acque del Mediterraneo che, raggiungendo la temperatura massima nelle prime settimane dell'autunno e la minima in primavera, temperano i freddi dell'inverno e mitigano i calori estivi. L'elevata temperatura della stagione invernale è la caratteristica più importante del clima: l'isoterma 10 °C in gennaio che taglia l'estremità di tutte le grandi penisole mediterranee, tocca pure la parte meridionale della Sardegna.

In estate la temperatura è elevata e nei mesi di luglio e agosto tutta la Sardegna meridionale si trova compresa entro l'isoterma di 25 °C. Le temperature estive, nelle contrade costiere della Sardegna, eguagliano quelle che si registrano nella Penisola.

L'azione moderatrice del mare è ben manifestata nell'andamento delle temperature medie. Si verifica infatti il perdurare delle basse temperature invernali, ancora nei mesi di marzo e aprile nelle stazioni interne e montane, mentre in quelle costiere la media di questi mesi si approssima già ai 15 °C. Alla fine della primavera (giugno) si ha invece un incremento verso gli alti valori estivi, più spiccato nelle zone interne e più moderato lungo le coste.





**Figura 5 - Valore medio annuale della temperatura massima.**

L'escursione termica annua rivela la diversa entità dell'influenza del mare sulle singole zone: essa infatti, ha valori piuttosto bassi lungo le fasce costiere (13°-15°) e relativamente elevati nelle zone interne di sfavorevole esposizione (18-19°), ma, al di sopra dei 1000 m anche l'ampiezza dell'escursione termica annua diminuisce (a circa 15°). Come media generale per le zone costiere si può assumere il valore di 14.8° che si presenta come uno degli indici più bassi in tutto il Mediterraneo occidentale.

### 2.1.3 Venti e pressione atmosferica

Nell'ambiente climatico della Sardegna il vento ha una parte assai importante. Esso soffia infatti con altissima frequenza per il fatto che l'isola si trova lungo la traiettoria delle correnti aeree occidentali, che spirano dalle zone anticicloniche dell'Atlantico e dell'Europa di Sud-Ovest verso i centri di bassa pressione mediterranei. È di notevole interesse constatare che la distribuzione dei valori di frequenza nei diversi settori d'orizzonte non presenta apprezzabili variazioni nei singoli anni; ciò è tanto più degno di nota se si tengono presenti i notevoli scarti dalla media che invece si registrano nell'andamento di altri elementi del clima, e in particolare nel regime delle precipitazioni. La predominanza dei venti occidentali in tutte le stagioni, la velocità media del vento quasi eguale in tutti i mesi, l'affermarsi del sistema di brezza lungo le coste regolarmente alla fine della primavera sono i fatti salienti di questo uniforme regime anemometrico.

Poiché la distribuzione della pressione nel Mediterraneo occidentale comporta la presenza di aree cicloniche costantemente centrate sui mari intorno alla Sardegna, la pressione si mantiene per tutto l'anno su valori molto bassi e non presenta variazioni mensili notevoli.



**Figura 6 - Direzione di prevalente provenienza dei venti nelle varie località dell'Isola.**

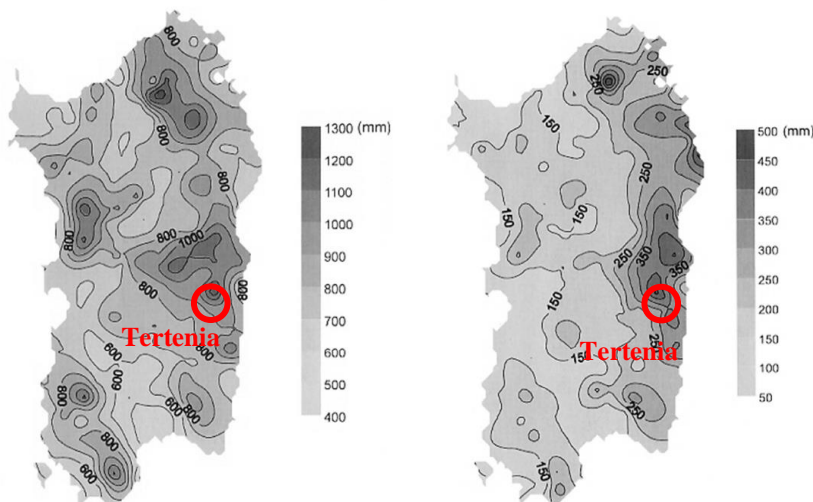
#### 2.1.4 Umidità relativa ed evaporazione

Lo studio dell'umidità relativa si presenta di notevole interesse in quanto essa è determinata da un rapporto tra quantità di vapore e temperatura. Essa presenta dei valori notevolmente diversi nelle varie regioni e in periodi più brevi ha delle forti oscillazioni a seconda della natura e della provenienza delle masse d'aria che interessano l'isola. Per il basso indice di umidità e la notevole frequenza del vento, rare sono nell'isola le nebbie. Nelle stagioni piovose tuttavia si hanno delle nebbie nelle ore notturne in alcune zone di pianura, data la notevole irradiazione termica del terreno e lungo le coste, specie in prossimità degli stagni e dei fiumi. La formazione di queste nebbie è dovuta all'incontro di aria fredda incanalata dalle foci fluviali con aria calda stazionante sul mare. Al grado di umidità è collegato poi il valore dell'evaporazione. Sulla evaporazione dal terreno e dagli specchi d'acqua, come sulla traspirazione delle piante, ha inoltre grande influenza il vento, particolarmente in Sardegna, dove esso è assai frequente, e in misura tanto maggiore quanto più è secco e violento.

## 2.2 INQUADRAMENTO PLUVIOMETRICO

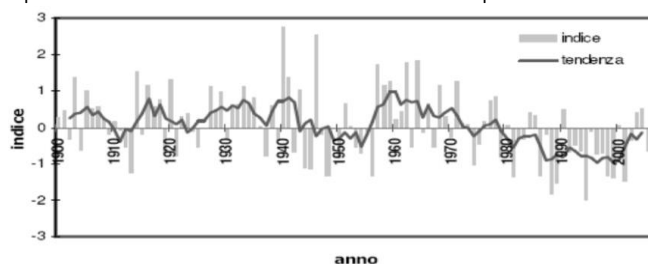
Le precipitazioni in Sardegna sono costituite quasi esclusivamente dalle piogge cicloniche che le depressioni barometriche apportano al loro passaggio; si verificano pertanto quando l'isola è interessata da tali perturbazioni, con punte massime nei periodi in cui le traiettorie cicloniche presentano la maggior frequenza lungo il 40° parallelo. La Sardegna si trova sulla traiettoria dei cicloni una prima volta tra la fine dell'autunno e l'inizio dell'inverno (prima fase delle precipitazioni) ed una seconda volta tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera (seconda fase). Ne consegue una certa differenza tra la Sardegna e le regioni mediterranee meridionali riguardo all'andamento delle precipitazioni, appunto perché le depressioni attraversano il settore centrale e quello meridionale del Mediterraneo in periodi diversi dell'anno e con diversa frequenza.

La piovosità presenta le seguenti caratteristiche generali: notevoli scarti dalla media nei singoli totali annui; un elevato indice di intensità; una irregolare distribuzione stagionale.



**Figura 7 - Distribuzione spaziale (Valore medio annuale) della precipitazione e deviazione standard.**

Gli scostamenti dalla media sono tali che la quantità di pioggia di qualche anno può superare il doppio della media o esserne inferiore della metà. Se scostamenti di tale entità non sono frequenti, scarti del 25% e del 30% si verificano in tutte le località e devono essere considerati come normali per il regime pluviometrico della Sardegna. Dallo studio della piovosità in rapporto all'altitudine risulta che nell'isola l'aumento delle precipitazioni con l'altezza del rilievo non obbedisce ad alcuna legge definita. Dall'esame dei dati appare che la piovosità media annua segna un aumento costante ma non regolare dal livello del mare, dove le stazioni costiere registrano una media di 565 mm, fino ai 400 metri; nella fascia di 3-400 m la media è di 807 mm e tra le due zone di 2-300 m e 3-400 m si verifica l'incremento maggiore: 129 mm in 100 m. A quote superiori a 1100 m si hanno anche abbondanti precipitazioni nevose: la copertura di neve ha durata media di 3 mesi nelle zone comprese tra 1200 e 1500 metri, di 5 mesi per quelle tra 1500 e 1800 metri. A quote inferiori, da 400 m (altitudine minima alla quale la neve cade in ogni singolo anno) fino a 1000 m, il manto di neve ha durata di pochi giorni o poche settimane. Non si hanno però dei dati precisi sulla durata e l'estensione della copertura nevosa.



**Figura 8 - Precipitazione in Sardegna dal 1900 al 2006 (SAR).**

La distribuzione spaziale media delle piogge nell'intera superficie dell'isola è indicata dalla carta delle isoiete costruita con le medie delle osservazioni disponibili. Ben chiaro appare dalla carta il contrasto fra le zone orientali e quelle occidentali. Nel versante occidentale un'ampia zona con piovosità inferiore ad 1 m all'anno si allunga da Nord a Sud, nel settore orientale in corrispondenza del Gennargentu si registrano livelli di piovosità compresi tra





un metro ed un metro e mezzo l'anno, ed una ampia fascia con piovosità pari a circa 1 m l'anno. Poiché l'apporto delle precipitazioni non presenta apprezzabili aumenti tra i 500 e gli 800 m di altitudine, una notevole estensione presentano le zone comprese tra le isoiete di 750 e 1000 m.

### 2.2.1 Precipitazioni intense

In generale, l'intensità oraria delle precipitazioni raggiunge in Sardegna punte ragguardevoli, legata al fatto che le precipitazioni sono spesso provocate da perturbazioni del fronte mediterraneo che si abbattano sulla Sardegna accompagnate da venti assai forti e le precipitazioni, generalmente in relazione col fronte freddo, hanno perciò carattere temporalesco e durata relativamente breve. Piogge violente a carattere di rovesci sono frequenti soprattutto nella prima fase della stagione piovosa (ottobre), quando possono verificarsi dei nubifragi che in poche ore danno non di rado 100-150 mm di pioggia, quantità che può rappresentare quindi una frazione cospicua delle precipitazioni dell'intera stagione invernale e del totale annuo.

La caratterizzazione dei regimi di precipitazione in orientale e occidentale è stata introdotta al fine di sintetizzare l'andamento delle piogge nell'Isola. Essa conseguentemente si riflette anche nel regime delle portate nei corsi d'acqua e tende a comprendere anche in zone limitate della regione che dal punto di vista geografico non sono necessariamente dislocate ad oriente o a occidente ma subiscono l'effetto dell'esposizione dei versanti del proprio territorio.

Tale classificazione, introdotta nel 1969 (Puddu) sulla base delle piogge intense registrate dalla rete pluviometrica dal 1922 al 1968, raggruppa le stazioni pluviometriche e dunque le località ricadenti nel territorio di influenza, in quattro distinti gruppi che si distinguono in relazione ad un assegnato intervallo di valori attribuiti alle medie e agli scarti delle varie durate di pioggia. Per ciascun gruppo è stata calcolata una equazione di possibilità climatica la quale esprime l'altezza di precipitazione probabile in relazione alla durata della pioggia. Nella classificazione le stazioni del terzo gruppo pluviometrico sono disposte nella fascia centro orientale dell'Isola ad eccezione di due casi nei quali le stazioni sono dislocate nelle zone montuose del Sulcis, mentre nel quarto gruppo sono comprese solo stazioni che giacciono nella fascia orientale, dove si verificano gli eventi più intensi.

Il 1951 fu un anno funesto per tutta l'Isola così come nel resto dell'Italia (nello stesso anno gli eventi tragici del Po e nel Polesine, allagamenti nelle Murge, nella regione alpina valanghe immense si abbattano su case e villaggi, l'Arno e il Reno in piena; nella Campania, l'Ofanto straripa con il Crati nel Cosentino, il Sinni e l'Agri in Basilicata mentre la Lucania è sepolta da 2 metri di neve). Se in Sardegna in quei giorni a Sicca d'Erba (in comune di Arzana) caddero circa 1500 mm, va segnalato che gli inverni dal 2004 al 2007 sono stati eccezionali per quanto concerne sia il numero che l'intensità degli eventi: nel 2004 a Villanova Strisaili, con 700 mm di pioggia, nel Capoterrese si sono avuti 441 mm in 12 ore il 22 ottobre 2008. Tali eventi sono stati innescati da piogge di intensità estrema aventi tempi di ritorno plurimillennari.



### 3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI

#### 3.1 BACINI IDROGRAFICI DI RIFERIMENTO

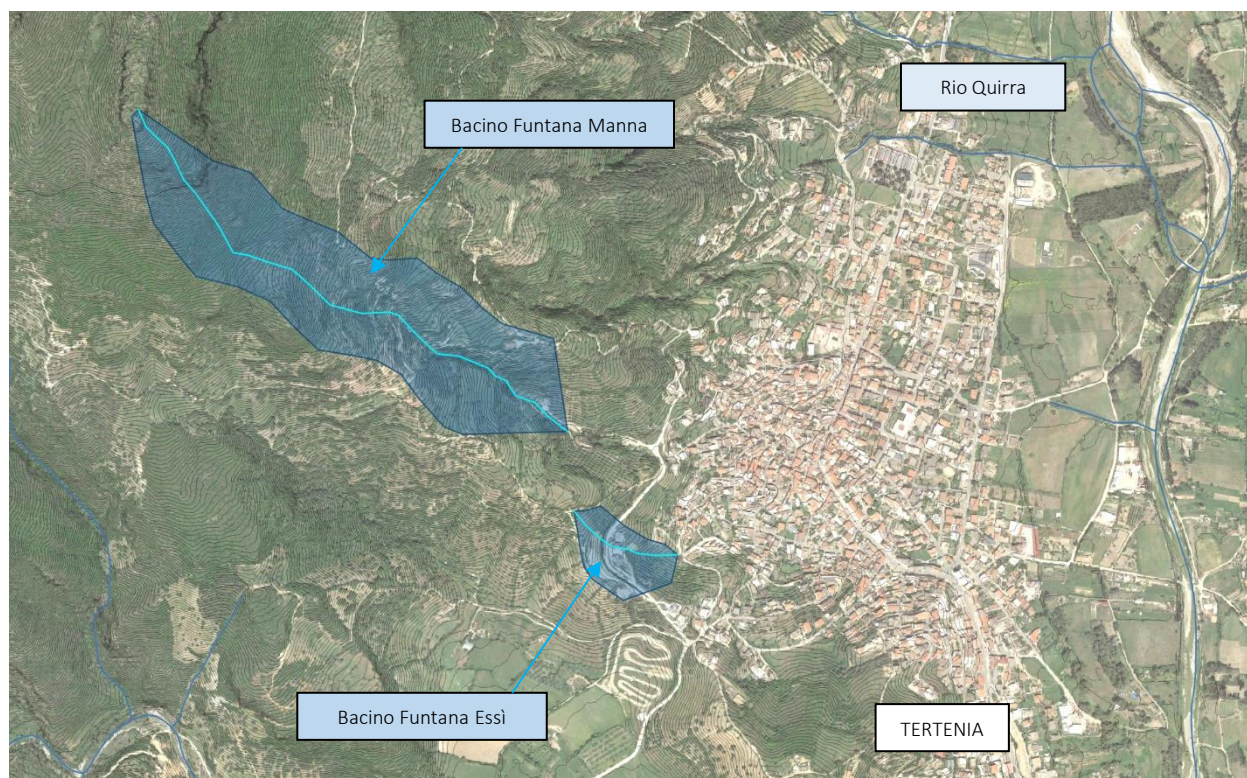
L'analisi idrologica è stata effettuata sui bacini naturali descritti al capitolo precedente e dei quali si riporta un inquadramento di dettaglio in

Le sezioni di chiusura sono state imposte in via generale alle sezioni di imbocco dei relativi tratti tombati defluenti sotto l'abitato cittadino, e, ove necessario, chiusi alle opere di trattenuta in progetto.

Successivamente saranno poi tracciate le superfici di scolo rispetto ad alcune altre sezioni di interesse e ragguagliate le portate sulle stesse al fine del dimensionamento idraulico delle opere in progetto su sottobacini di quelli rappresentati in Figura 9.

L'estensione di ciascun bacino è stata tracciata sulla base della più aggiornata base cartografica possibile (DBGT 10K scala 1:10.000) e tramite l'ausilio del DTM a maglia 1m x 1m messo a disposizione dalla Regione Sardegna.

Per ciascun sottobacino così individuato è stata effettuata un'analisi geomorfologica finalizzata all'ottenimento delle principali caratteristiche necessarie per il calcolo delle grandezze idrologiche di interesse (Tabella 1).



*Figura 9 – Rappresentazione dei bacini idrografici in analisi e della rete idrografica oggetto di studio; in ciano si sono rappresentate le aste idrografiche utilizzate per i calcoli idrologici mentre in blu è riportata la rete idrografica in base alla cartografia più aggiornata.*



**Tabella 1 - Principali caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici oggetto di studio.**

BACINO	Superficie	Perimetro	Lunghezza asta	Quota iniziale	Quota testa bacino	Quota sezione chiusura	Quota media bacino	Differenza di quota asta	Pendenza asta
	[kmq]	[km]	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m]	[m/m]
<b>FUNTANA MANNA</b>	<b>0.18</b>	2.3	1.1	580.00	585.3	218.46	401.9	361.5	0.331
<b>FUNTANA ESSI</b>	<b>0.02</b>	0.6	0.2	199.00	199.0	132.00	165.5	67.0	0.291

### 3.2 TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI

In molte schematizzazioni delle trasformazioni afflussi-deflussi s'introduce l'ipotesi che il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino scorrendo in superficie sia una costante che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta e dalle caratteristiche morfologiche del bacino.

Pur essendo un'assunzione che presenta notevoli limiti, risulta comunque molto utile nella pratica progettuale in quanto, a prescindere dal metodo scelto per la determinazione della portata di piena, fornisce con calcoli relativamente semplici un'indicazione sul comportamento idrologico del bacino in studio.

Il tempo di corrivazione è il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, per cui ad ogni punto della zona esaminata corrisponde un valore del tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, che rappresenta il contributo “ultimo” del deflusso superficiale. Il tempo di corrivazione di questo punto, che è il tempo impiegato da una particella d'acqua per percorrere l'intera superficie del bacino, dall'origine alla sezione di chiusura, e che risulta il maggiore tra quelli dei diversi punti del bacino, prende il nome di *tempo di corrivazione del bacino*.

Quindi, per il bacino esaminato si può determinare il tempo di corrivazione  $T_c$  corrispondente, tenendo conto che dipende da numerosi fattori che possono essere elencati nel modo seguente:

- parametri relativi alla topografia e alle caratteristiche planimetriche del bacino, come la superficie, la lunghezza e la pendenza dell'asta principale, la larghezza media del bacino, la distanza del baricentro del bacino dal punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, la pendenza media dei versanti;
- parametri che definiscono le caratteristiche della rete idrografica quali la densità della rete, la capacità d'invaso nella rete e in bacini naturali e artificiali, le scabrezze degli alvei;
- parametri relativi alla copertura vegetale che definiscono la maggiore o minore presenza di boschi, pascoli, seminativi o altra destinazione d'uso del suolo;
- parametri relativi alle caratteristiche geologiche e fisiche del suolo quali la permeabilità e la capacità di trattenuta dell'acqua.

Vista la notevole difficoltà a considerare tutti questi parametri, il tempo di corrivazione si calcola in genere utilizzando formule che derivano dall'analisi di molti casi reali e che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune altre grandezze caratteristiche del bacino e di facile determinazione.





Nel seguito si riportano le formulazioni utilizzate dagli scriventi per il calcolo del tempo di corrivazione maggiormente rappresentative dei bacini idrografici in esame.

1. La formulazione di *Pasini* per bacini di superficie < 40 km<sup>2</sup>:

$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

S = superficie del sottobacino (Km<sup>2</sup>);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

i<sub>f</sub> = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

2. La formulazione di *Giandotti* modificata da *Aronica e Paltrinieri* (per bacini < 10 km<sup>2</sup>):

$$T_c = \frac{\frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_m}}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

S = superficie del sottobacino (Km<sup>2</sup>);

H<sub>m</sub> = quota media sulla sezione di chiusura (m);

e dove *M* e *d* sono costanti numeriche che assumono i valori riportati in funzione del tipo di suolo e della permeabilità dei terreni, in questo caso si sono adottati rispettivamente i valori *M* = 0,667 e *d* = 0,96.

3. La formulazione proposta da *Ventura* (per bacini < 40 km<sup>2</sup>):

$$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i_f}}$$

S = superficie del sottobacino (Km<sup>2</sup>);

i<sub>f</sub> = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);



4. La formulazione proposta dal *Soil Conservation Service*:

$$T_c = 0,0027 \cdot 1000L^{0,8} \cdot \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0,7} i_v^{-0,5}$$

L = lunghezza dell'asta (Km);

$i_v$  = Pendenza dei versanti (m/m)

Le formulazioni utilizzate, vista l'estensione dei bacini in analisi sono le seguenti:

**Tabella 2 - Tempi di corrvazione [ore] calcolati per i bacini idrografici in studio**

Bacino	Tc (SCS)	Tc (GIANDOTTI modificata)	Tc (PASINI)	Tc (VENTURA)	Valore assunto (MEDIA)
<b>FUNTANA MANNA</b>	0.24	0.22	0.11	0.09	<b>0.17</b>
<b>FUNTANA ESSÌ</b>	0.06	0.13	0.03	0.03	<b>0.06</b>

Per i successivi calcoli degli idrogrammi di piena si è assunto il valore medio delle diverse stime.

### 3.3 DEFINIZIONE DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN

Il numero di curva adimensionale CN (runoff curve number) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno. Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il Soil Conservation Service propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di CN corrispondente.

I terreni che costituiscono i bacini idrografici in esame devono essere ricondotti ad una delle quattro classi litologiche riportate in Tabella 3.

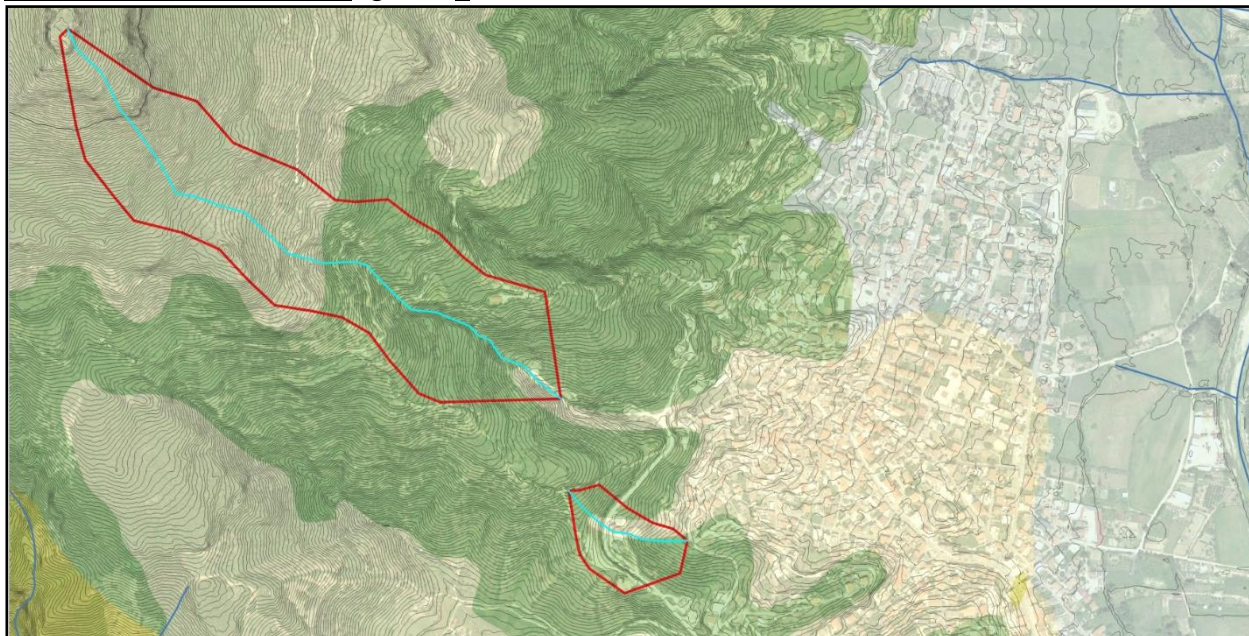
**Tabella 3 - Gruppi idrogeologici assegnabili ai diversi litotipi**

Classe	Tipologia di terreno
A	Accumuli di frana da crollo
B	Depositi da debris flow, alluvioni antiche, depositi colluviali, depositi gravitativi di falda e conoide, depositi glaciali di ablazione e indifferenziati
C	Depositi colluviali, prodotti colluviali
D	Calcarei dolomitici, serpentiniti, calcescisti, micascisti, gneiss indifferenziati, metabasiti

Il territorio appartenente ai bacini idrografici in analisi, dal punto di vista litologico, è generalmente caratterizzato da depositi terrigeni continentali legati a gravità quali depositi di detriti di versante, frane ecc... e da Porfiroidi,



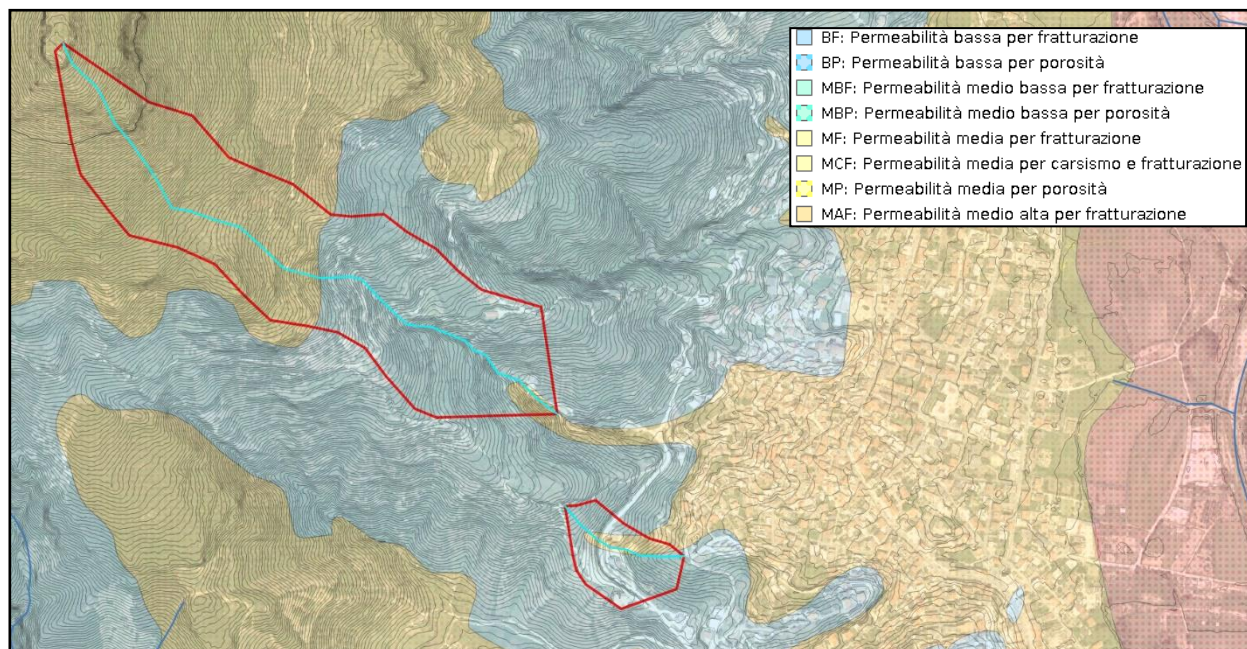
rocce dunque con una struttura del tipo scistoso-porfirica maggiormente compatta del precedente litotipo e dunque meno permeabile (cfr. Figura 10).



**Figura 10 – Carta della litologia scala 1:25.000 – Sardegna Mappe**

Dal punto di vista della permeabilità infatti, come si evince dalla Figura 11, la porzione areale relativa ai depositi terrigeni risulta **medio alta per porosità** (bassa capacità di deflusso) mentre la quota parte rappresentata da porfiroidi risulta **bassa per fratturazione**.





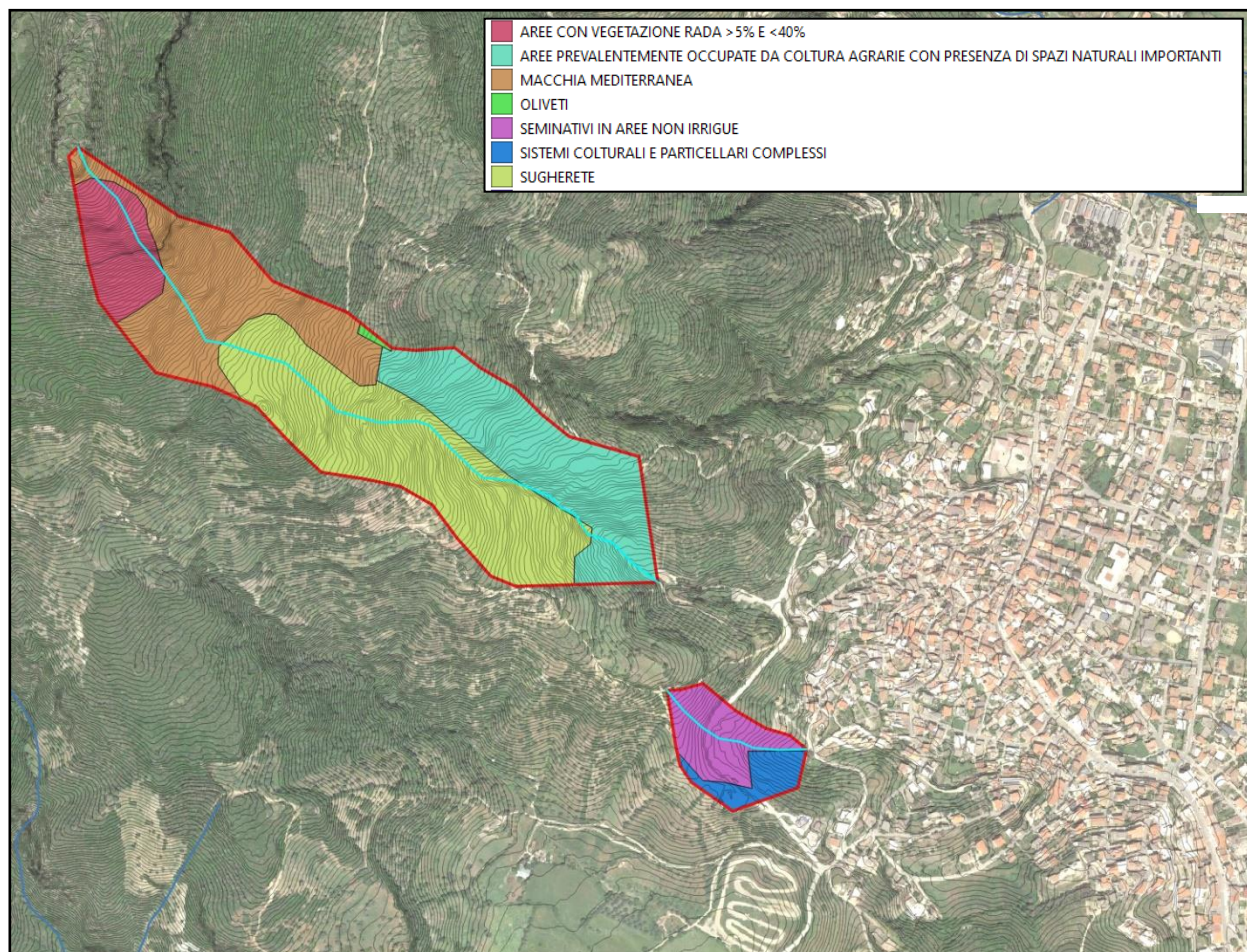
**Figura 11 - Carta della permeabilità 2019 - scala 1:25.000 – Sardegna Mapped**

La tipologia di terreno caratterizzante il sito perciò è stata racchiusa **nella media dei gruppi B e C**, caratterizzato da una potenzialità di deflusso moderata con discreta capacità di infiltrazione a saturazione.

Noto questo, tramite l'utilizzo della carta dell'uso del suolo è stato possibile calcolare il CN per ciascuno dei bacini in oggetto facendo riferimento a ciascuna classe come rappresentato in Figura 12.

I valori calcolati del CN si riferiscono a un grado di umidità iniziale del terreno di tipo II, prima che si verifichi l'evento meteorico, cioè a un terreno umido, e sono relativi alle diverse classi di uso del suolo del bacino idrografico identificate tramite la mappa di uso del suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover RAS – 2008).





**Figura 12 - Classi di uso del suolo (Corine Land Cover 2008) per i bacini idrografici in studio.**

È possibile prendere in considerazione anche situazioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo infatti classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;
- AMC II: condizione media;
- AMC III: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa).



**Tabella 4 - Condizioni di umidità in funzione della precipitazione antecedente**

AMC	Precipitazione antecedente di 5 gg l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
I	< 12,7	< 35,6
II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
III	> 27,9	> 53,3

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988), dove  $n$ ,  $m$  e  $\delta$  sono dei coefficienti numerici noti:

$$CN(I) = \frac{n \cdot CN(II)}{\delta - 0,058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{m \cdot CN(II)}{\delta + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Nel calcolo della portata di progetto si è fatto cautelativamente riferimento alla condizione AMCIII, rappresentativa di una situazione di sostanziale saturazione del terreno (Tabella 5): tale ipotesi è più cautelativa, in quanto ipotizza una ridotta capacità di assorbimento della pioggia che va ad alimentare il deflusso superficiale.

**Tabella 5 - Valori del CN in condizioni di differente saturazione del terreno**

Bacino	AMC I	AMC II	AMC III
<b>FUNTANA MANNA</b>	45	66	<b>82</b>
<b>FUNTANA ESSÌ</b>	58	77	<b>88</b>

## 4. ANALISI IDROLOGICA

### 4.1 APPROCCIO METODOLOGICO

L'analisi idrologica è mirata alla definizione delle portate di progetto utilizzate nelle analisi e nelle verifiche idrauliche. Per la definizione delle portate di piena ad assegnati tempi di ritorno, è stata applicata la formulazione proposta dalla Regione Sardegna nelle "Linee guida per l'individuazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia" valide per il territorio regionale; Sulla base dei risultati ottenuti, sono poi stati considerati i risultati maggiormente cautelativi e rappresentativi delle analisi svolte.





## 4.2 DEFINIZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO

### 4.2.1 Metodologia PAI – Formula Razionale

Secondo quanto indicato nelle *"Linee guida per l'individuazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia"* (Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Lavori Pubblici: *"Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia"* - DL. 180 e Legge 267 del 3-08-1998) valide per il territorio regionale, i metodi di stima della portata ad assegnata frequenza dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica.

In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolti in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti; la seconda come Metodi Indiretti, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate osservate ovvero indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi–deflussi (Kottegoda e Rosso, 1997; Moisello, 1998).

Nel caso della Sardegna, la consistenza dei dati di portata disponibili, unitamente alla frequente necessità di dover stimare le portate in sezioni non osservate, suggerisce che la stima della portata di piena ad assegnata frequenza in ciascuna sezione idrologica debba essere determinata attraverso il confronto critico tra metodologie dirette, indirette e metodi empirici e studi specialistici locali, metodologie che dovranno essere confrontate con i dati osservati ove disponibili<sup>1</sup>.

La stima delle portate di piena, necessaria per la determinazione del parametro progettuale di dimensionamento dell'opera, è stata effettuata seguendo le indicazioni derivanti dalle linee guida del PAI regionale, che distingue tra i diversi metodi quelli diretti, indiretti ed empirici.

- i metodi diretti calcolano il valore della portata al colmo in una sezione di interesse a partire dall'analisi di serie storiche osservate;
- i metodi indiretti utilizzano un modello di trasformazione afflussi – deflussi che consente di determinare la portata di progetto tramite un'analisi statistica delle piogge;
- i metodi empirici pongono in relazione i valori di portata al colmo con i parametri geomorfologici del bacino;

Per motivi legati alla carenza di dati di portata osservati nelle sezioni di interesse non risulta possibile adottare la metodologia diretta per la stima del colmo di piena ad assegnata frequenza. Il metodo diretto (calcolo diretto della portata) di distribuzione di probabilità TCEV, basato su una stima regionalizzata dei parametri della distribuzione (bacini occidentali e orientali), fornisce delle portate di colmo per i diversi tempi di ritorno in funzione dell'area di bacini comunque superiori ai 60 km<sup>2</sup>. Tale approccio risulta quindi inapplicabile ai bacini di interesse.

<sup>1</sup> Fonte: P.A.I. Regione Autonoma Sardegna – Linee Guida per "Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia"



Invece, la stima della portata di colmo con i metodi indiretti come quello razionale con distribuzione TCEV passa attraverso la **valutazione della pioggia critica** nell'ipotesi che il tempo di ritorno di un certo evento di pioggia si possa attribuire anche alla portata che essa genera.

La formula utilizzata è quella classica del metodo razionale

$$Q_{TR} = \frac{C_D \cdot i(T_R)_{T_c} \cdot S}{3,6} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

in cui la portata al colmo relativa ad un certo tempo di ritorno risulta determinata una volta nota l'intensità di pioggia netta ragguagliata di durata pari alla durata critica imposta pari allo stesso tempo di corrivazione  $T_c$  relativa ad un determinato tempo di ritorno.

L'intensità di pioggia critica viene calcolata a partire dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione  $\tau$ , e di una assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno.

Circa la distribuzione probabilistica delle piogge si fa riferimento allo studio di Deidda e Piga sulle curve di possibilità climatica ottenute dall'analisi dei massimi annui delle piogge brevi e intense interpretati con la distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value).

L'applicazione del metodo prevede il calcolo preliminare della pioggia media giornaliera  $\bar{h}(g)$  valutabile per interpolazione dalle isoiete della carta della relativa distribuzione spaziale.

Si ricava la pioggia lorda  $h(\tau)$  dalla nota formula:

$$h(\tau) = a \cdot \tau^n$$

dove:

$$\begin{cases} a = a_1 \cdot a_2 \\ n = n_1 + n_2 \end{cases}$$

$$h(\tau) = a_1 \cdot a_2 \cdot \tau^{n_1+n_2} = \mu(\tau) \cdot k(\tau)$$

dove  $\mu(\tau) = a_1 \cdot \tau^{n_1}$  rappresenta la Pioggia Indice, di durata  $\tau$ , ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata  $\tau$ , mentre  $k(\tau)$  è detto Coefficiente di Crescita.

I parametri  $a_1$  e  $n_1$  sono ricavati in funzione della pioggia media giornaliera, rappresentante la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera:

$$a_1 = \frac{\bar{h}(g)}{0,886 \cdot 24^{n_1}}$$

$$n_1 = -0,493 + 0,476 \log(\bar{h}(g))$$



In particolare, per i bacini idrografici in analisi tale parametro risulta:

$$\bar{h}(g) = 115 \text{ mm}$$

Considerando che i bacini in analisi ricadono nella sottozona omogenea **III** della distribuzione TCEV, che i tempi di ritorno di interesse sono superiori al limite fissato di 10 anni e che i tempi di corrivazione dei bacini in analisi risultano inferiori all'ora, si ricavano i parametri  $a_2$  ed  $n_2$  tramite le relazioni riportate in Tabella 6, così come descritto nelle linee guida: Attività di coordinamento e di perimetrazione delle ree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia "DL 180 e Legge 267 del 3-08-1998".

Per passare dalla pioggia lorda a quella netta si deve stimare la quota parte di pioggia che si perde nel bacino per infiltrazione, immagazzinamento e altri fenomeni.

**Tabella 6 - Parametri della curva di possibilità pluviometrica per TR > 10 anni e Tc inferiore all'ora.**

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata >1 ora
Sottozona 1	$a=0.46420+1.0376*\text{Log}(T)$ $n=-0.18488+0.22960*\text{Log}(T)-3.3216*10^{-3}*\text{Log}^2(T)$	$a=0.46420+1.0376*\text{Log}(T)$ $n=-1.0469*10^{-2}-7.8505*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.43797+1.0890*\text{Log}(T)$ $n=-0.18722+0.24862*\text{Log}(T)-3.36305*10^{-3}*\text{Log}^2(T)$	$a=0.43797+1.0890*\text{Log}(T)$ $n=-6.3887*10^{-3}-4.5420*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 3	$a=0.40926+1.1441*\text{Log}(T)$ $n=-0.19060+0.264438*\text{Log}(T)-3.8969*10^{-3}*\text{Log}^2(T)$	$a=0.40926+1.1441*\text{Log}(T)$ $n=1.4929*10^{-2}+7.1973*10^{-3}*\text{Log}(T)$

Il PAI indica che la stima delle perdite può essere condotta utilizzando il metodo del Curve Number (Soil Conservation Services) che, attraverso l'attribuzione di un numero indice detto CN dipendente dall'uso e dal tipo di suolo, consente di determinare il coefficiente di deflusso e la pioggia netta in base all'espressione

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I)^2}{(h_{lorda} + S - I)}$$

dove  $h_{lorda}$  è la pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità, S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

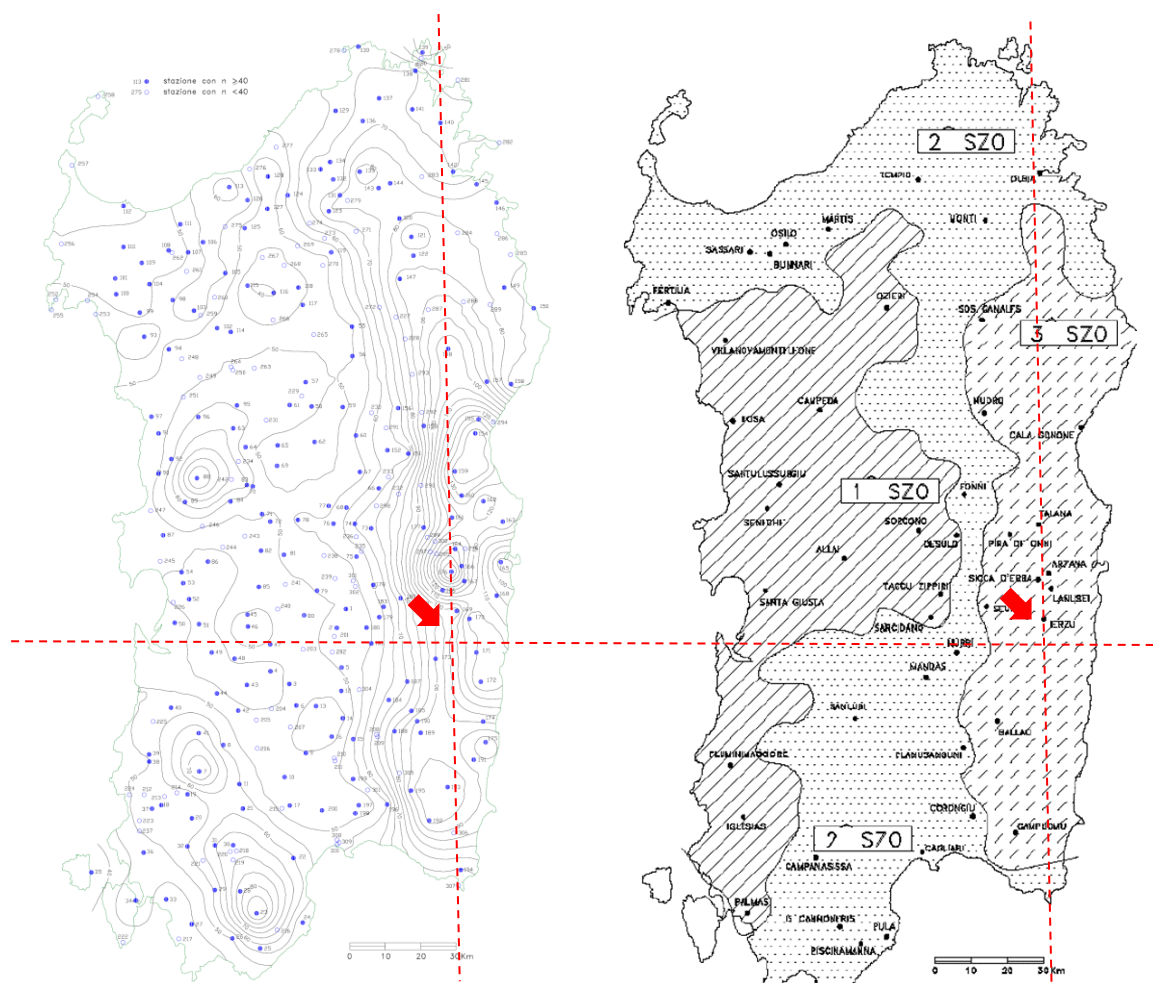
$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

e I è l'assorbimento iniziale, legato empiricamente al parametro S dalla relazione:

$$I_a = \alpha \cdot S$$

Con  $\alpha$  indicato dal PAI in 0,2.





**Figura 13 - Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad.Ricerca n°9 dell'Università di Cagliari, 1997) e sottozone omogenee.**

Tenendo conto delle caratteristiche dei bacini in analisi elencate finora, e ponendosi in condizioni di cautela, si è assunto un valore **CN(III)** ed i valori conseguenti dei parametri **S** ed **I<sub>a</sub>** sono riportati in Tabella 7:

**Tabella 7 - Parametri S ed I<sub>a</sub> dei bacini secondo il metodo CN-SCS**

Bacino	CN(III)	S (mm)	I <sub>a</sub> (mm)
<b>FUNTANA MANNA</b>	<b>82</b>	56.8	11.4
<b>FUNTANA ESSÌ</b>	<b>88</b>	33.3	6.7

Noti tali parametri si è calcolato il valore di pioggia netta che effettivamente contribuisce al deflusso superficiale e per rapporto tra l'altezza di pioggia lorda e la pioggia netta stessa si sono ricavati i valori del coefficiente di deflusso, variabile a questo punto con il TR, indispensabile per il calcolo del colmo di piena secondo la formulazione razionale:



La formula razionale è una delle formulazioni più note e validate in letteratura, basata sul *metodo della corrivazione* e raccomandata anche nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" proposta dall'Autorità di Bacino nelle Norme di Attuazione del PAI, per il calcolo delle portate di piena in bacini idrografici di piccole dimensioni.

Il modello assume che la precipitazione sia uniformemente distribuita nel tempo e nello spazio e si basa sulla curva di massima possibilità climatica. La portata al colmo dipende essenzialmente dal volume d'acqua affluito sul bacino durante l'evento meteorico e dalle caratteristiche fisiche e morfologiche del bacino stesso. La precipitazione viene ricavata direttamente dalla curva di massima possibilità climatica calcolata secondo la metodologia TCEV precedentemente illustrata con un'intensità costante per tutto l'evento, assumendo una durata pari al tempo di corrivazione del bacino in esame (risulta così garantito che l'intero bacino contribuisca alla formazione dei deflussi alla sezione di chiusura).

Le portate così calcolate risultano:

**Tabella 8 - Portate liquide al colmo di piena calcolate secondo la metodologia PAI**

Portata Metodologia PAI - razionale	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
<b>FUNTANA MANNA</b>	1.1	1.4	1.7	1.9	2.1	2.5
<b>FUNTANA ESSI</b>	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.32

**Tabella 9 - Parametri della distribuzione TCEV per il calcolo della pioggia netta di progetto**

BACINO - FUNTANA MANNA							
Pioggia Indice giornaliera					115	mm	
Tempo di corrivazione					0.17	ore	
Capacità massima assorbimento					56.82	mm	
Tempo di ritorno [anni]	Coefficienti metodo TCEV				Pioggia Lorda [mm]	Pioggia netta [mm]	C <sub>D</sub> [-]
	a1	n1	a2	n2			
10	27.5340	0.4879	1.5534	0.0349	16.79	3.83	0.23
20	27.5340	0.4879	1.8978	0.0875	18.67	4.62	0.25
50	27.5340	0.4879	2.3531	0.1462	20.84	5.59	0.27
100	27.5340	0.4879	2.6975	0.1824	22.40	6.33	0.28
200	27.5340	0.4879	3.0419	0.2115	23.97	7.11	0.30
500	27.5340	0.4879	3.4972	0.2392	26.23	8.28	0.32



BACINO - RIU FUNTANA ESSI							
Pioggia Indice giornaliera						115	mm
Tempo di corrivazione						0.06	ore
Capacità massima assorbimento						33.33	mm
Tempo di ritorno [anni]	Coefficienti metodo TCEV				Pioggia Lorda [mm]	Pioggia netta	C <sub>D</sub>
	a1	n1	a2	n2		[mm]	[-]
10	27.5340	0.4879	1.5534	0.0349	10.17	2.38	0.23
20	27.5340	0.4879	1.8978	0.0875	10.75	2.62	0.24
50	27.5340	0.4879	2.3531	0.1462	11.35	2.88	0.25
100	27.5340	0.4879	2.6975	0.1824	11.77	3.07	0.26
200	27.5340	0.4879	3.0419	0.2115	12.26	3.29	0.27
500	27.5340	0.4879	3.4972	0.2392	13.06	3.68	0.28





## 5. DEFINIZIONE DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

Noto il valore al colmo della portata di piena calcolato precedentemente (cfr. §4.2.1) è necessario calcolare l'andamento dell'onda di piena per le successive analisi in particolare in relazione alla capacità di trasporto solido.

L'esperienza mostra che le onde di piena che interessano i corsi d'acqua naturali hanno un caratteristico andamento asimmetrico.

La portata, dopo aver raggiunto in un tempo relativamente breve pari al tempo di picco  $T_c$ , il valore massimo  $Q_{max}$ , diminuisce lentamente durante la fase di esaurimento fino a riportarsi nuovamente, in un tempo relativamente lungo, alla portata di base che scorre nel letto del fiume al momento dell'inizio della piena.

Le indagini sperimentali svolte da alcuni tecnici (dei quali si può citare Marone, Lazzari ed Hager) hanno mostrato che si può assumere con buona approssimazione una variazione dell'andamento dell'onda di piena corrispondente alla seguente legge:

$$Q_t = Q_b + (Q_{max} - Q_b) \cdot \left(\frac{t}{T_c}\right)^m \cdot e^{\left[m \cdot \left(1 - \frac{t}{T_c}\right)\right]}$$

L'introduzione del parametro  $m$  permette di adattare la legge esponenziale ad un'onda reale andando a tarare il suddetto parametro in funzione del volume idraulico di piena calcolato in precedenza (cfr. § 4.2.1).

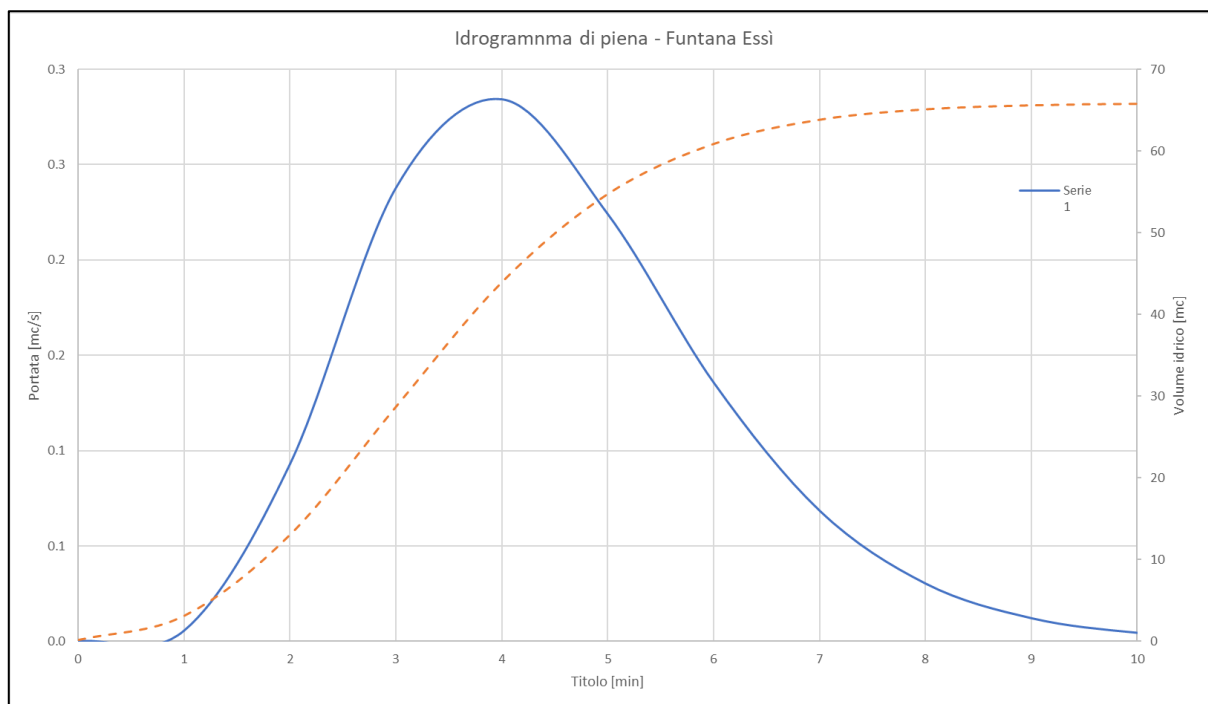
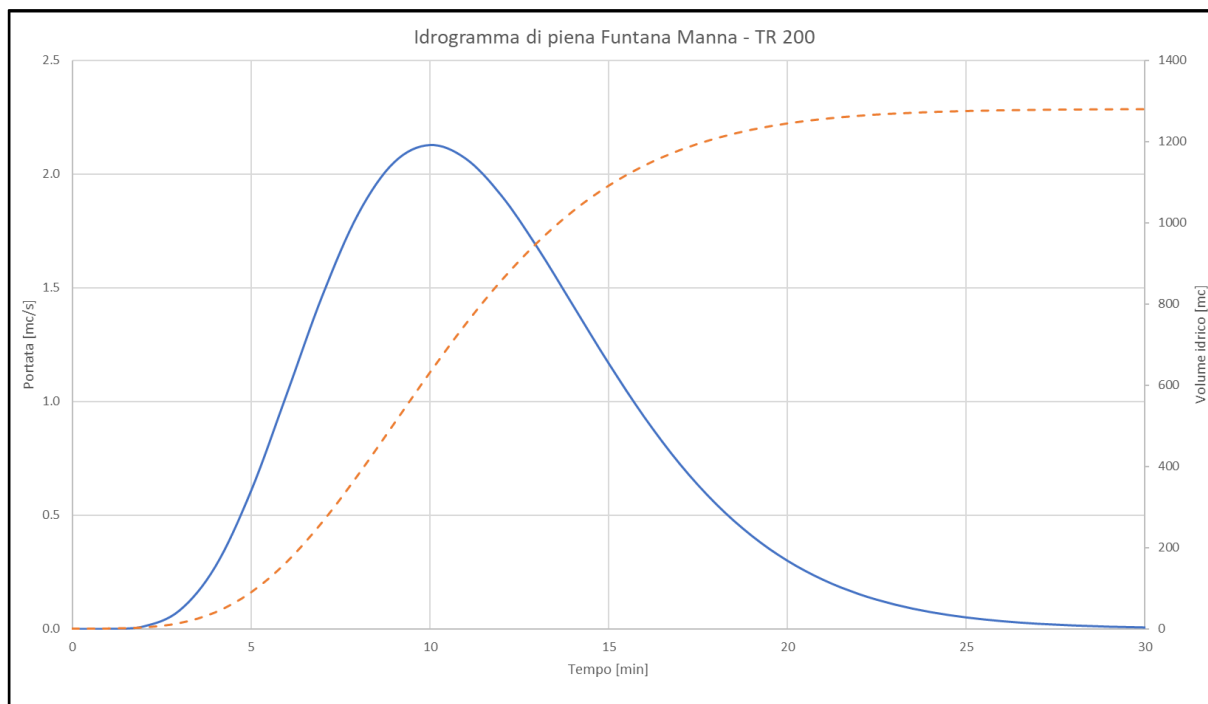
**Tabella 10 – Valori calcolati delle portate di piena e dei volumi liquidi per i bacini in analisi.**

PORTATE DI PIENA E VOLUMI LIQUIDI			PORTATE DI PIENA E VOLUMI LIQUIDI		
$Q_{TR 20}$	$Q_{TR 200}$	$Q_{TR 500}$	$Q_{TR 20}$	$Q_{TR 200}$	$Q_{TR 500}$
[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
<b>1.4</b>	<b>2.1</b>	<b>2.5</b>	<b>0.23</b>	<b>0.29</b>	<b>0.32</b>
$V_{TR 20}$	$V_{TR 200}$	$V_{TR 500}$	$V_{TR 20}$	$V_{TR 200}$	$V_{TR 500}$
[x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	[x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	[x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	[x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	[x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	[x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
<b>831</b>	<b>1280</b>	<b>1491</b>	<b>52</b>	<b>66</b>	<b>74</b>

In base a quanto detto le onde di piena calcolate ed utilizzate per le successive analisi risultano le seguenti:



**Tabella 11 -Idrogrammi di piena relativi ad un evento TR 200 per i corsi d'acqua in analisi.**





## 6. ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO AL FONDO

### 6.1 ASPETTI METODOLOGICI

La capacità di trasporto della corrente è la grandezza che rappresenta la portata solida convogliata dalla corrente in condizioni di equilibrio, cioè in regime uniforme, sia per quanto riguarda il moto dell'acqua sia per quanto concerne il trasporto dei sedimenti.

La portata solida è espressa da una relazione univoca che lega tra loro le caratteristiche idrometriche della corrente con quelle sedimentologiche del fondo alveo, entrambe assunte uniformi lungo i rii in esame.

Le formule esistenti in letteratura per il calcolo del trasporto solido sono solitamente di natura semi-empirica, risultato dell'analisi di dati di campagna o di prove sperimentali di laboratorio: esse non possono, in alcun caso, tenere in considerazione tutti i meccanismi fisici legati al fenomeno del trasporto solido, pertanto il loro campo di applicazione risulta essere ristretto ai limiti dell'ambito sperimentale dal quale sono state desunte. Per questo motivo la loro applicazione, senza gli opportuni approfondimenti, comporta una notevole dispersione dei risultati: si pensi infatti all'enorme variabilità dei parametri in gioco in questo tipo di problemi passando da un fiume di pianura ad un torrente di montagna, sia dal punto di vista delle condizioni idrodinamiche che granulometriche.

### 6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO ORDINARIO

La stima del trasporto solido al fondo si basa sulla conoscenza delle caratteristiche idrauliche, sedimentologiche e geometriche dell'alveo. In letteratura sono state proposte numerose formule, ma nessuna di queste fornisce un criterio di stime del trasporto solido che possa ritenersi del tutto affidabile e adeguatamente accurato per gli scopi tecnici. Per ottenere stime attendibili occorre quindi adottare la formula più appropriata per il caso in esame, verificando che le condizioni sedimentologiche, geometriche ed idrauliche, per le quali la formula viene applicata, siano prossime a quelle dalle quali è stata derivata.

In seguito viene riportata la formulazione maggiormente utilizzata nel campo della pratica ingegneristica, ovvero la formula di Meyer – Peter e Muller. Essa è stata sviluppata per alvei composti da materiale grossolano (ghiaia, ciottoli e massi), in cui il trasporto solido in sospensione è trascurabile, pur essendo presente come frazione più o meno piccola del trasporto solido totale.

Dopo successive elaborazioni arrivarono alla formulazione definitiva, relativa ad un letto di materiale solido a granulometria mista e con fondo ondulato:

$$\frac{\gamma \cdot R \cdot i}{(\gamma_m - \gamma) \cdot d_{50}} \cdot \left(\frac{k}{k'}\right)^{\frac{3}{2}} = 0.047 + \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{q_{PI}^{\frac{2}{3}}}{(\gamma_m - \gamma) \cdot d_{50}}$$

Il rapporto  $k/k'$  corregge la pendenza motrice  $i$  tenendo conto delle forme di fondo; esso varia tra 0,5 (in presenza di marcate forme di fondo) e 1 (se il fondo è piano e la resistenza è tutta dovuta alla scabrezza granulare del fondo);  $k$  è il parametro di scabrezza di Gauckler-Strickler, mentre  $k'$  è lo stesso parametro riferito alla scabrezza dovuta esclusivamente ai granuli del materiale mobile.





### 6.2.1 Formule di trasporto solido semplificate

In letteratura sono presenti anche formulazione semplificate che forniscono una stima speditiva della capacità di trasporto solido del corso d'acqua una volta definita la portata d'interesse.

In seguito si riporta un breve elenco delle formulazioni semplificate più conosciute in letteratura:

- 1) Formula di Schoklitsch (1934)

$$q_s = 0.94 \cdot q \cdot i_f^{1.5}$$

- 2) Formula di Smart & Jaeggi (1984)

$$q_s = 2.55 \cdot q \cdot i_f^{1.6}$$

- 3) Formula di Richenmann (1990)

$$q_s = 5.83 \cdot q \cdot i_f^2$$

- 4) Formula di Mizuyama e Shimohigashi (1985)

$$q_s = 8.36 \cdot q \cdot i_f^2$$

- 5) Formula di Mizuyama (1991)

$$q_s = 5.50 \cdot q \cdot i_f^2$$

## 6.3 CALCOLO DELLE PORTATE DI TRASPORTO SOLIDO ORDINARIO

La quantificazione della capacità di trasporto solido è stata valutata a seguito di analisi morfologiche del bacino, dell'analisi della litologia e della granulometria presente nelle diverse zone dei bacini in oggetto.

Il contributo di portata solida è stato calcolato assumendo per la pendenza dell'asta il valore medio del tratto oggetto di analisi. In generale, data la natura empirica di queste formulazioni, esse forniscono risultati che possono essere anche molto diversi tra loro. Dall'analisi dei risultati ottenuti, infatti, si osserva una certa variabilità. È stato pertanto assunto il valore medio come valore di riferimento per le successive verifiche idrauliche.

I valori di portata solida ( $Q_s$ ), per i differenti bacini idrografici in esame, sono riportati in Tabella 12.

I valori di portata solida ottenuti sono da considerarsi come un limite inferiore della capacità di trasporto solido e rappresentano quindi una stima della movimentazione di sedimenti lungo l'intera asta fluviale e sono alla base della valutazione della gestione dei sedimenti senza alterazione dell'equilibrio del corso d'acqua.



Tabella 12 – Valori di portata solida ordinaria per TR 50 – 100 – 200 e 500 anni per i bacini in analisi

Funtana Manna								
Qs [mc/s]	TR 50	C [%]	TR 100	C [%]	TR 200	C [%]	TR 500	C [%]
Schoklitsch	0.3	15.2	0.3	15.2	0.4	15.2	0.4	15.2
Smart & Jaeggi	0.7	30.3	0.8	30.3	0.9	30.3	1.1	30.3
Richenmann	1.1	39.0	1.2	39.0	1.4	39.0	1.6	39.0
Shimohigashi	1.5	47.8	1.7	47.8	1.9	47.8	2.3	47.8
Mizuyama	1.0	37.6	1.1	37.6	1.3	37.6	1.5	37.6
<b>Qs MED[mc/s]</b>	<b>0.9</b>		<b>1.0</b>		<b>1.2</b>		<b>1.4</b>	
Qs MAX[mc/s]	1.5		1.7		1.9		2.3	

Funtana Essi								
Qs [mc/s]	TR 50	C [%]	TR 100	C [%]	TR 200	C [%]	TR 500	C [%]
Schoklitsch	0.0	2.2	0.0	2.0	0.0	1.9	0.0	1.9
Smart & Jaeggi	0.1	5.0	0.1	4.8	0.1		0.1	4.4
Richenmann	0.1	6.9	0.1	6.5	0.1	6.2	0.2	6.0
Shimohigashi	0.2	9.6	0.2	9.1	0.2	8.7	0.2	8.4
Mizuyama	0.1	6.5	0.1	6.2	0.1	5.9	0.1	5.7
<b>Qs MED[mc/s]</b>	<b>0.11</b>		<b>0.12</b>		<b>0.13</b>		<b>0.14</b>	
Qs MAX[mc/s]	0.8		0.19		0.20		0.23	

Pertanto le portate solide ordinarie nate dalla somma delle portate liquide al colmo di piena ottenute tramite metodologia PAI (cfr. §4.2.1) con la relativa quota parte solida così calcolata, si ottengono i seguenti valori:

Tabella 13 – Portate al colmo di piena LIQUIDE + SOLIDE (ordinarie)

PORTATA AL COLMO LIQUIDA + SOLIDA ORDINARIA		
Bacino	FUNTANA MANNA	FUNTANA ESSI
TR [anni]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
10	1.8	0.30
20	2.1	0.33
50	2.6	0.36
100	2.9	0.38
<b>200</b>	<b>3.3</b>	<b>0.41</b>
500	3.8	0.46



## 7. CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO IPERCONCENTRATO

Le colate di trasporto solido iperconcentrato si verificano in particolare in condizioni di forte pendenza dell'alveo e di elevata presenza di materiale solido mobilitabile di varia pezzatura.

La variazione tipologica di trasporto solido dalla condizione ordinaria alla condizione di trasporto iperconcentrato è discriminata dall'altezza della corrente interessata dal trasporto di materiale solido e da quella non interessata o, più specificatamente, interessata esclusivamente dal trasporto di materiale di minutissime dimensioni. Nelle condizioni di trasporto solido ordinario, altrimenti definito bed-load, lo spessore dello strato di corrente caratterizzato dal fenomeno di trasporto solido di fondo è dello stesso ordine di grandezza delle dimensioni del materiale solido trasportato, il cui moto avviene per salti, strisciamenti o rotolamenti.

Nelle condizioni di trasporto solido iperconcentrato, che si discriminano a loro volta nella formazione di immature o mature debris flow, si ha un trasporto solido all'interno dello spessore dello strato di corrente che è sensibilmente superiore rispetto alle dimensioni delle particelle veicolate e che, al limite, può interessare tutto lo strato di corrente.

I comportamenti di una colata dipendono in maniera predominante dalla reologia del materiale interessato, grandezza che può variare nel corso dell'evento e da un punto all'altro dell'asta torrentizia. Dallo studio di fenomeni di colata, è emerso come nella maggioranza dei casi essi si presentino in occasione di eventi pluviometrici di particolare intensità, preceduti o non da periodi di pioggia. Tuttavia è importante notare come i fenomeni di colata si possano presentare sotto forma di un'unica onda o di più onde successive di intensità variabile.

### 7.1 MECCANICA DELLA MOBILIZZAZIONE E DEL MOVIMENTO DELLA COLATA

I diversi meccanismi di mobilizzazione dei sedimenti ed i campi di esistenza di ciascuna tipologia di corrente emergono analizzando un ammasso granulare saturo di spessore  $D$ , composto di particelle non coesive di densità  $\rho_s$ , con angolo di attrito interno pari a  $\phi$  e granulometria uniforme sulla quale defluisce una corrente idrica in moto uniforme che esercita uno sforzo  $\tau_0$  sull'ammasso assunto in quiete. È definita come concentrazione di massimo impaccamento  $C^*$  la concentrazione di volume delle particelle nell'ammasso in condizioni statiche.

Dall'osservazione e dall'analisi matematica si rileva come le forze destabilizzanti siano riconducibili a:

- lo sforzo idrodinamico di fondo;
- il peso del materiale solido;
- il peso dell'acqua interstiziale nell'ammasso.

Le forze stabilizzanti dell'ammasso sono invece funzione essenzialmente dell'attrito del materiale, e quindi del peso dello stesso.

Non approfondendo ulteriormente l'analisi teorica, è utile evidenziare come i meccanismi di mobilizzazione delle correnti iperconcentrate, siano esse immature o mature debris flow, sono differenti da quelli che caratterizzano il classico trasporto di fondo.

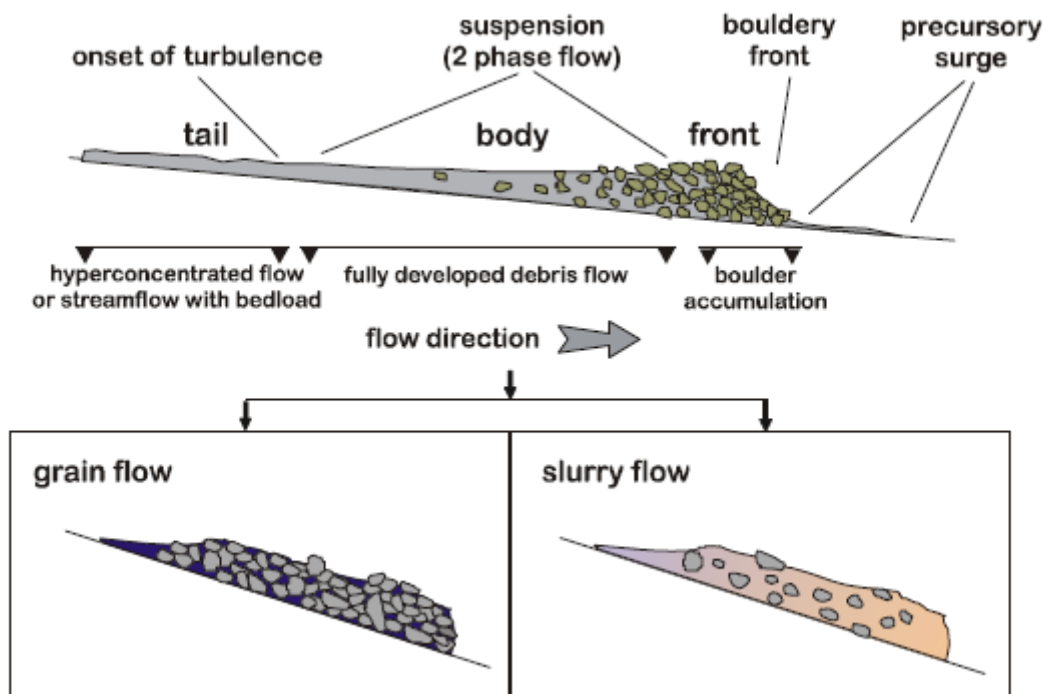


Figura 14 – Schema grafico di un'onda di debris flow

Nella maggior parte dei casi, quando il processo di formazione è dovuto alla sollecitazione di una corrente defluente su un ammasso di materiale incoerente saturo, ciò che controlla e limita il processo di erosione è la presenza di uno strato staticamente instabile.

Nel processo di formazione la corrente va caricandosi di materiale attraverso la progressiva destabilizzazione di tale strato. Al crescere della concentrazione il suo spessore va riducendosi fino ad annullarsi e la corrente detritica raggiunge la condizione di equilibrio, definita dalla relazione di Takahashi e denominata condizione di saturazione.

$$C = \alpha \frac{\rho \cdot \tan \theta}{(\rho - \rho_s)(\tan \varphi - \tan \theta)^\gamma}$$

Con  $C$  concentrazione di equilibrio della colata,  $\alpha$  e  $\gamma$  parametri empirici e  $\theta$  l'angolo di inclinazione del fondo.

## 7.2 METODOLOGIA DI CALCOLO PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PICCO DELLA COLATA DI DETRITO

Uno degli aspetti determinanti per l'analisi di un fenomeno di colata detritica, nell'ottica di una corretta definizione dei fenomeni che potenzialmente si possono manifestare, è rappresentato dalla costruzione del "debrisgramma", ovvero del grafico che rappresenta la variazione di portata della colata nel tempo o dalla determinazione dell'entità del picco di portata in corrispondenza di un evento pluviometrico parossistico.





Le caratteristiche e l'entità del debrisgramma e della portata di picco del fenomeno di colata dipendono in generale dall'apporto di portata liquida dell'evento a cui sono correlate, ovvero dall'idrogramma di piena.

L'analisi idrologica è pertanto propedeutica allo studio dei fenomeni di colate detritiche: una volta ottenuto l'idrogramma della portata liquida corrispondente ad un prefissato  $T_r$  si è in grado di stimare la portata di picco del fenomeno di colata utilizzando le metodologie ed i criteri proposti in letteratura.

La metodologia considerata per il calcolo della portata di picco di un debris flow è quella proposta da Takahashi nel 1991:

$$Q_{d\max} = Q_{l\max} \cdot \frac{C^*}{C^* - C}$$

La formula è altrimenti esprimibile come:

$$Q_{d\max} = Q_{l\max} \cdot k$$

$$k = \frac{C^*}{C^* - C}$$

dove con  $C^*$  si indica la concentrazione di massimo impaccamento o la concentrazione statica dei sedimenti, ossia la concentrazione prima che l'ammasso si mobiliti, come definito precedentemente.

Le formulazioni per il calcolo della  $C$ , ossia della concentrazione solida volumetrica all'equilibrio del fronte stazionario, sono funzioni essenzialmente delle caratteristiche geomeccaniche del sedimento e della pendenza dell'alveo, oltre che della densità dell'acqua e della densità del solido. Inoltre, esse sono funzione anche del valore della concentrazione statica  $C^*$ .

La capacità di mobilitazione del materiale dipende invece dalla portata critica, ossia dalla portata per la quale si ha l'instaurarsi del fenomeno di colamento per effetto dell'azione di trasporto della portata liquida. Il valore di portata liquida iniziale di soglia, al di sopra della quale si attivano i movimenti di particelle solide e il trasporto solido, è stata valutata mediante la formulazione di Schoklitsch (1957).

Da letteratura si rileva come condizione che può essere assunta per l'inizio e la fine del fenomeno del debris flow sia quella che si ha in corrispondenza del raggiungimento della una portata pari a 2-3  $Q_{cr}$ .

Il picco di debris flow è invece determinato calcolando la condizione di massimo in corrispondenza del massimo valore di portata idrica; il valore di  $C_v$  non supera mai il valore di  $C^*$ , ossia assume come limite superiore il valore di  $0.9C^*$ ; conseguentemente, il valore di picco della portata solida per il debrisgramma non supera mai la condizione di  $10Q_l$ .



### 7.3 CALCOLO DEL DEBRISGRAMMA PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO

Per quanto descritto al paragrafo precedente, si è proceduto al calcolo del debrisgramma per eventi di colata di debris caratterizzati dal tempo di ritorno assunto di progetto TR 200 anni per entrambi i bacini in analisi, riconoscendo però di quanto il bacino del Funtana Manna possa essere maggiormente propenso al manifestarsi di tale fenomeno, sia per estensione che per tipologia di sedimenti disponibili all'interno del bacino idrografico.

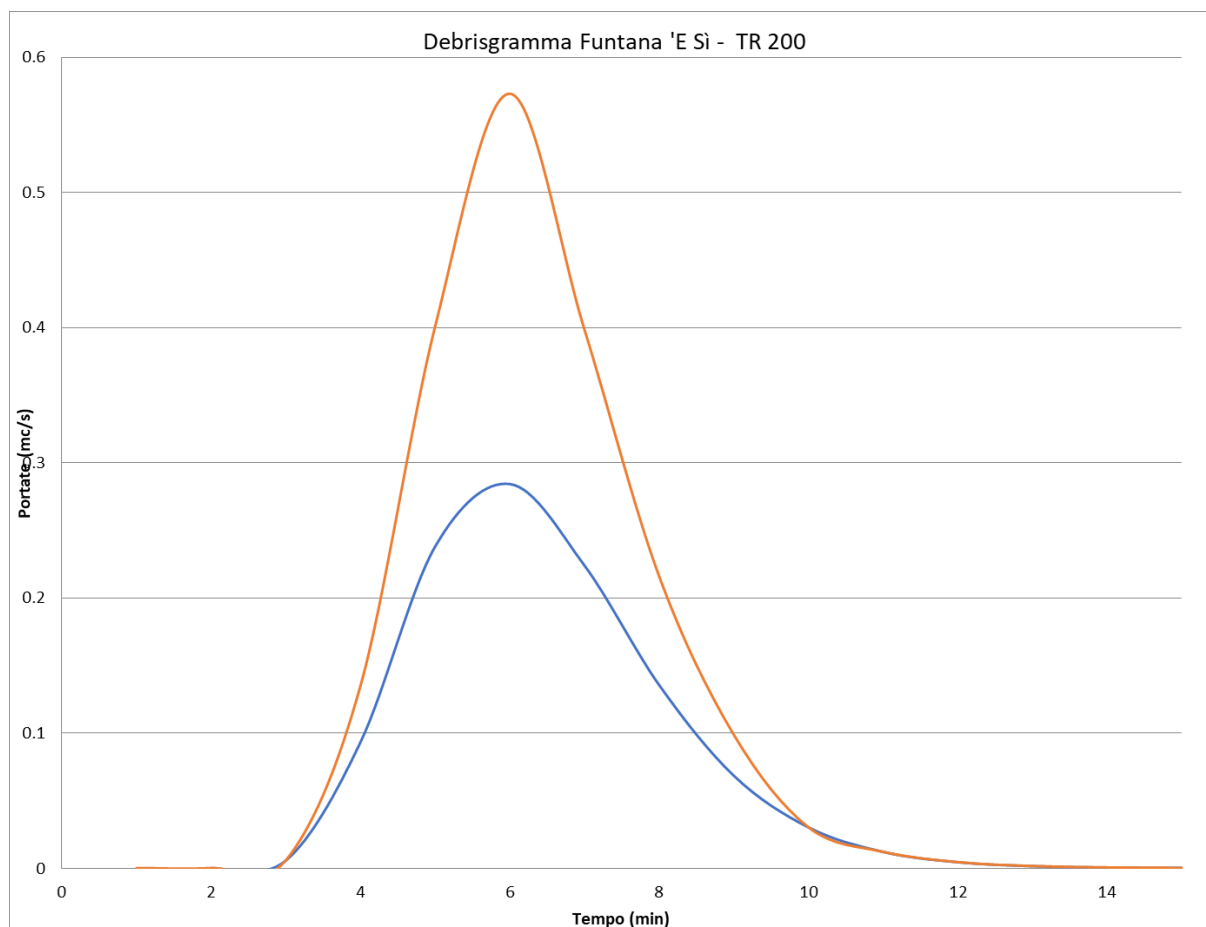
La concentrazione di equilibrio considerata è pari a 0.40 per il Funtana Manna e 0.33 per il Funtana 'E sù.

Nel seguito si riportano i grafici di riferimento per TR 200 anni e la tabella con una stima dei volumi attesi di colata.

Il calcolo del volume solido della colata è stato condotto abbinando il criterio geomorfologico al criterio idrologico: il volume effettivo di colata deve essere commisurato da un lato alla disponibilità del materiale in alveo, dall'altro all'effettiva capacità di presa in carico e trasporto del materiale solido, individuabile utilizzando le formulazioni di Schocklish.

Alla luce di ciò, il debrisgramma di progetto per un evento parossistico di Tr 200 anni interessante il bacino del rio Funtana Manna porta a una stima del volume solido di debris di circa 1'200 m<sup>3</sup>.

Il volume solido mobilitabile per il rio Funtana 'E sù porta invece a una stima del trasporto solido iperconcentrato di circa 50 m<sup>3</sup>. La sintesi dei risultati è riportata in Tabella 14.



*Figura 15 – Debrisgramma per Tr 200 anni per il bacino del Funtana Essi*

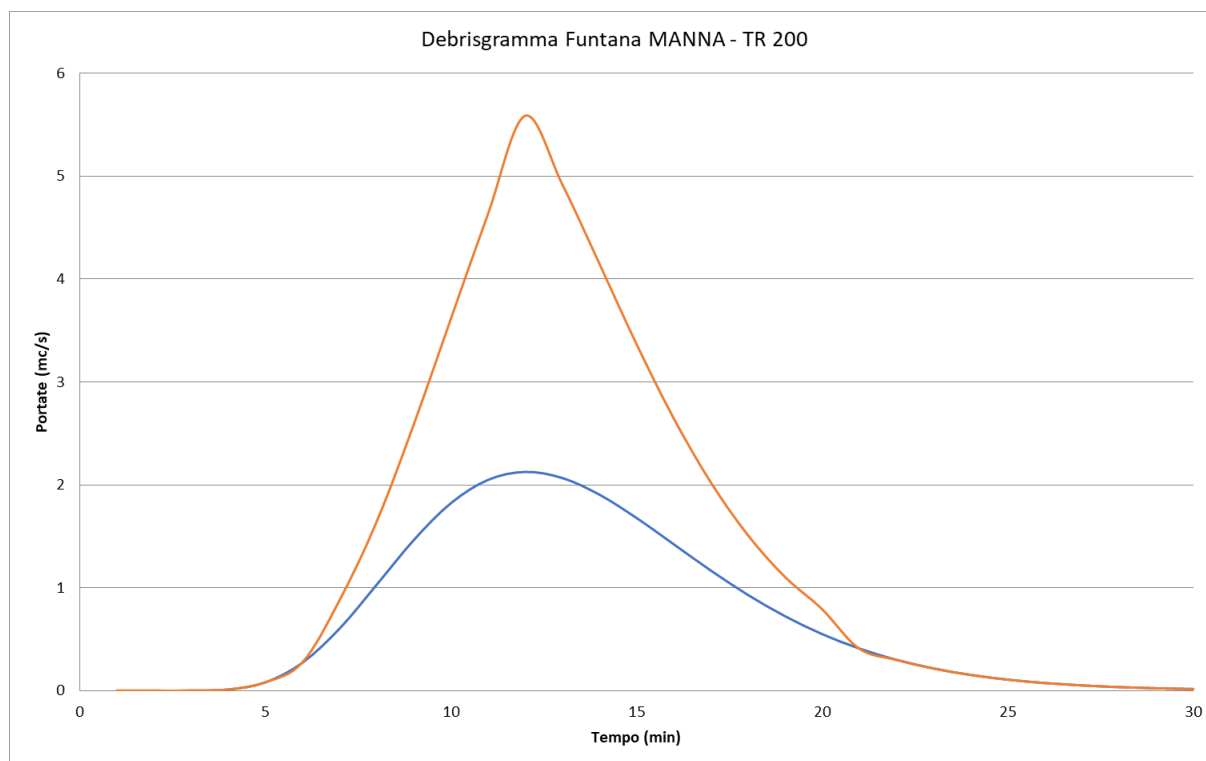


Figura 16 - Debrisgramma per Tr 200 anni per il bacino del Funtana Manna

Nella tabella seguenti si riporta l'entità del picco di portata solida attesa per i differenti bacini idrografici in esame e l'entità del volume solido potenzialmente mobilizzabile da una colata detritica di Tr 200 anni.

Tabella 14 – Portate e volumi caratteristici per eventi di debris flow attesi per i differenti bacini - TR 200 anni

BACINO IDROGRAFICO	Picco di portata liquida (m <sup>3</sup> /s)	Picco di portata di debris (m <sup>3</sup> /s)	V liquido idrogramma (m <sup>3</sup> )	V solido potenziale della colata (m <sup>3</sup> )
Funtana Manna	2.13	5.6	1'280	1'196
Funtana 'E sì	0.29	0.6	66	47





## 8. SINTESI DELLE PORTATE DI PROGETTO E DEI VOLUMI DI PIENA

Si riporta una sintesi tabellare i valori di portata di progetto TR 200 al colmo di piena per entrambi i bacini oggetto di analisi e relative alla sola fase liquida, liquida e solida ordinaria e il picco di debris flow.

*Tabella 15 – Sintesi tabellare dei valori di portata per un evento TR 200 per i bacini in analisi*

PORTATA AL COLMO LIQUIDA TR 200 ANNI [m <sup>3</sup> /s]		
Bacino	FUNTANA MANNA	FUNTANA ESSI
-	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
<b>RAZIONALE</b>	2.13	0.29
PORTATA SPECIFICA PER UNITA' DI SUPERFICIE [m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> ]		
Bacino	FUNTANA MANNA	FUNTANA ESSI
-	q [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	q [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]
<b>RAZIONALE</b>	11.82	14.29
PORTATA DI PICCO DEBRIS TR 200 ANNI [m <sup>3</sup> /s]		
<i>i</i>	0.33	0.29
<i>C<sub>w</sub></i>	0.40	0.33
<i>k</i>	2.6	2.0
Bacino	FUNTANA MANNA	FUNTANA ESSI
TR [anni]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
200	5.6	0.6
PORTATA SOLIDA ORDINARIO TR 200 ANNI [m <sup>3</sup> /s]		
Bacino	FUNTANA MANNA	FUNTANA ESSI
<i>med</i>	1.18	0.12
<i>max</i>	1.95	0.20
SINTESI PORTATE DI PICCO TR 200 ANNI [m <sup>3</sup> /s]		
	FUNTANA MANNA	FUNTANA ESSI
<b>Q<sub>LIQ</sub></b>	2.1	0.29
<b>Q<sub>LIQ+SOL (med)</sub></b>	3.3	0.41
<b>Q<sub>LIQ+SOL (max)</sub></b>	4.1	0.49
<b>Q<sub>PICCO DEBRIS</sub></b>	5.6	0.58



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO  
NELLA REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

*decreto legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2*

**REGIONE AUTONOMA DI SARDEGNA**

*“INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA”.*

***Progetto di fattibilità tecnica ed economica***

**SRIA**  
s.r.l.  
**STUDIO ROSSO**  
INGEGNERI ASSOCIATI

**ALLEGATI**



COMMISSARIO DI GOVERNO CONTRO IL DISSESTO IDROGEOLOGICO  
NELLA REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

*decreto legge n. 133 del 12 settembre 2014 art. 7, comma 2*

**REGIONE AUTONOMA DI SARDEGNA**

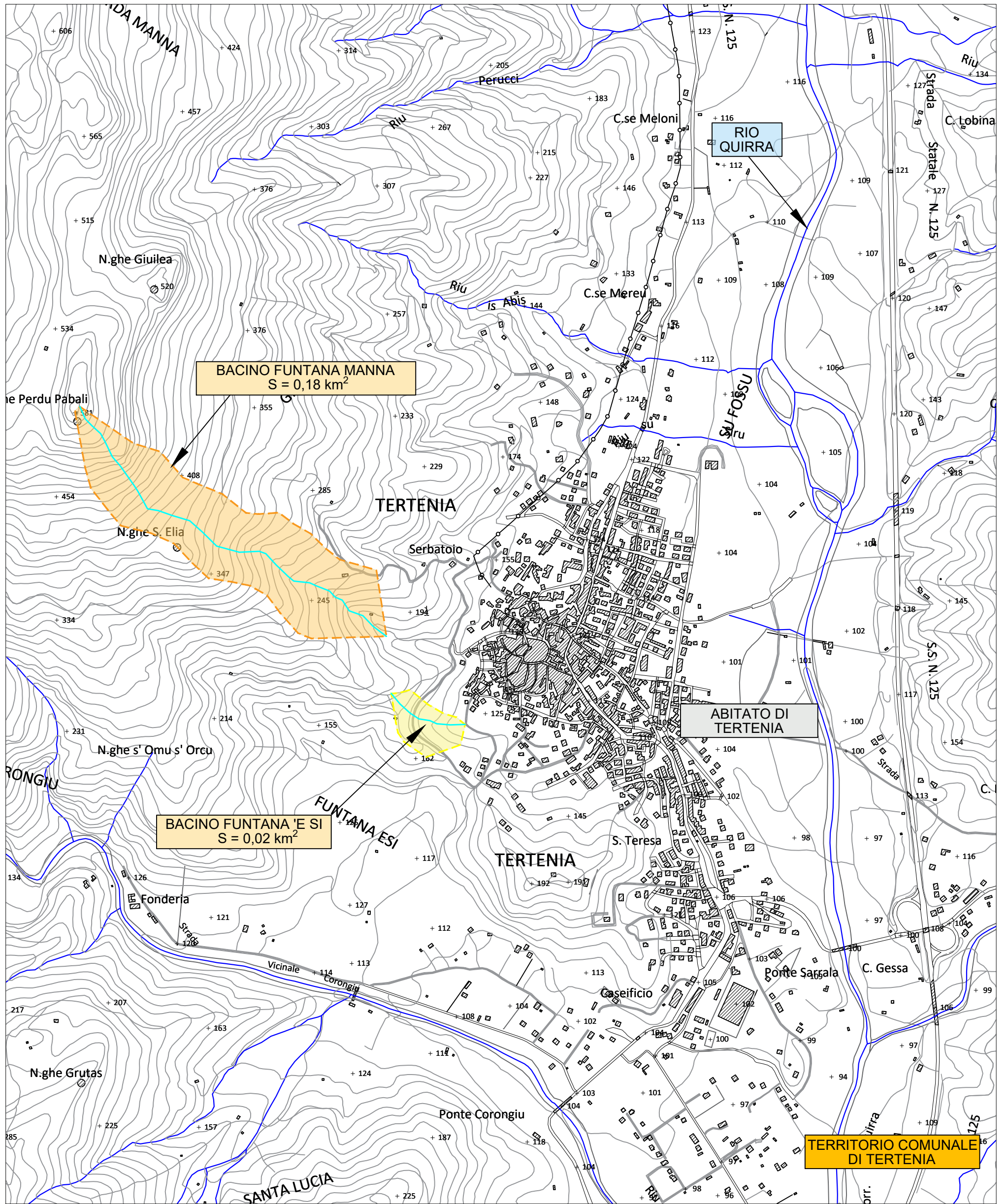
*“INTERVENTI DI DIFESA DA RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI TERTENIA”.*

***Progetto di fattibilità tecnica ed economica***

**SRIA**  
S.r.l.  
**STUDIO ROSSO**  
INGEGNERI ASSOCIATI

## **ALLEGATO 1**

**– Carta dei bacini idrografici**



# CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI

Base carta: DBGT 10K - DataBase GeoTopografico - 2020 - 1:10.000

Scala 1 : 10.000

