

Proponente

FLUMINI MANNU

FLUMINI MANNU LIMITED

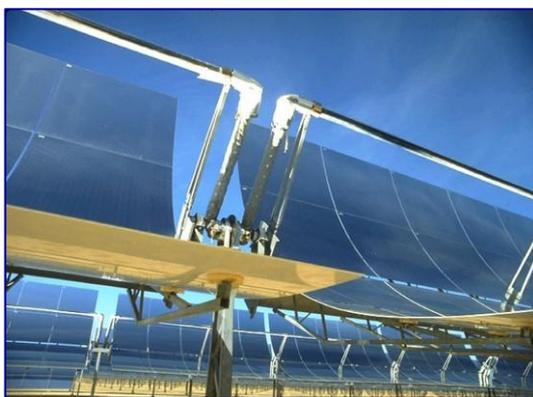
Sede Legale: Bow Road 221 - Londra - Regno Unito
Filiale Italiana: Corso Umberto I, 08015 Macomer (NU)

Provincia di Cagliari

Comuni di Villasor e Decimoputzu

Nome progetto

**Impianto Solare Termodinamico della potenza lorda di
55 MWe denominato "FLUMINI MANNU"**



VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Titolo Documento:

RELAZIONE

Sviluppo:



Energogreen Renewables S.r.l.

Via E. Fermi 19, 62010 Pollenza (MC)

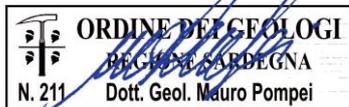
www.energogreen.com

e-mail: info@energogreen.com

Documento realizzato da:

Dott. Geol. Mauro Pompei

Dott. Ing. Alessandro Salis



Rev.	Data	Descrizione	Codice di Riferimento
0	11/2014	Prima Emissione	SCIREL001

Proprietà e diritti del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata

Gruppo di lavoro Energogreen Renewables:



Energogreen Renewables Srl

Via E. Fermi, 19 - 62010 - Pollenza (MC)

- 1. Dott. Ing. Cecilia Bubbolini*
- 2. Dott. Ing. Loretta Maccari*
- 3. Dott. Ing. Devis Bozzi*

Consulenza Esterna:

- Dott. Arch. Luciano Viridis: Analisi Territoriale*
- Dott. Manuel Floris: "Rapporto Tecnico di Analisi delle Misure di DNI - Sito Flumini Mannu (CA)*
- Dott. Agr. Vincenzo Satta: "Relazioni su Flora, Vegetazione, Pedologia e Uso del Suolo"*
- Dott. Agr. Vincenzo Sechi: "Relazione faunistica"*
- Dott. Agr. V. Satta e Dott. Agr. V. Sechi: "Relazione Agronomica"*
- Dott. Geol. Eugenio Pistolesi: "Indagine Geologica Preliminare di Fattibilità"*
- Studio Associato Ingg. Deffenu e Lostia: "Documento di Previsione d'Impatto Acustico"*
- Dott. Arch. Leonardo Annessi: Rendering e Fotoinserimenti*
- Tecsa S.r.l.: "Rapporto Preliminare di Sicurezza"*
- Enviroware srl, Dott. Roberto Bellasio: "Studio d'impatto atmosferico dei riscaldatori ausiliari dell'impianto solare termodinamico "Flumini Mannu"*
- Geotechna Srl: "Relazione Geologica", "Relazione Geotecnica" e "Studio di compatibilità idraulica"*
- Progetto Engineering srl: "Progetto elettrico definitivo"*

COMUNE DI VILLASOR

Provincia di Cagliari

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO SOLARE TERMODINAMICO
DENOMINATO «FLUMINI MANNU»**

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

RELAZIONE

DATA: novembre 2014

REDATTO DA: Mauro Pompei
Alessandro Salis

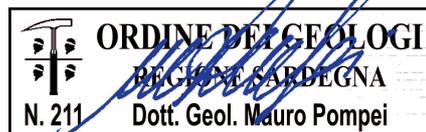


GEOTECHNA

Via Lorenzo il Magnifico n. 7
09134 Cagliari (Italy)
Tel./Fax +39 070 551417
e-mail: geotechna@tiscali.it
geotechna.cagliari@pec.it

IL GEOLOGO:

Mauro Pompei



L'INGEGNERE IDRAULICO:

Alessandro Salis



	DATA	DESCRIZIONE
REVISIONI	00	22.11.2014 <i>Prima emissione</i>
	01	
	02	
	03	
	04	

IL COMMITTENTE:

Energogreen Renewables S.r.l.
Via Enrico Fermi n. 19
62010 Pollenza (MC)

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

RELAZIONE

SOMMARIO

1. GENERALITÀ	1
1.1. Premessa.....	1
1.2. Richiami normativi	3
1.3. Inquadramento territoriale	3
2. MODELLAZIONE GEOLOGICA	8
2.1. Premessa.....	8
2.2. inquadramento geologico dell'area vasta	8
2.3. Inquadramento geologico di dettaglio	10
2.4. Assetto tettonico locale e caratteristiche sismiche del sottosuolo ai sensi del D.M. 14.01.2008 «N.T.C.»	12
2.5. Assetto geomorfologico ed idrografico	14
2.6. Assetto litostratigrafico locale	18
2.7. Assetto idrogeologico	23
3. CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA IDROGRAFICO	29
4. ANALISI IDROLOGICA	32
4.1. Premessa.....	32
4.2. Considerazioni generali sul fenomeno	32
4.3. Individuazione dei parametri di bacino	36
4.4. Determinazione della portata di progetto-metodi diretti	36
4.5. Determinazione delle portate di progetto-metodi indiretti	37
5. ANALISI IDRAULICA	47
5.1. Considerazioni generali	47
5.2. Corsi d'acqua principali.....	47
5.3. Metodologia utilizzata	48
5.4. Il modello di calcolo	48
5.5. Risultanze dello studio.....	52
6. INTERAZIONE CON LE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL PAI	59
7. CONCLUSIONI.....	60

APPENDICI

- 1] UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- 2] CARTA DELLE ISOFREATICHE
- 3] CARTA DELLA SOGGIACENZA DELLA FALDA

1. GENERALITÀ

1.1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione definitiva di un Impianto Solare Termodinamico denominato "Fluminimannu" da realizzarsi in agro di Villasor, della potenza lorda pari a 55 MW per la produzione di energia elettrica è stato conferito, alla *GEOTECHNA S.R.L. di Cagliari*⁽¹⁾ – su incarico della *ENERGOGREEN RENEWABLES S.R.L.*⁽²⁾ – l'incarico per l'esecuzione dello **STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**, finalizzato all'individuazione delle interazioni tra il progetto in esame e il reticolo idrografico gravante nell'area.

L'area che ospiterà l'intervento ha un'estensione di 269 ha e ricade all'interno dei comuni di Villasor e Decimoputzu (Provincia di Cagliari).

In questa sede sono illustrati i risultati dello studio condotto in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle linee guida del PAI. L'analisi in oggetto, oltre che far propri gli indirizzi del PAI, in ordine alle interazioni sul reticolo idrografico, recepisce gli intendimenti di quanto già indicato nella L. 183/89 «*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*» che all'art. 1 recita: «*La presente legge ha per scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi [...]*» e anticipa i dettami del disposto del Testo Unico sull'Ambiente (D.L. 152/06) che all'art. 53 richiama le finalità legate al risanamento idrogeologico del territorio tramite la prevenzione dei fenomeni di dissesto.

L'adempimento di quanto sopra richiamato passa in prima analisi attraverso lo studio delle interazioni tra il reticolo idrografico, l'attività antropica esistente e le ipotesi relative ad eventuali ulteriori e successive fasi di pianificazione urbanistica. Il risultato dell'analisi di cui sopra è l'individuazione di aree caratterizzate da possibili coinvolgimenti da parte di fenomeni di esondazione o da situazioni di puntuale criticità.

⁽¹⁾ Società operante nel campo della GEOLOGIA APPLICATA e nella GEOTECNICA.

⁽²⁾ Pollenza (MC) - Italy.

In termini di interazione con gli strumenti di pianificazione territoriale, l'indagine si traduce nell'eventuale apposizione di vincoli di vario grado, passando alla sostanziale inedificabilità (Zone Hi4, Hi3), alla edificabilità soggetta a prescrizioni specifiche (Zone Hi2), sino alla totale mancanza di condizionamento (Zone Hi1).

Si rileva che il processo di antropizzazione va visto nella generalità dei casi non solamente come atto esclusivamente edificatorio, ma anche legato alla pratica agraria che ha, in alcuni casi, confinato in maniera rilevante il percorso naturale del deflusso.

Il presente documento si articola secondo successive fasi di approfondimento ed in particolare:

Inquadramento territoriale

Consegna una breve descrizione del territorio comunale unitamente all'elencazione del quadro informativo territoriale utilizzato.

Configurazione del sistema idrografico

Riporta un'elencazione delle aste fluviali principali e dei compluvi di cui si è potuto definire un quadro conoscitivo sulla base delle informazioni cartografiche e delle conoscenze locali. I corsi d'acqua richiamati, unitamente all'intero sistema idrografico interno al territorio, saranno oggetto di ulteriore analisi nei paragrafi successivi.

Analisi idrologica

Oltre ad una breve rassegna relativa alla interpretazione del fenomeno con relativa metodologia di calcolo, sono richiamate:

- le grandezze caratteristiche che contraddistinguono il bacino scolante afferente alle sezioni di chiusura delle aste in esame;
- le grandezze idrologiche necessarie per la determinazione del valore della precipitazione;
- determinazioni numeriche delle portate di calcolo.

Analisi idraulica

La prima fase è destinata all'illustrazione del fenomeno fisico e al relativo codice di calcolo utilizzato, successivamente, sono consegnate le elaborazioni numeriche; profili, sezioni e tabulati numerici sono consegnati negli allegati.

1.2. RICHIAMI NORMATIVI

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la compilazione del presente documento tecnico sono:

- **Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.)** adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto Assessoriale n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 del 11.03.2005;
- **Norme di Attuazione del P.A.I.** (aggiornamento al Decreto del Presidente della R.A.S. n. 35 del 21.03.2008).

1.3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L’areale di intervento ricade nel Campidano centrale (Sardegna meridionale), nell’ambito di un vasto settore pianeggiante, circa 7 km ad ovest dell’abitato di Villasor (Provincia di Cagliari). In particolare esso si colloca in un settore esteso circa 2 km² indicato nella toponomastica locale come “Crabili Atzori”, “Giva Molas” e “Sartu Bia Montis”.

Il sito è raggiungibile dal capoluogo di provincia percorrendo la S.S.130 in direzione nord e seguendo le indicazioni per Villasor da dove, lasciato alle spalle l’abitato si procede per Villacidro lungo la S.P. n. 196, fino al km 14+600 e superato il fabbricato dell’A.G.R.I.S., si imbecca la seconda traversa a sinistra. Da qui si percorrono circa 2 km lungo una strada sterrata fino a raggiungere l’azienda agricola baricentro del comparto in argomento.

I riferimenti cartografici sono rappresentati da:

- Foglio n. 556 “ASSEMINI” dell’I.G.M.I. [scala 1:50.000]
- Sezione 556-I “VILLASOR” dell’I.G.M.I. [scala 1:25.000]
- Sezione 556-030 “CANTONIERA SA DODA” della C.T.R. [scala 1:10.000]

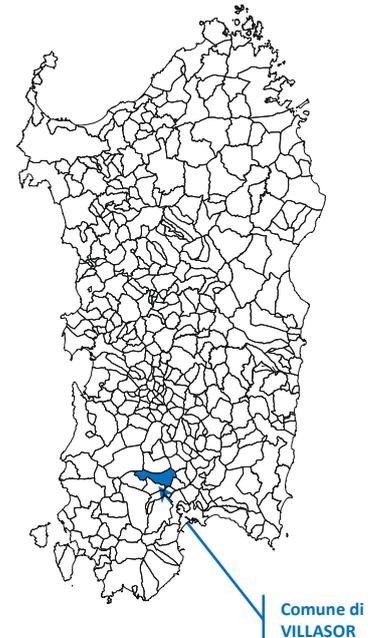


FIGURA 1
 Inquadramento geografico.



FOTO 1
 Panoramica del lotto di intervento ripresa da strada comunale verso il sondaggio **BH1**.



FOTO 2
 Panoramica del lotto di intervento ripresa dal sondaggio **BH2**.



FOTO 3
 Panoramica del lotto di intervento ripresa dai sondaggi **BH5-BH6** verso C.se Peddis.

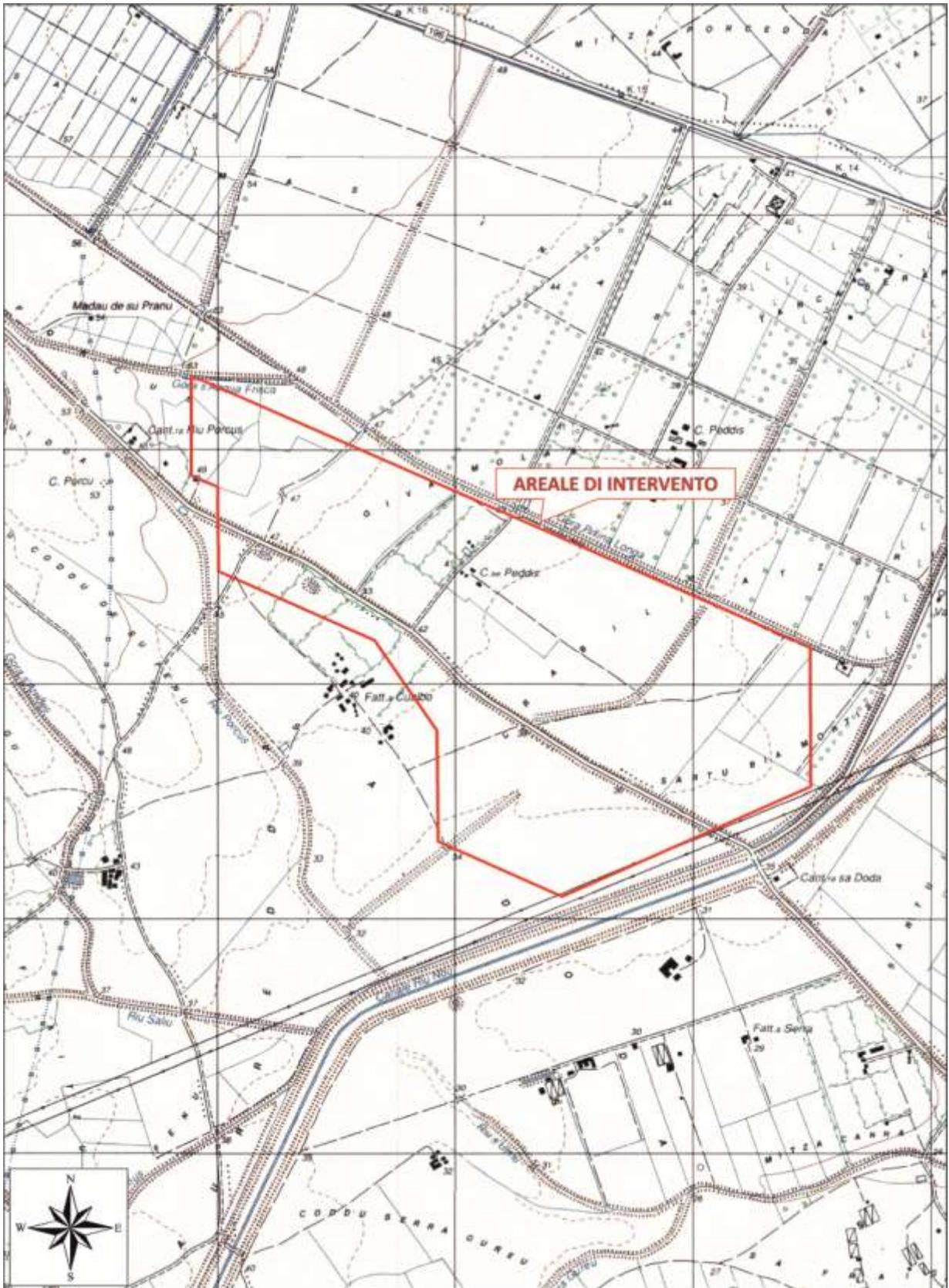


FIGURA 1 - Stralcio Cartografia I.G.M.I. – Sezione 556-I “VILLASOR” in scala 1:25.000.

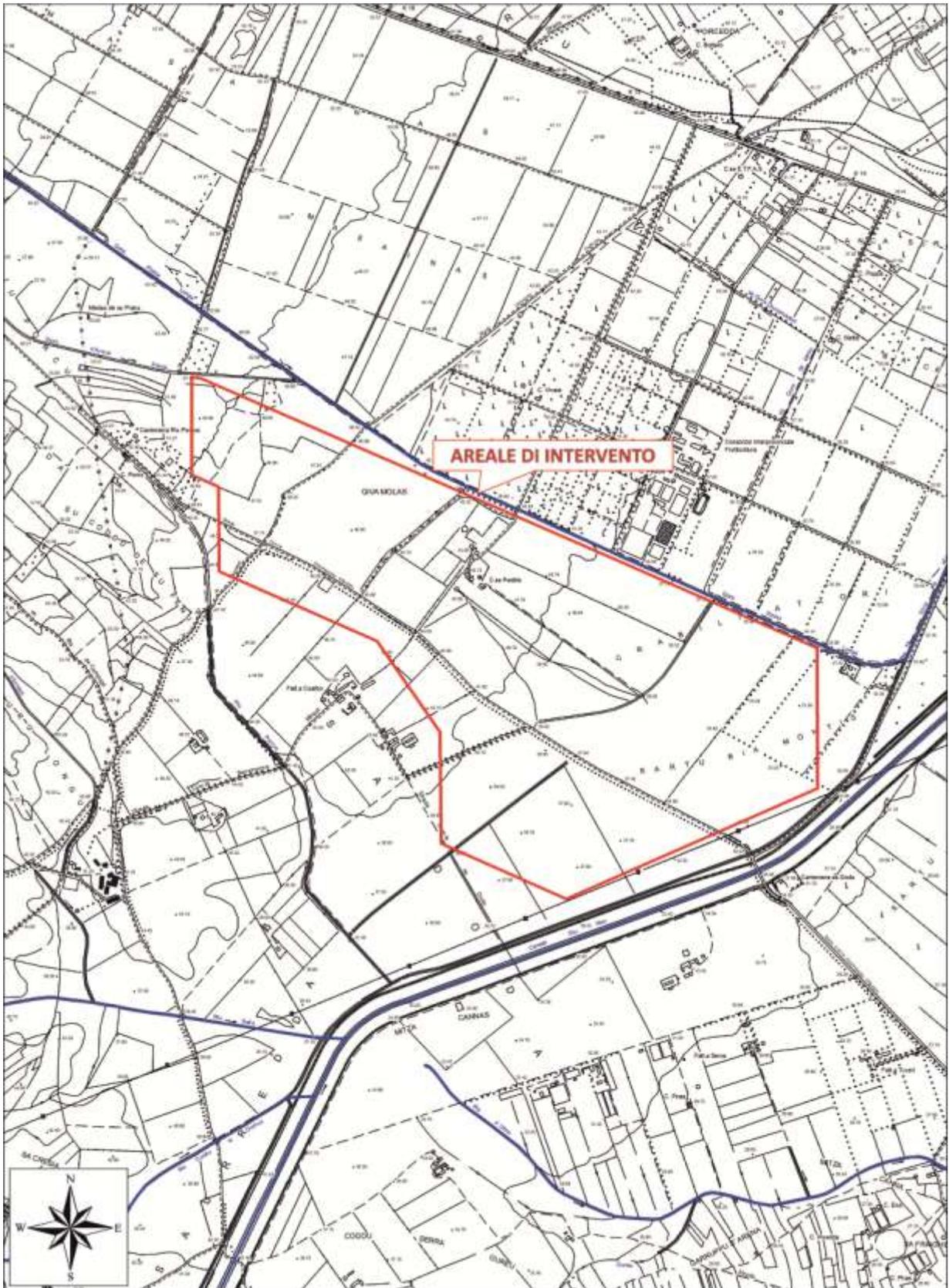


FIGURA 2 - Stralcio C.T.R. Numerica – Sezioni 556-030 “CANTONIERA SA DODA” in scala 1:25.000.



FIGURA 3 - Stralcio ortofotogrammetrico in scala 1:25.000.

2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

2.1. PREMESSA

Di seguito, conformemente a quanto previsto agli artt. 6.2 e 6.12 del D.M. 14.01.2008 rispettivamente inerenti l'*Articolazione del progetto* e la *Fattibilità di opere su grandi aree*, l'intervento di ampliamento verrà contestualizzato con l'assetto naturale dei luoghi attraverso una prima analisi di inquadramento per poi pervenire alla definizione del modello geologico del sito e alla caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni costituenti il sottosuolo: quest'ultimo aspetto risulta indispensabile per la successiva definizione del modello geotecnico del substrato d'appoggio delle opere e per le conseguenti valutazioni atte alla verifica delle condizioni di stabilità dell'insieme opera/terreno di fondazione.

2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA

L'area oggetto di studio è situata nel settore centrale della piana del *Campidano*, notoriamente identificato come una zona particolarmente importante nel quadro dell'evoluzione geodinamica della Sardegna e che si estende con direzione NW-SE dal *Golfo di Oristano* al *Golfo di Cagliari* per circa 100 km ed una larghezza media di 20 km. Nella parte meridionale si sovrappone alla più vasta fossa tettonica sarda (oligo-miocenica) che attraversa la Sardegna in senso longitudinale unendo il *Golfo dell'Asinara* con quello di *Cagliari*. La formazione di quest'ampia depressione si deve a un'intensa tettonica disgiuntiva verificatasi durante il Terziario – soprattutto dopo il Tortoniano (Miocene medio-sup.) – che ha provocato lo sprofondamento di questo settore mediante un sistema di faglie (con un rigetto complessivo valutabile tra 500 e 1500 m), impostate probabilmente su linee di debolezza erciniche.

Sulla base ai dati riportati in bibliografia relativi ad alcuni pozzi profondi realizzati per ricerche di idrocarburi, la colmata della depressione campidanese si esplica con la messa in posto di un insieme eterogeneo di rocce sia sedimentarie (marine e continentali) sia vulcaniche, che localmente raggiungono lo spessore di qualche migliaio di metri. Si depositano dapprima le vulcaniti oligoceniche calcaree (circa 400-500 m), poi i sedimenti marini e continentali miocenici e pliocenici di natura marnosa ed arenacea (600-1000 m) e, alla fine del Terziario, la F.NE DI SAMASSI.

Tale formazione giace in discordanza stratigrafica sul Miocene e il Pliocene medio-inferiore ed è stata successivamente dislocata a gradinata da movimenti verticali della crosta terrestre. Trattasi di un deposito continentale di ambiente fluvio-deltizio, originatosi dal rimaneggiamento di sedimenti preesistenti per la massima parte miocenici. Dal basso verso l'alto è costituito da:

- conglomerati a ciottoli di marne, eterometrici, più o meno cementati e ben costipati;
- calcari detritici, marnosi, biancastri;
- limi argillosi bruno-rossastri;
- arenarie grossolane in banchi più o meno cementati, con intercalate sottili lenti conglomeratiche.

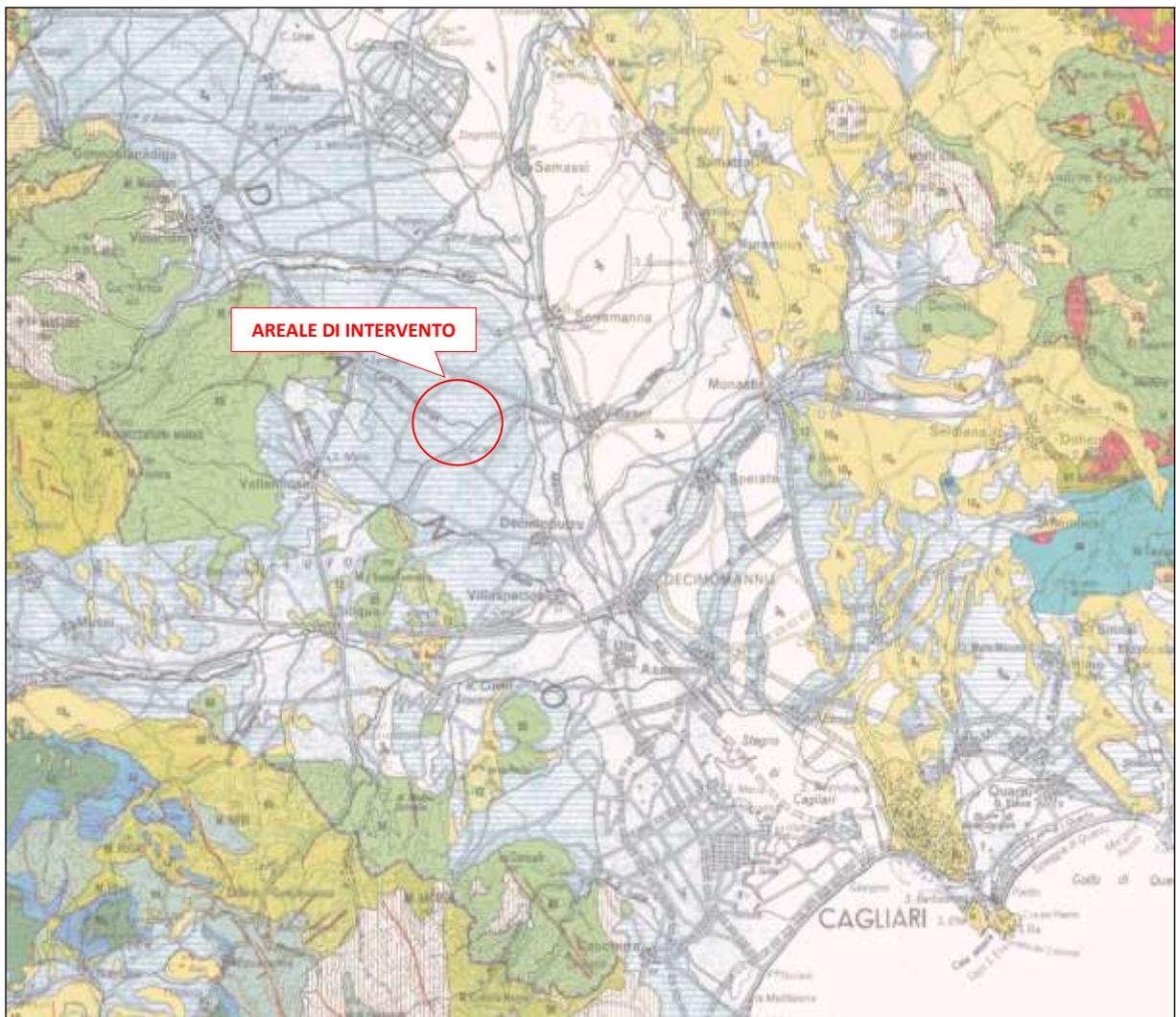


FIGURA 5 – Carta Geologica di inquadramento.

- 1] Ghiaie, sabbie, limi ed argille dei depositi alluvionali, colluviali, eolici litorali e travertini
- 3] **Formazione di Samassi** - Conglomerati, arenarie e argille di sistema alluvionale, prevalentemente derivati dal rimaneggiamento di sedimenti miocenici (3b - Pliocene medio-sup. - ?Pleistocene). Sabbie carbonati che e siltiti argillose con molluschi terrestri e limnicoli (3°- Pliocene).
- 55] **Arenarie di San Vito** – Alternanze irregolari, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti. (Cambriano medio – Ordoviciano inferiore).

La F.NE DI SAMASSI è ricoperta in discordanza stratigrafica da una potente coltre detritica quaternaria, costituita da ALLUVIONI (antiche e recenti) e da DETRITI DI FALDA variamente dislocati sotto forma di terrazzi degradanti verso il mare, per uno spessore massimo di 200 m, da COLLUVI e dai relativi prodotti di alterazione pedogenetica (“SUOLI”). L’età di questi terreni è ascrivibile ad un intervallo di tempo compreso tra il Pliocene e l’Attuale.

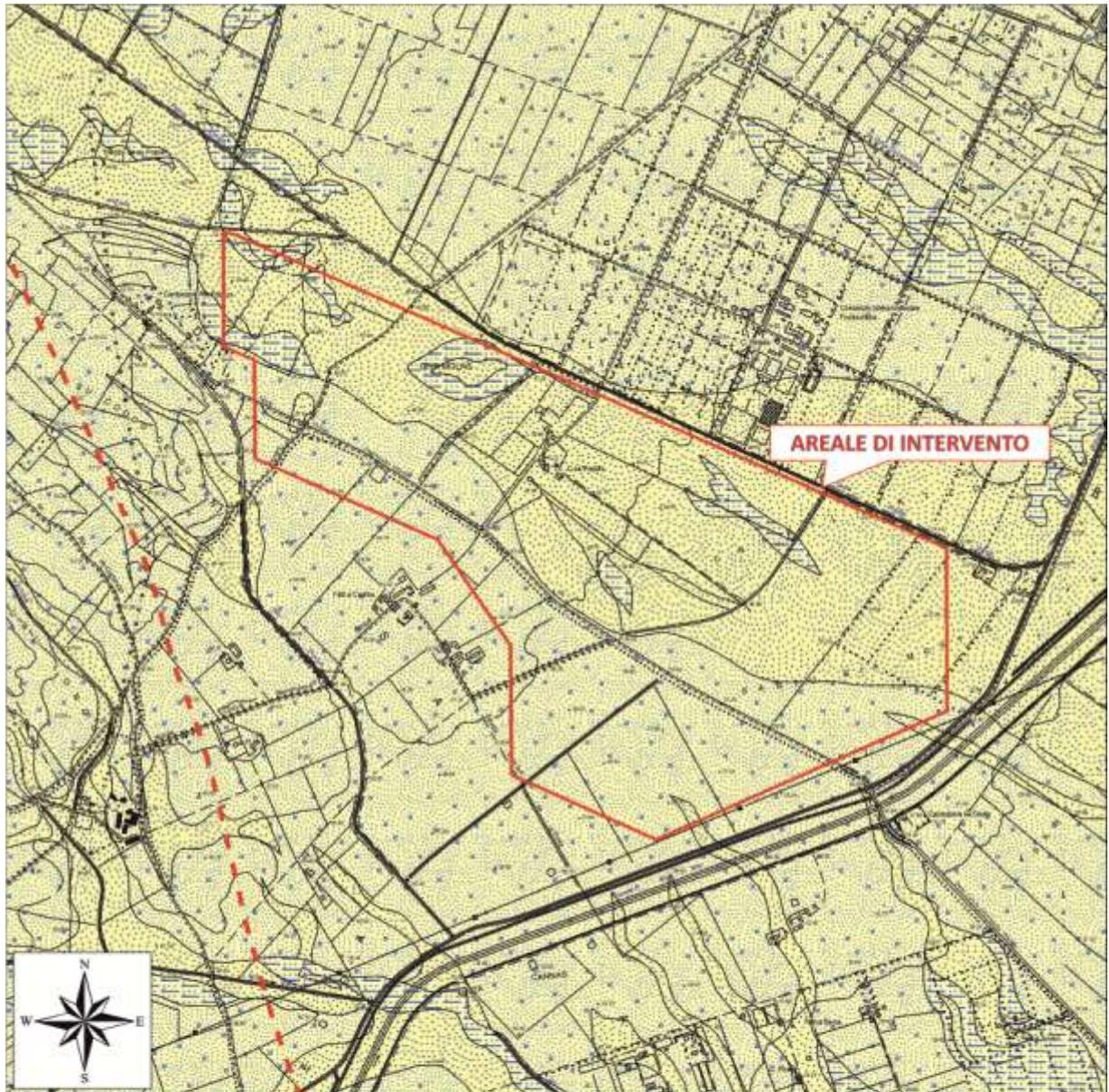
Le ALLUVIONI ANTICHE, talora terrazzate, sono costituite da clasti eterometrici e poligenici (quarziti, porfidi, graniti, scisti etc.), arrotondati ed immersi in una matrice sabbioso-limosa arrossata, solitamente ben cementati. Questi materiali sono riconducibili, nel settore in esame, agli apporti detritici *del Flumini Mannu*. Locali eteropie laterali e verticali, conseguenti alle variazioni di regime idrico del corso d’acqua, caratterizzano il materasso alluvionale dando luogo a depositi più fini (limi e argille), in genere limitati a lenti e lingue.

Chiudono la serie continentale quaternaria le ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI presenti nella valle e nella piana di esondazione del *Flumini Mannu*. Sono costituite da materiali a granulometria minuta sciolti o poco costipati, la cui origine è da ricondurre a limitati fenomeni di piena, con conseguente rimaneggiamento dei sedimenti precedenti. Localmente si osserva la presenza di sabbie, limi più o meno argillosi disposti in giacitura caotica.

2.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Schematicamente, l’assetto geologico-stratigrafico del settore in studio – coerentemente a quanto rappresentato nella **Carta Geologica di contesto** di cui alla **FIGURA 6** – risulta piuttosto omogeneo e costituito da una tipica sequenza sedimentaria di ambiente alluvionale, costituita, a partire dalla più recente dalla sovrapposizione di tre unità litostratigrafiche:

b_{na}] Depositi alluvionali terrazzati a prevalenti ghiaie	[Olocene]
b_{nb}] Depositi alluvionali terrazzati a prevalenti sabbie	[Olocene]
b_{nc}] Depositi alluvionali terrazzati a prevalenti limi ed argille	[Olocene]



LEGENDA

- - - Faglia diretta presunta
- Depositi alluvionali terrazzati costituiti da limi ed argille (Olocene).
- Depositi alluvionali terrazzati costituiti da sabbie con subordinate limi ed argille (Olocene).
- Depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie con subordinate sabbie (Olocene).

FIGURA 6 - Stralcio della “CARTA GEOLOGICA D’ITALIA” in scala 1:10.000.
 A cura di: APAT - Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d’Italia, modificata.

Trattasi di sedimenti perlopiù ghiaiosi [**b_{na}**] e sabbiosi [**b_{nb}**] generalmente costituiti da ciottoli ben elaborati di rocce prevalentemente paleozoiche (quarziti, scisti, metamorfiti, porfidi, granito) di dimensioni da pluricentriche a decimetriche in abbondante matrice sabbioso-limosa e limoso-argillosa, localmente intercalati da lenti e/o livelli di limi argillosi [**b_{nc}**], a composizione variabile e con differente forma. Si mostrano da mediamente addensati e generalmente interessati da fenomeni di ossidazione pregressa più o meno blandi o arricchiti in CaCO₃ di genesi secondaria.

Si ritrovano lateralmente ai letti attuali o dei tratti di alveo regimati ed in genere non interessati dalle dinamiche in atto, sebbene possano essere interessati in occasione di eventi idrometeorici eccezionali. Lo spessore di questi sedimenti e, nella maggior parte dei casi, difficilmente valutabile, ma in alcune sezioni, in cave o lungo scarpate di erosione fluviale associate alle dinamiche attuali, sono di ordine pluridecimetico. Queste unità, rinvenute direttamente in situ, mostrano uno spessore maggiore di 20 m ed una prevalenza di depositi grossolani a tessitura ghiaioso-ciottolosa, rispetto a quelli più fini.

2.4. ASSETTO TETTONICO LOCALE E CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SOTTOSUOLO AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008 «N.T.C.»

Le faglie presenti al contorno dell'area, di impostazione oligo-miocenica e riattivate nel tardo Miocene e nel Plio-Quaternario, seppur non osservabili direttamente ma estrapolabili dall'assetto geostrutturale dei luoghi al contorno, sono rappresentate prevalentemente da discontinuità di direzione N-S e NNW-SSE a carattere prevalentemente distensivo che dislocano tutta la successione miocenica in piccoli graben (fosse) e horst (pilastrini) e sono sigillate dalla sedimentazione detritico-alluvionale quaternaria.

È probabilmente da mettere in relazione con la tettonica tardo-terziaria la formazione delle aree depresse del Campidano meridionale interessate dagli stagni costieri e lagune con evidenti condizioni di subsidenza dei luoghi, ancora attiva seppure con movimenti molto lenti.

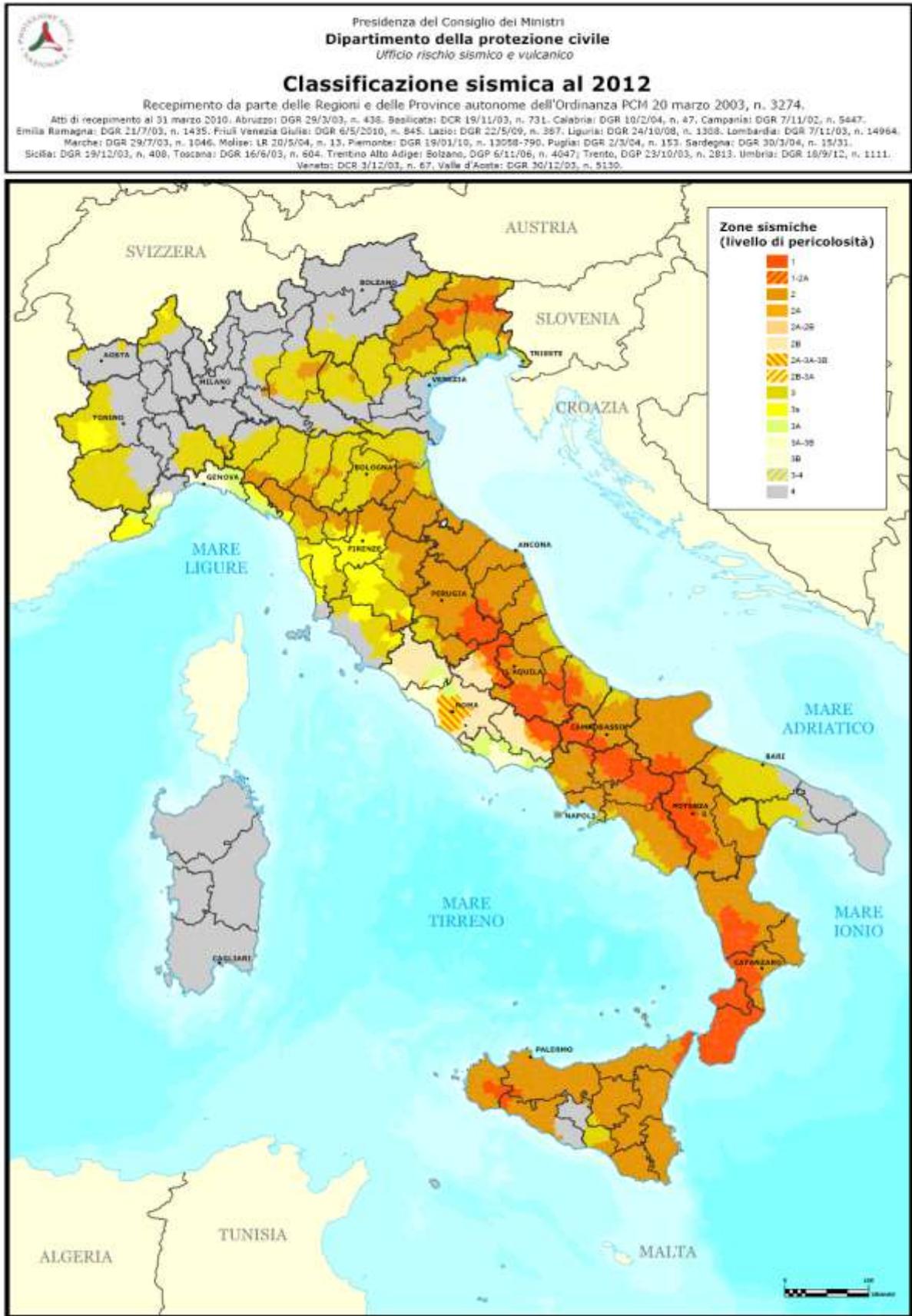


FIGURA 7 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Fonte Dipartimento Protezione Civile).

Allo stato attuale l'attività tettonica nel settore considerato, come per tutta l'Isola, viene considerata molto bassa. Tuttavia dal 2003, con l'applicazione della normativa antisismica nella progettazione (*Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003*), tutto il territorio italiano è stato ripartito in 4 zone sismiche alle quali si applicano norme tecniche differenziate in relazione alla realizzazione di opere interagenti con il terreno.

Così come nella precedente, anche nella più recente *Ordinanza P.C.M. del 28.04.2006 n. 3519 «Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone»*, la Sardegna ricade in **Zona sismica IV** (contraddistinta da un valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A di **0,05 g**), quella ritenuta meno pericolosa e alla quale corrisponde la normativa antisismica meno severa.

Non si esclude in ogni caso, stante la scarsa documentazione relativa a terremoti avvenuti in Sardegna in epoca storica nonché di recente, che eventi sismici di eccezionale intensità localizzati in vari settori dell'area tirrenica, possano indurre in alcuni areali dell'isola, compreso l'ambito cagliaritano, vibrazioni i cui effetti sulle strutture in progetto potrebbero verosimilmente ritenersi di non trascurabile entità.

2.5. ASSETTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGRAFICO

Il settore in esame è caratterizzato da una morfologia sostanzialmente pianeggiante seppur debolmente degradante verso sud-est, con quote comprese tra 55,85 m s.l.m. a NW (*Gora S'Acqua Frisca*) e 32 m s.l.m. a SE (*loc. Sartu Bia Montis*). L'ambito geomorfologico è quello della piana alluvionale del *Rio Flumini Mannu* che scorre circa 4 km ad est, in posizione centro-occidentale rispetto alla pianura del Campidano, e che insiste sugli antichi terrazzi dello stesso corso d'acqua. Questi ultimi costituiscono corpi sedimentari a prevalente composizione ghiaioso-sabbiosa, generalmente posti a quote superiori rispetto agli attuali depositi del corso d'acqua e messi in posto quando il reticolo idrografico aveva un assetto differente rispetto a quello odierno.

A W e NW dell'area in studio la morfologia diviene più varia ed articolata: la pianura lascia spazio alle colline vulcaniche e successivamente ai rilievi montuosi del complesso del Monte Linas (**FIGURA 8**).



FIGURA 8 – Inquadramento morfologico dell’area in studio (da Google Earth)

Il reticolo idrografico risulta ben sviluppato ed organizzato in un corso d’acqua principale entro cui confluiscono diversi affluenti secondari. Il corso d’acqua principale è costituito da uno dei più importanti fiumi della Sardegna meridionale ovvero il *Rio Flumini Mannu* che scorre nel settore occidentale dell’abitato di Villasor con direzione N-S e sfocia dopo aver raccolto le acque del *Rio Cixerri* e di numerosi altri tributari nello *Stagno di Santa Gilla* (Golfo di Cagliari). Si caratterizza per una lunghezza dell’asta principale pari a circa 96 km, e a differenza della maggior parte dei corsi d’acqua sardi, si sviluppa per metà del suo corso in pianura.

L’areale in studio, ubicato in destra idrografica rispetto al Flumini Mannu, è inoltre attraversato da un serie di rii tributari che drenano le acque del Monte Linas, i quali attualmente risultano canalizzati in una serie di collettori irrigui.

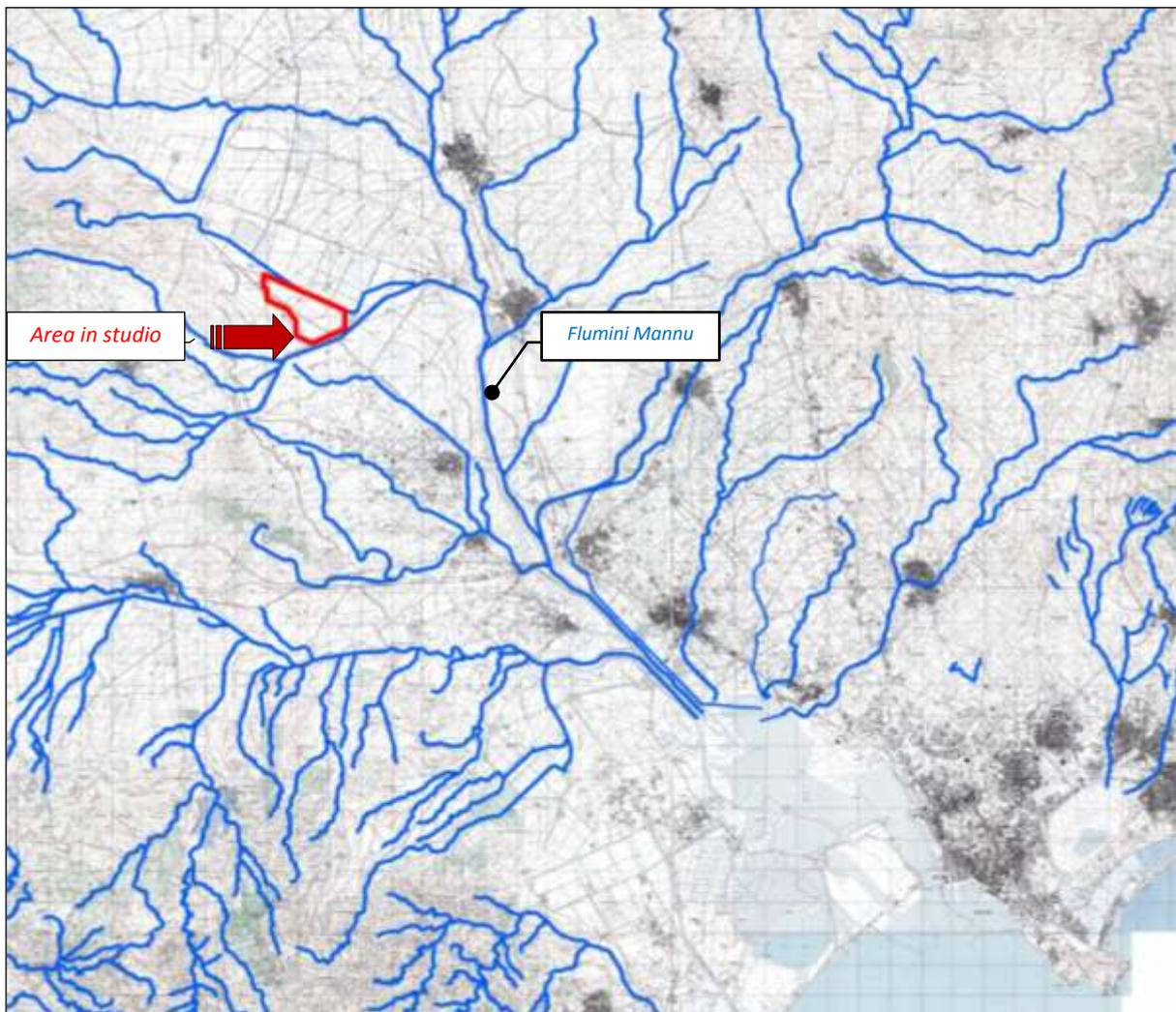
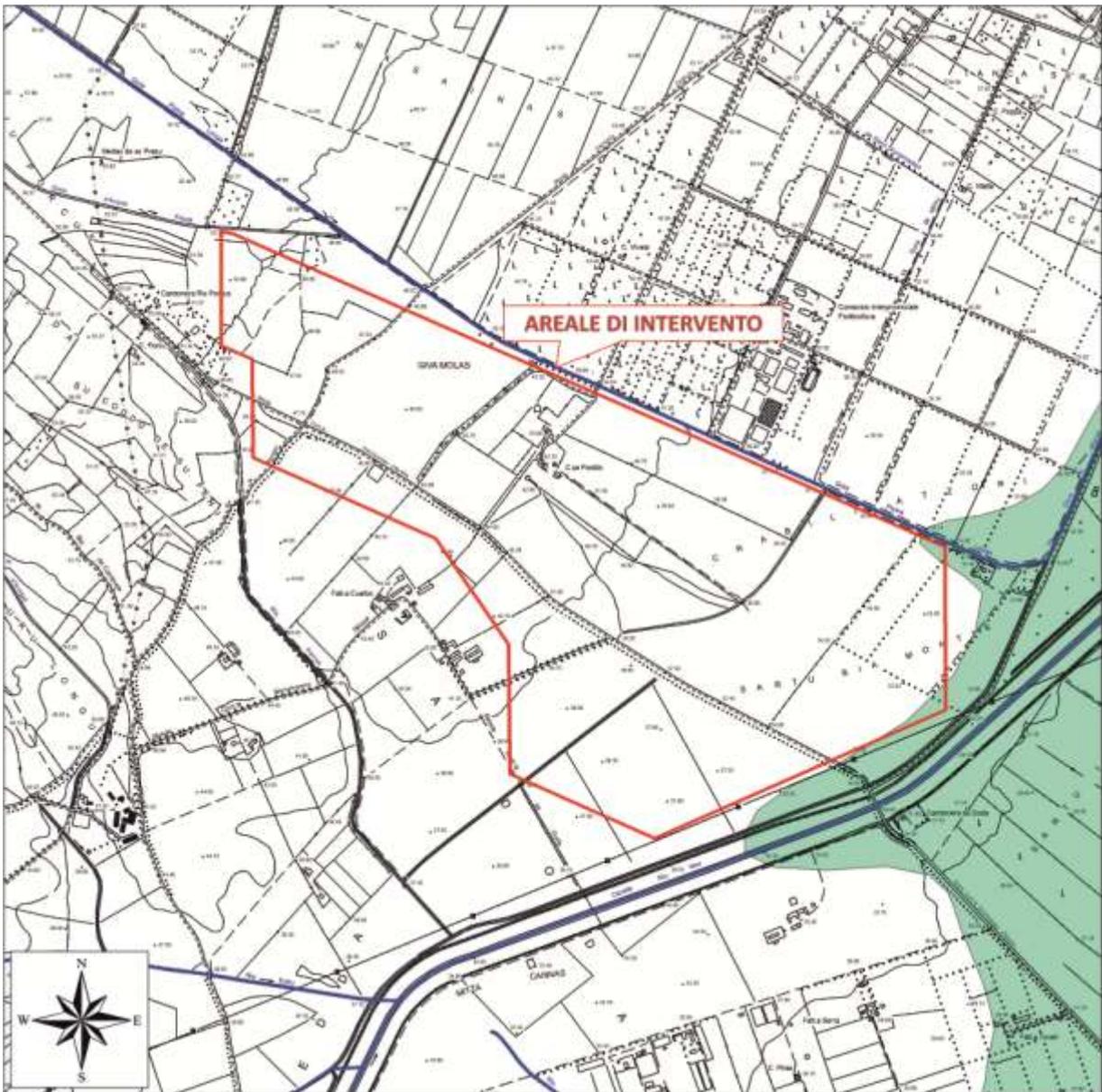


FIGURA 9 – Reticolo Idrografico dell'area in studio.

La consultazione della cartografia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatta della Regione Sardegna ha messo in evidenza che il sito di intervento - appartenente al bacino denominato *Sub-bacino Flumendosa-Campidano-Cixerri (N. 7)* - è esente da pericolosità di tipo geologico (Hg) ed idraulico (Hi).

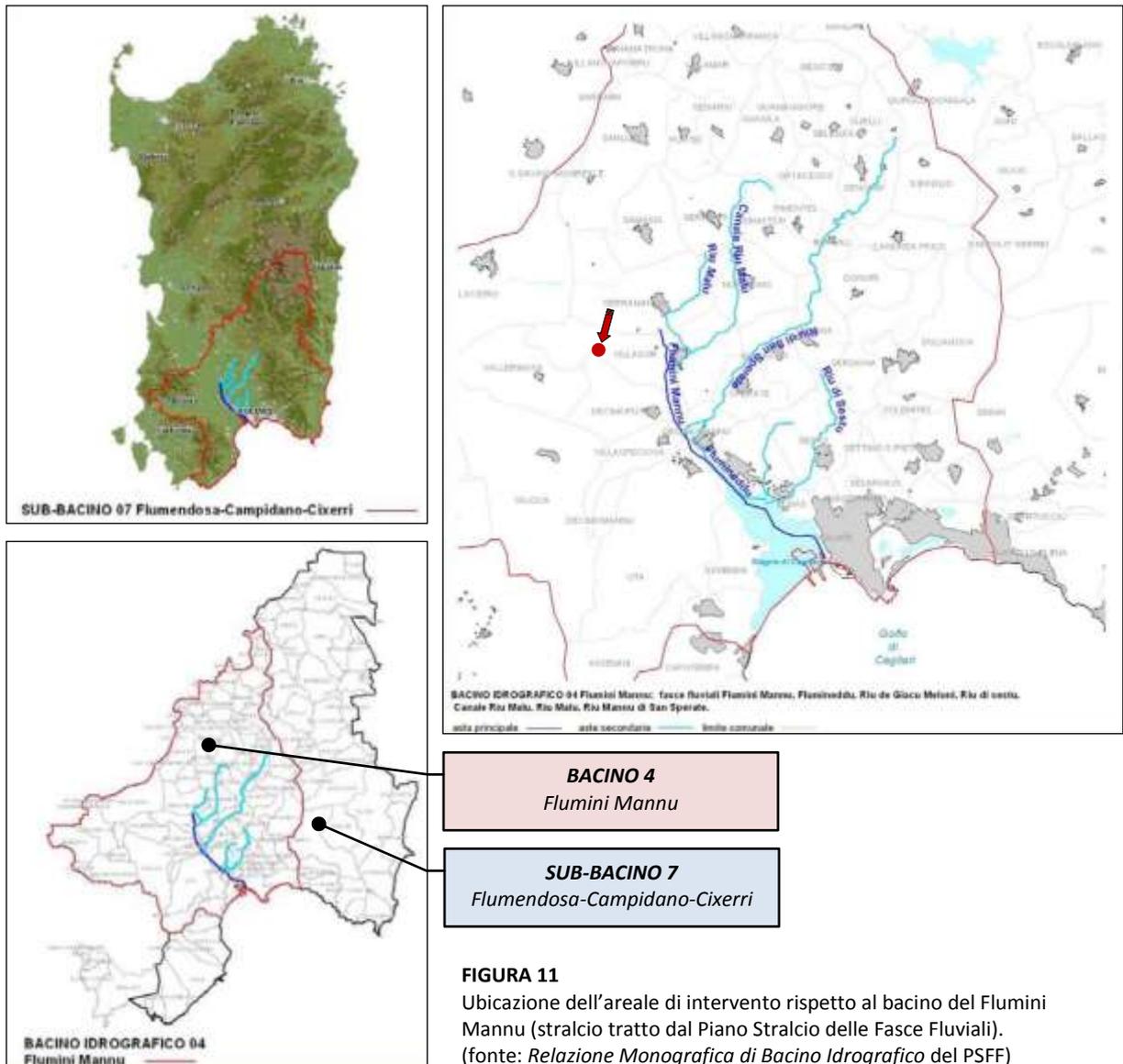
Le suo porzione più sud-orientale risulta invece inserita nelle aree "inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 500 anni" (**FIGURA 10**), identificate in base a criteri morfologici e coincidenti con le aree a pericolosità moderata Hi1 del P.A.I. per le quali non si prevedono vincoli edilizi.



LEGENDA

- Fascia A_2**
 Aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente al periodo di ritorno T = 2 anni
- Fascia A_50**
 Aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente al periodo di ritorno T = 50 anni
- Fascia B_100**
 Aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente al periodo di ritorno T = 100 anni
- Fascia B_200**
 Aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente al periodo di ritorno T = 200 anni
- Fascia C**
 Aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente al periodo di ritorno T = 500 anni

FIGURA 10 – Stralcio cartografia del Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (Carta FM 026).



2.6. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

Sulla base di quanto emerso dalla campagna geognostica che ha supportato il presente studio, il sottosuolo interessato dalle opere in progetto è costituito, se si esclude l'esile strato pedogenizzato superficiale [**Strato A**], da una coltre detritica alluvio-colluviale composta prevalentemente da livelli di ghiaie ciottolose [**Strato B**], sabbie [**Strato D**] e limi argilloso-sabbiosi [**Strato C**] tra loro interdigerati.

La genesi di queste terre è associabile a fasi più o meno intense di trasporto e deposizione in ambiente continentale avvenute nel corso degli ultimi 70.000÷100.000 anni (Pleistocene-Olocene) ad opera delle acque incanalate a carattere torrentizio, come sembra indicare la variabilità tessiturale dei sedimenti sia in senso orizzontale (lenti o rapporti per eteropia di facies) che verticale.

Schematizzando, sulla base di quanto emerso dai sondaggi geognostici (**APPENDICE 2**), la stratigrafia in corrispondenza dell’impianto in progetto – a partire dal piano di campagna – può essere rappresentata come di seguito illustrato:

A]	Suolo	[Attuale]	
B]	Ghiaia ciottolosa in matrice limo-argillosa	[Olocene]	
C]	Argilla limosa / Limo sabbioso-argilloso	[Olocene]	 
D]	Sabbia ghiaiosa e sabbia limosa	[Olocene]	 

A] 0,00 m ÷ -0,40 m variabile -0,50 m

Suolo sabbioso-limoso di colore bruno scuro, organico nella porzione superficiale e con qualche ciottolo disperso, poco addensato ed umido.

Sono stati ritrovati in tutti i sondaggi ed i pozzetti eseguiti (ad esclusione di **PZ3** e **PZ7**) con uno spessore complessivo dell’ordine di 0,50 m.



FOTO 4 – Suolo sabbioso-limoso estratto dal sondaggio **BH1**.

B] -0,50 m variabile -2,50 m ÷ -4,10 m variabile -5,80 m (solo S1)

Ghiaie e ciottoli costituite da elementi clastici poligenici ed eterometrici di dimensioni pluricentriche (da Φ 1-2 cm a 10-12 cm fino a max 25 cm), subarrotondati ed immersi in matrice sabbioso-limosa, talora argillosa, di colore da marroncino-beige a debolmente arrossata in profondità per fenomeni di pregressa ossidazione, da umide sature.

Si ritrovano sottili livelli più spiccatamente sabbiosi ad altri cementati da CaCO_3 di ricircolazione secondaria, mentre la componente ciottolosa diventa più abbondante a rilevante alla profondità di 2÷3 m dal pc..

Le diversificazioni granulometriche riscontrate nel sottosuolo dell'area di sedime sono connesse con l'evoluzione della dinamica fluviale che determina il susseguirsi naturale di variazioni significative nell'energia trattiva delle acque defluenti in funzione del periodico divagare degli alvei fluviali: ciò ha favorito l'alternarsi irregolare di condizioni ottimali per la deposizione sia di depositi più grossolani e più fini.

Questo strato è stato intercettato in tutte le verticali di sondaggio ed in tutti i pozzetti eseguiti con spessore minimo di 3,40 m (verticale **BH2**) e massimo di 6,40 m (verticale **BH6**).



FOTO 5 – Ghiaie prelevate dal pozzetto **PZ5**.



FOTO 6 – Ghiaie ciottolose in matrice sabbioso-limosa estratte dal sondaggio **BH6**.

C] -5,70 m variabile -17,40 m ÷ -20,00 m variabile oltre ?

Subordinati **limi sabbiosi debolmente argillosi [C1]** passanti gradualmente a prevalenti limi argillosi e/o **argille limose debolmente sabbiose [C2]** di colore verdognolo con abbondanti screziature rossastre di ossidazione e qualche ciottolo millimetrico con patine di ossidazione da manganese, consistenti ed asciutti.

Sono stati riscontrati in tutti i sondaggi geognostici realizzati con spessori maggiori da NW verso SE dell'area di indagine, ovvero da un minimo di 1,00 m in **BH1** fino ad un massimo di 6,80 m in **BH6**, dove la perforazione si arresta a 20 m in corrispondenza di detto strato.



FOTO 36 – Sedimenti dello Strato C estratte dal sondaggio **BH6** (10,00-15,00 m da p.c.)



FOTO 7 – Particolare argille limose [C2] del sondaggio **BH6** (11,50÷12,00 m e 12,50÷13,00 da p.c.).



FOTO 8 – Particolare limi sabbioso-argillosi [C1] del sondaggio **BH2** (8,50÷9,00 m da p.c.)

La consistenza di questi terreni è sempre molto elevata, tant'è che anche il prelievo del campione con la fustella Shelby è risultato talora difficoltoso.

Rappresentano degli episodi di deposizione di relativa “calma” sedimentaria, in concomitanza dei quali l'energia e la velocità dei paleocorsi d'acqua erano piuttosto basse, consentendo il depositarsi del carico in “sospensione” costituiti da limi ed argille.

D] –3,80 m variabile –8,40 m ÷ –4,40 m variabile –17,00 m

Sabbia ghiaiosa o microghiaiosa [D2] o talora sabbia fine limosa [D1 - BH6] in matrice limo-argillosa di colore marroncino-rossastro per pregressa ossidazione, satura, moderatamente addensata. Si presentano come irregolari intercalazioni entro gli strati B e C, con spessore in genere submetrico [BH1, BH2 e BH5] con un massimo di 2,00 m [BH4 e BH6]. Trattasi di episodi alluvionali di transizione durante i quali, a causa diminuita l'energia di trasporto delle acque di scorrimento superficiale e successivamente alla deposizione delle frazioni più grossolane [Strato B] si sono deposte quelle più fini sino ai limi.



FOTO 9 – Sabbie fini limose [D1] estratte dal sondaggio BH6 (15,00-17,00 m da p.c.).



FOTO 10 – Sabbie grossolane [D2] estratte dal sondaggio BH1 (9,00-10,00 m da p.c.).



FOTO 11 – Sabbie microghiaiose arrossate [D2] estratte dal sondaggio BH6 (17,00-17,40 m da p.c.).

2.7. ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il settore in studio è compreso all'interno dell'acquifero delle **alluvioni PLIO-QUATERNARIE** del Campidano che, tra gli acquiferi porosi della Sardegna, rappresenta senza dubbio l'idrostruttura più significativa sia per estensione areale che per volumi idrici immagazzinati. Si tratta di un acquifero freatico multifalda, impostato sul complesso sedimentario alluvionale che occupa la pianura del Campidano, avente direzione di filtrazione orientata verso Il golfo di Cagliari nel settore a sud di San Gavino e verso il Golfo di Oristano a nord di San Gavino.

Trattandosi di un complesso sedimentario che alterna vari episodi sedimentari, l'assetto idrogeologico locale è sostanzialmente condizionato dalla distribuzione dei suddetti depositi e dai rapporti eteropici tra termini a differente capacità di infiltrazione. Infatti se da un lato la prevalenza di terreni a permeabilità generalmente media consentono, per la medio-buona capacità di drenaggio e l'elevato valore di infiltrazione efficace, l'immagazzinamento di flussi idrici, la presenza di lenti o livelli a granulometria più sottili (argille limose, limi-argillosi), talora può determinare la formazione di falde idriche sotterranee sospese, a causa del tamponamento superiore o inferiore indotto da questi livelli a bassa o nulla permeabilità.

Rilevo della falda

Il rilievo dei livelli piezometrici ha permesso di definire una direzione di filtrazione orientata verso est/sud-est in direzione del canale *Rio Nou*, come mostrato nella **Carta delle Isofreatiche** di cui all'**APPENDICE 2**. La presenza del canale *Gora Piscina Manna* fa sì che localmente le linee di flusso si orientino verso il canale in direzione est. La soggiacenza nel mese di marzo 2014 è stata rinvenuta a profondità comprese tra 1,00 m e 3,00 m, seppure è ragionevole ritenere che in direzione ovest/nord-ovest possa raggiungere profondità superiori ai – 5,00 m da p.c..

L'acquifero freatico è per sua natura soggetto ad una fluttuazione stagionale della tavola d'acqua: i rilievi compiuti in marzo sono pertanto indicativi della massima escursione piezometrica a cui segue un graduale svuotamento che raggiunge il suo massimo in settembre/ottobre.

DATA	ORA	PROFONDITÀ DA P.C. (m)										
		BH1	BH2	BH4	BH5	BH6	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8
05.03.2014	pomeriggio	-	1,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06.03.2014	mattina	-	1,47	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-
06.03.2014	pomeriggio	-	1,45	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-
07.03.2014	mattina	-	1,45	2,44	2,45	-	-	-	-	-	-	-
07.03.2014	pomeriggio	-	1,46	2,45	2,47	-	-	-	-	-	-	-
10.03.2014	mattina	-	1,53	2,45	2,41	-	-	-	-	-	-	-
10.03.2014	pomeriggio	-	1,53	2,44	2,42	2,02	-	-	-	-	-	-
11.03.2014	mattina	-	1,58	2,47	2,43	2,05	-	-	-	-	-	-
11.03.2014	pomeriggio	1,02	1,58	2,47	2,44	2,05	-	-	-	-	-	-
17.03.2014	mattina	1,13	1,83	2,61	2,55	2,18	2,10	>2,50	1,90	1,90	2,20	2,00

TABELLA 1 – Misure di soggiacenza rilevate nei piezometri a tubo aperto durante la campagna d'indagine.



FIGURA 12 – Andamento del livello della falda rilevato nel corso della campagna geognostica.

In FIGURA 12 si riscontra in tutti i piezometri un trend che evidenzia un debole abbassamento del livello freatico, che con buona probabilità può essere associato sia al progressivo miglioramento delle condizioni meteo e sia allo spurgo dei piezometri avvenuto il giorno 12.03.2014.

Determinazione della permeabilità in situ

Le indagini geognostiche eseguite nel mese di marzo 2014 hanno permesso di definire con maggiore dettaglio i caratteri locali dell’acquifero multifalda, nella fattispecie, sulla base dei risultati delle prove di permeabilità condotte nei foro di sondaggio sono state identificate tre distinte sub-unità aventi peculiari caratteri tessiturali, le quali a partire dall’alto sono:

◆ *Acquifero delle alluvioni superficiali*

É costituito essenzialmente da depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi con abbondanti ciottoli [Strato B]: esso ha uno sviluppo verticale contenuto entro i primi 5,00 m da p.c. e la permeabilità è dell’ordine di $10^{-6} \text{ m/s} < K < 10^{-5} \text{ m/s}$, variabile in funzione del grado di compattazione e della tessitura della matrice.

Al suo interno sono presenti dei livelli cementati da processi di carbonatazione associati alla fluttuazione stagionale della falda contraddistinti da bassi valori di permeabilità K , dell'ordine di 10^{-8} m/s [prova BH5_LF1].

◆ *Acquifero delle alluvioni sub-superficiali*

È stato rinvenuto a profondità superiori ai 6,00 m ed è costituito dai medesimi depositi alluvionali dello Strato b, caratterizzati da un maggior grado di compattazione che si traduce in una riduzione della permeabilità che è dell'ordine di 10^{-7} m/s < K < 10^{-6} m/s.

◆ *Acquitarde o Acquiclude*

Costituisce un acquifero frapposto ai precedenti e contenuto entro gli strati di limi sabbioso-argillosi ed argille limose [Strato C] interdigitati entro il materasso alluvionale ghiaioso-ciottoloso. Tale strato, la cui potenza è variabile da 1,00 m [BH1] sino a oltre 13,00 m [BH6], mostra una permeabilità variabile da $K = 10^{-6}$ m/s per i limi sabbiosi a $K = 10^{-7}$ m/s per i limi argillosi dello [Strato C1] mentre si abbassa notevolmente fino a $K = 10^{-9}$ m/s per le argille limose [Strato C2]. È evidente che la presenza di materiali a granulometria fine, rinvenuti in tutti i sondaggi, rallenti in qualche modo la filtrazione verticale e la diffusione tra i due orizzonti acquiferi (*acquitarde*), sino ad inibirne ogni possibilità di comunicazione nei depositi più francamente argillosi (*acquiclude*).

PROVA	PROFONDITÀ (m)	STRATO	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA (m/s)	GRADO DI PERMEABILITÀ
BH1-LF1	4,00-4,50	STRATO B	$6,14 \cdot 10^{-5}$	Media
BH1-LF2	7,00-7,50	STRATO D1	$2,05 \cdot 10^{-6}$	Bassa
BH2-LF1	3,20-3,70	STRATO B	$1,98 \cdot 10^{-5}$	Media
BH2-LF2	10,50-11,00	STRATO B	$2,97 \cdot 10^{-7}$	Bassa
BH4-LF1	2,50-3,00	STRATO B	$1,87 \cdot 10^{-5}$	Media
BH4-LF2	7,50-8,00	STRATO C2	$1,91 \cdot 10^{-9}$	Impermeabile
BH5-LF1	1,00-1,50	STRATO B	$7,40 \cdot 10^{-8}$	Molto bassa
BH5-LF2	4,20-4,70	STRATO B	$3,13 \cdot 10^{-6}$	Bassa
BH5-LF3	13,00-13,50	STRATO B	$4,27 \cdot 10^{-6}$	Bassa
BH5-LF4	16,50-17,00	STRATO B	$2,42 \cdot 10^{-7}$	Bassa
BH6-LF1	1,50-2,00	STRATO B	$4,72 \cdot 10^{-5}$	Media
BH6-LF2	4,30-4,80	STRATO B	$1,41 \cdot 10^{-6}$	Media
BH6-LF3	16,50-17,00	STRATO D2	$5,41 \cdot 10^{-6}$	Bassa
BH6-LF4	18,00-18,50	STRATO C2	$2,08 \cdot 10^{-7}$	Bassa

TABELLA 2 – Prove di permeabilità eseguite.

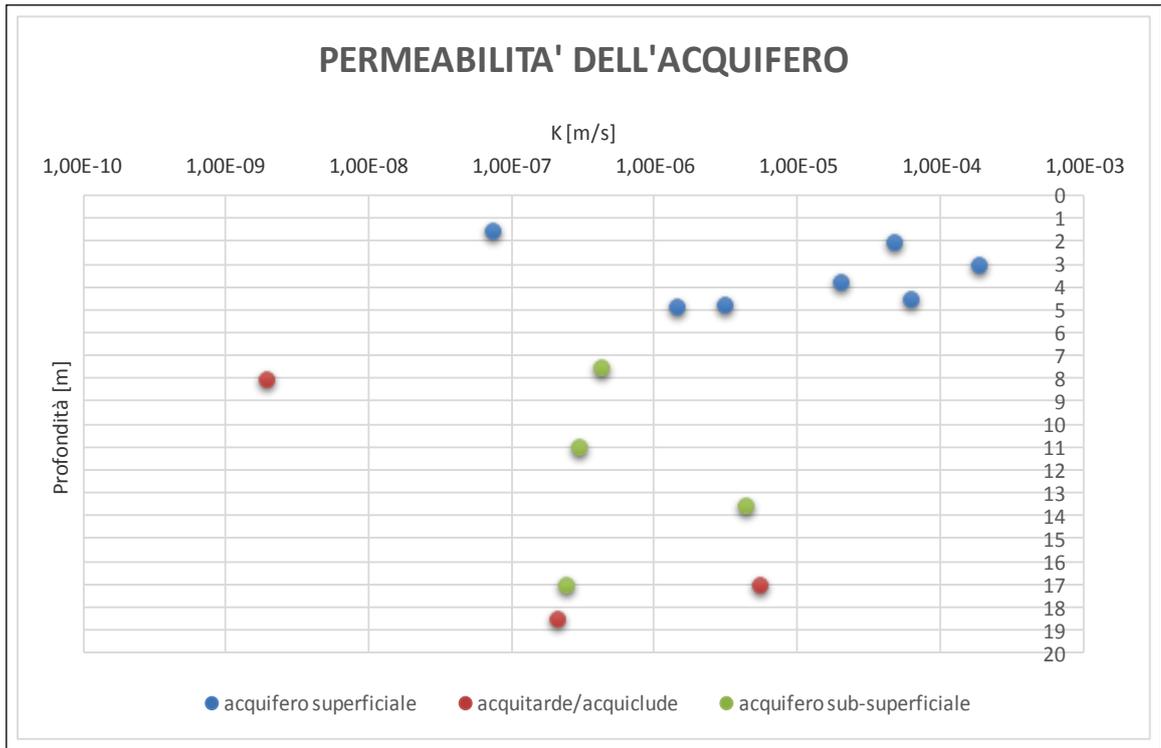


FIGURA 13 – Distribuzione della permeabilità con la profondità associata ai diversi acquiferi.

L’elaborazione relativa a ciascuna prova è contenuta nell’**APPENDICE 7** mentre in **TABELLA 27** si riporta una sintesi dei dati estrapolati dalle prove di permeabilità.

Il grafico di **FIGURA 13** esplica i differenti caratteri idrodinamici delle sub-unità. Durante l’esecuzione di buona parte delle prove, si è potuto constatare come gli abbassamenti del livello dell’acqua in foro sia stato molto significativo entro i primi 30’’: ciò a seguito della perdita di aria entrata in emulsione nell’acqua durante la fase di riempimento a caduta nel foro, tale da formare una schiuma che si esaurisce entro i primi 30’’ .

La portata della falda superficiale, ovvero riferita ai primi 5,00 m di porzione dell’acquifero, nel periodo di marzo 2014, all’interno del perimetro in studio è pari a circa 1,00 l/s: tale valore è stato determinato attraverso il metodo dinamico, basato sulla realizzazione del reticolo di deflusso e sull’applicazione della legge di Darcy in corrispondenza di porzioni omogenee di acquifero a permeabilità nota.

É pur vero che la falda più superficiale, parzialmente limitata alla base dalle tessiture “fini”, rappresenta esclusivamente una minima aliquota del ben più potente complesso idrogeologico del Campidano, la cui struttura, spesso anche più di 50 m, appare frammentata da lenti argillose le quali conferiscono all’acquifero dei caratteri multistrato. Tale aspetto lascia intendere come l’acquifero in oggetto sia interessato nel suo insieme da una circolazione idrica sotterranea costituita da portate ben superiori a 1,00 l/s, tale da soddisfare per certo fabbisogni idrici anche superiori a 5,00 l/s.

3. CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA IDROGRAFICO

L'individuazione del sistema idrografico, come già anticipato, costituisce la base di partenza dello studio idrologico-idraulico. La rete idrografica del territorio in esame si presenta estremamente fitta con molteplici interazioni tra il reticolo naturale e il reticolo artificiale derivante da interventi di bonifica agraria. In scala estesa, il sistema idrografico che si riconduce all'area in esame è compresa tra il vasto bacino del Rio Leni a nord e il Bacino del Fiume Cixerri a sud. Sul contesto esaminato afferiscono sostanzialmente i deflussi del versante orientale dei monti di Vallermosa, un massiccio con quote poco superiori ai 700 m s.l.m.. Dal rilievo si dipartono sostanzialmente due linee principali, con iniziale orientamento verso nord-est e che procedendo verso valle acquisisce il toponimo Perda Mortas e successivamente Riu Coddu Is Domus; un'altra linea di deflusso invece, alimentato da un sistema dendritico proveniente dal massiccio, si estende in direzione est, andando ad alimentare il Rio Linus costituisce l'elemento fondamentale di alimentazione della Traversa di derivazione Enas.

In sponda destra al Rio Linus e poco a monte della traversa, confluisce il Rio Gora Piscina Farsa, un torrente minore proveniente dal versante più a sud dei monti di Vallermosa.

Mentre i compluvi Gora Piscina Farsa e Rio Linus, vanno ad alimentare il Gora Rio Nou, il Rio Coddu Is Domus, si tiene esterno al sistema arginale del Rio Nou percorrendo il colatore sinistro del fiume. Lo stesso colatore, riceve poco a monte dell'area oggetto di intervento il Rio Saliu, un compluvio il cui bacino si stende verso nord e recapita i deflussi provenienti dai versanti di Villazor in località Serra Ollastu con quote sostanzialmente inferiori ai 200 m s.l.m..

Un ultimo elemento drenante degno di nota, è il Rio Piscina Longa, un compluvio proveniente dai rilievi di Villacidro in località Serra Ollastu con quote poco inferiori ai 400 m s.l.m..

Evidenziato nella successiva immagine, l'intero sistema drenante verte su un'area fortemente acclive, montana, con quote che come abbiamo visto si attestano su valori dell'ordine dei 300÷400m, per attestarsi nel breve volgere di pochi chilometri su quote dell'ordine dei 40 m s.l.m.. Questa riduzione di quota avviene in maniera repentina, il sistema drenante vallivo, risulta quindi investito nella generalità dei casi da deflussi che poi non trovano il giusto gradiente per poter essere veicolati verso mare. Il sistema di bonifica approntato in epoche relativamente recenti, compreso le opere di recapito del Riu Nou hanno determinato un maggiore controllo delle linee di deflusso.

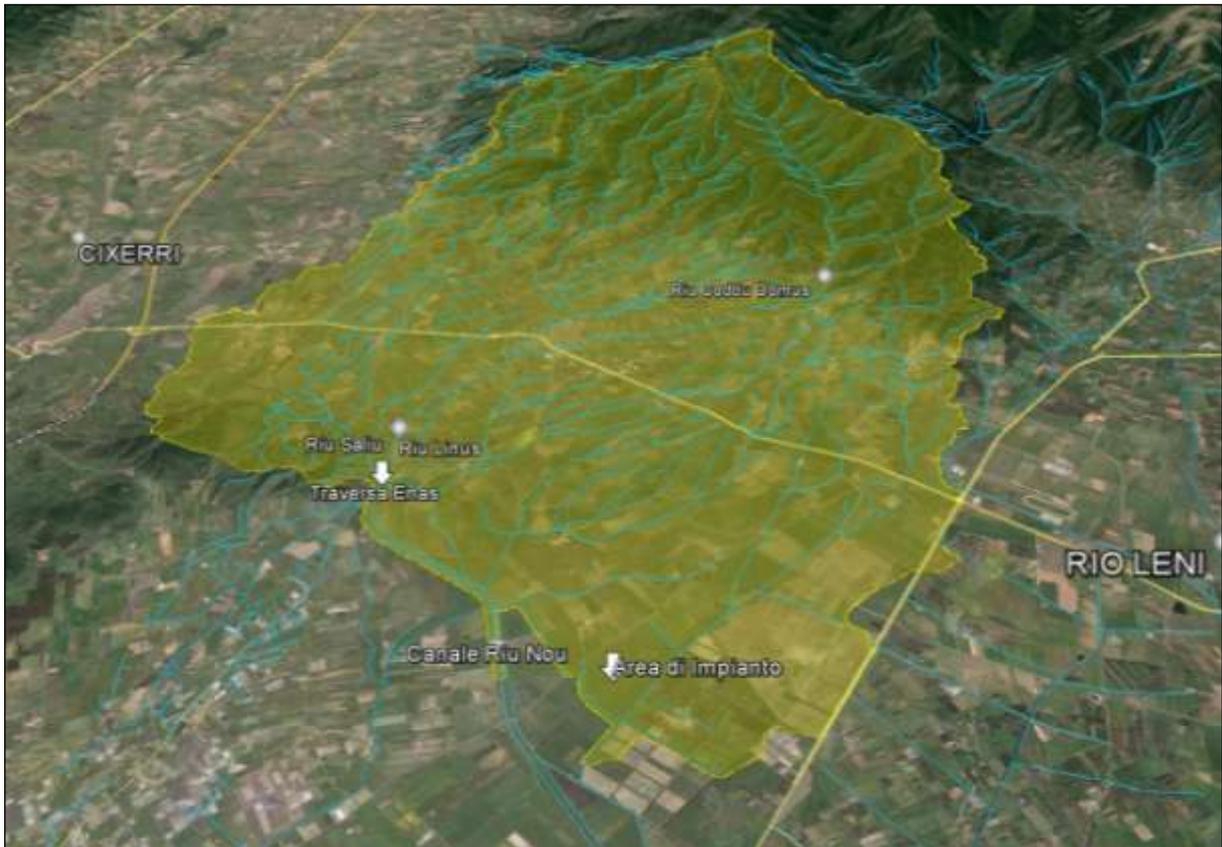


FIGURA 14 – Sistema drenante esteso.

Nel dettaglio quindi l'esame del sistema drenante caratterizzate l'area esaminata ha evidenziato i seguenti bacini (**FIGURA 15**).

- ◆ *Canale Riu Nou (contorno rosso)*
- ◆ *Riu Coddu Domus (campitura marrone)*
- ◆ *Riu Saliu (campitura verde)*
- ◆ *Gora Piscina Manna (campitura celeste)*

È fondamentale evidenziare che, l'analisi idrologica ha volutamente ignorato la presenza del canale adduttore che collega il sistema del Tirso sistema del Cixerri.

Il canale realizzato al fine di collegare i bacini della Sardegna potrebbe, in alcune situazioni estreme, fungere da canale di guardia e quindi drenare i deflussi che gli pervengono dai sistemi montani.

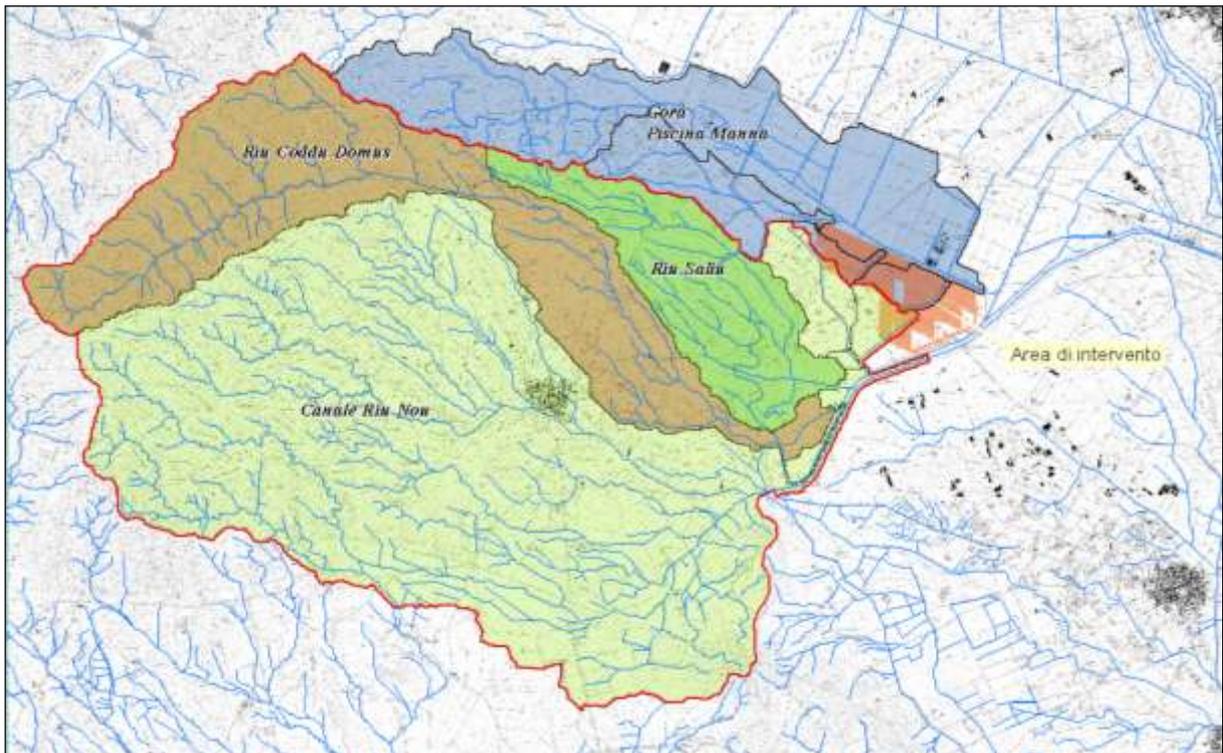


FIGURA 15 – Bacini idrografici principali.

Non essendo questo lo scopo che ha indotto la realizzazione dei suddetti canali, si è ritenuto ipotizzar nullo l'effetto dello stesso effettuando una modellazione idrologica indipendente da qualunque sistema di collettamento artificiale.

Al fine di valutare più compiutamente le interferenze tra le opere in progetto e il sistema drenante, sia principale che minore, sono stati individuati ulteriori sottobacini e comparti drenanti di dimensioni talvolta estremamente minori per i quali sono state individuate le sezioni di chiusura riportate in **TAVOLA 1**.

4. ANALISI IDROLOGICA

4.1. PREMESSA

Per la valutazione delle portate di calcolo sulle superfici scolanti individuate all'interno del territorio comunale, si è operato attraverso l'utilizzo del codice di calcolo *Arc Hydro Tools* attraverso una successione di fasi:

- ⇒ sono state individuate preliminarmente le superfici scolanti elementari, con valori areali compresi tra i 100 m² e il chilometro quadrato;
- ⇒ sono state successivamente aggregate le superfici di cui sopra, individuando i bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua oggetto di valutazione idraulica o per i quali si valutata l'interazione con le aree di pertinenza;
- ⇒ per i bacini inquadrati sono state determinate le aste principali, le grandezze geomorfologiche, le grandezze idrologiche;
- ⇒ con l'applicazione delle metodologie note sono state effettuate le valutazioni idrologiche al fine di definire i valori delle portate di calcolo;

Il calcolo della portata è stato effettuato conformemente a quanto previsto nelle Linee Guida del PAI. In esse si rileva che, in mancanza di dati osservati, si dovrà far ricorso alle metodologie di calcolo disponibili, che possono essere inquadrare 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 calcolati, ovvero indirettamente tramite trasformazione afflussi–deflussi.

4.2. CONSIDERAZIONI GENERALI SUL FENOMENO

A premessa della descrizione del metodo utilizzato, è importante rilevare che la definizione delle aree di allagamento sulla cartografia è l'ultimo passo di un processo di analisi che non può essere scisso dalle precedenti fasi e che, come tale, risente delle schematizzazioni che necessariamente devono essere assunte.

Nell'analisi idrologica l'ordine di schematizzazione assunto riguarda sia il quadro concettuale che esprime il verificarsi del fenomeno, sia la successiva traduzione modellistica del fenomeno semplificato. Nel primo caso giova rilevare che la schematizzazione di base per la rappresentazione della trasformazione degli afflussi in deflussi parte dall'individuazione di un processo descrittivo che assume il deflusso come accorpamento negativo delle grandezze facenti parte del bilancio idrico.

In particolare con il concetto di "trasformazione afflussi-deflussi" raggruppa l'insieme di quei diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso, a partire dalla precipitazione meteorica, prima ancora che il deflusso stesso si incanali nella rete idrografica secondo la schematizzazione riportata nella figura seguente.

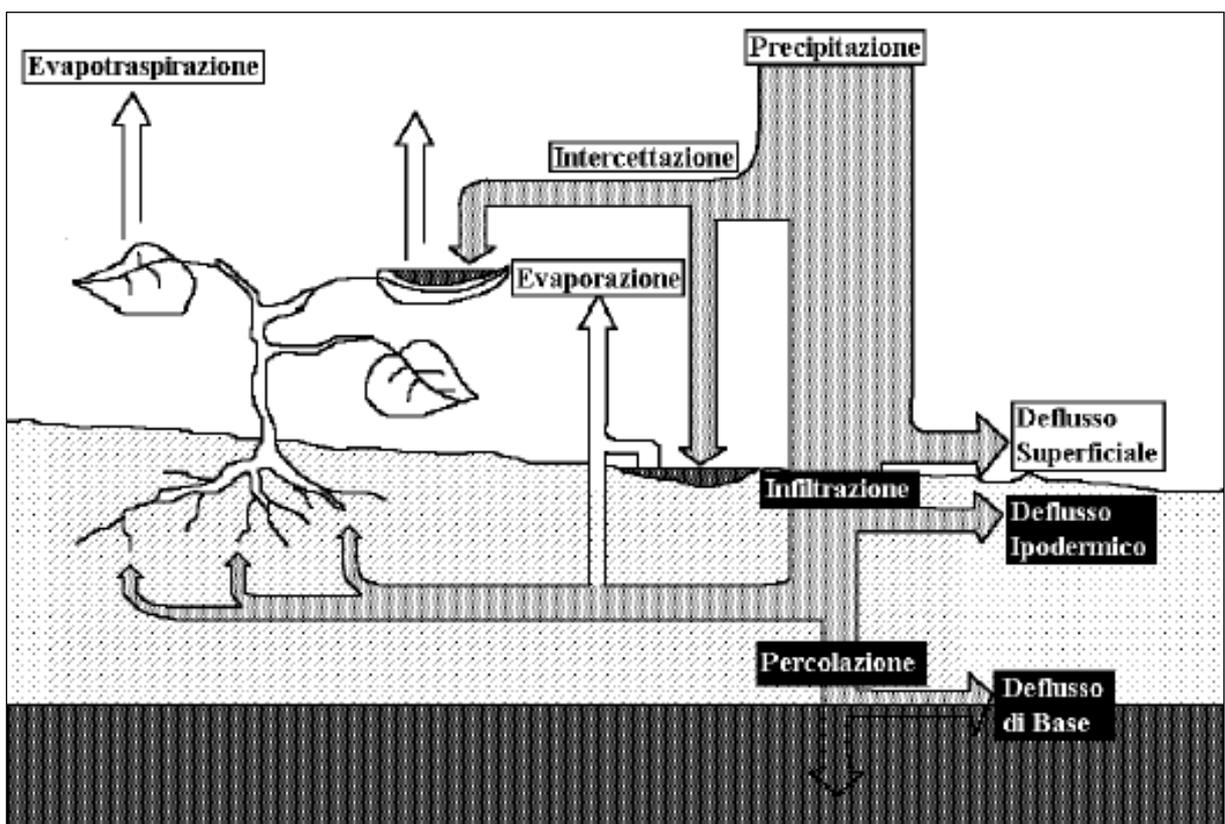


FIGURA 16 – Elementi che concorrono al bilancio idrologico del processo "afflussi-deflussi".

La realizzazione di modelli di piena passa necessariamente attraverso ulteriori semplificazioni del fenomeno, trascurando alcune grandezze che possono considerarsi ininfluenti, infatti:

- 1] l'evapotraspirazione risulta essere modesta o nulla in relazione ai deflussi superficiali che assumono importanza preponderante rispetto agli altri;
- 2] i diversi tipi di deflusso (superficiale, ipodermico, profondo o di base) assumono una importanza relativa che varia in funzione del tempo caratteristico di risposta del bacino in esame.
- 3] il deflusso di base, ovvero quello che può ritenersi costante e determinato dalle portate di magra del corso d'acqua, può essere ritenuto costante nell'ambito dell'evento di piena. Tale contributo, risulta in genere essere di uno o più ordini di grandezza inferiore alle portate di piena, e quindi in buona approssimazione trascurabile, così pure il deflusso ipodermico nel caso di un bacino di dimensioni medie o piccole.

La seconda fase consiste nello stabilire le relazioni analitiche intercorrenti tra le caratteristiche dell'evento meteorico che causa la piena e le modalità con cui avviene la trasformazione afflussi-deflussi.

Il processo di analisi ha avuto le sue prime formulazioni nella metà dell'800 (Mulvany) nella relazione veniva definito il valore della portata al colmo Q per un assegnato periodo di ritorno per effetto di una precipitazione ricadente in un bacino assegnato.

Nella sua formulazione, venivano assunte le seguenti semplificazioni:

- ✓ il valore della portata al colmo Q relativo ad un evento meteorico costante, è il maggiore tra tutti i valori di portata definiti per lo stesso bacino e per lo stesso tempo di ritorno T .
- ✓ per un preassegnato periodo di ritorno, l'evento meteorico che genera il valore massimo di portata ha una durata pari al tempo di corrivazione;
- ✓ che la portata al colmo Q per un evento causata da una precipitazione ragguagliata di intensità costante sia proporzionale all'intensità della precipitazione, alla superficie del bacino e a un coefficiente C legato alle caratteristiche del bacino e al suo grado di impermeabilità.

Il successivo approccio cinematico cui si fa affidamento per la determinazione della portata introduce semplificazioni che tendono a schematizzare il deflusso sempre assumendo delle condizioni che tendono a eliminare le interazioni tra le grandezze che concorrono; in particolare, le ipotesi di base sono:

- ✓ il trasferimento della piena sia affidata al trasferimento di massa liquida;
- ✓ ogni goccia percorra sempre la stessa traiettoria anche con l'evoluzione del processo di pioggia, e che quindi le linee di corrivazione siano immutabili;
- ✓ il tempo di corrivazione, e quindi la velocità di ruscellamento dell'acqua sia immutabile con il livello di saturazione del terreno e con il formarsi del velo idrico superficiale,
- ✓ la velocità della goccia non sia influenzata dal moto delle altre gocce;
- ✓ la portata di piena sia data dalla somma delle portate provenienti dalle altre parti di bacino che si presentano alla sezione di chiusura allo stesso istante.

Le ipotesi di cui sopra diventano di fondamentale importanza in relazione al contesto territoriale entro cui si opera e inducono approssimazioni più o meno rilevanti in base alle forme e caratteristiche dei bacini di riferimento.

Entrando nelle specifiche grandezze che influenzano il modello, si rileva che le semplificazioni riguardano sia il grado di precisione della stima dell'intensità di pioggia, della sua distribuzione spaziale, che evidentemente la superficie del bacino ma anche la sua forma, così pure dell'individuazione della pioggia netta, e passa attraverso una modellizzazione della risposta del bacino stesso.

Le considerazioni su esposte, dunque, inducono a ritenere che possa essere accettato un grado di scostamento rispetto alle condizioni che realmente potrebbero verificarsi.

In fase di valutazione delle grandezze su richiamate, sarà opportuno valutare il grado di imprecisione che deriva dalla valutazione dell'intensità di pioggia, dalla sua distribuzione spaziale e dal comportamento del bacino idrografico per quanto attiene il processo di trasformazione afflussi deflussi.

4.3. INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI DI BACINO

Con l'ausilio di codici specifici per l'idrologia in ambiente GIS è stata dunque eseguita la prima fase di processo dei dati. Successivamente sono stati definiti, per ogni cella⁽³⁾, la direzione del flusso, la direzione di massima pendenza, il numero di celle a monte che contribuiscono al flusso, la rete di drenaggio, le aree di drenaggio per ogni segmento idrico, etc., ai fini di ottenere il quadro completo che concorre all'individuazione dei parametri di bacino.

L'intera procedura consente di individuare quindi i principali parametri idrologici, quali la pendenza del bacino, l'asta principale, la lunghezza e pendenza dell'asta principale, la quota massima, minima e la superficie del bacino, la pendenza media.

4.4. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO - METODI DIRETTI

Analisi regionale

La *Valutazione delle Piene* (VAPI) in Sardegna riporta due metodi di stima regionali, basati sulla distribuzioni probabilistiche *log-normale* e *Two Components Extreme Values* applicati a dati massimi annuali di portata al colmo.

La prima metodologia introdotta da Lazzari nel 1967, esprime la portata al colmo come:

$$\diamond \quad \text{Log } Q(T) = 0,3583 * z(T) + 0,956 * \text{Log}(A * z_m) - 8,731$$

per i bacini della parte occidentale dell'isola

$$\diamond \quad \text{Log } Q(T) = 0,4413 * z(T) + 0,746 * \text{Log}(A * z_m) - 6,257$$

per i bacini della parte orientale

Per la descrizione delle variabili si rimanda alla letteratura tecnica.

La seconda, in base a studi più recenti, interpreta i fenomeni di piena con la *distribuzione TCEV* (Two Components Extreme Values), nella quale la probabilità di non superamento è data dalla miscela di due distribuzioni esponenziali del tipo:

$$P(x) = e^{(-\lambda_1 \cdot e^{(-x/\theta_1)} - \lambda_2 \cdot e^{(-x/\theta_2)})}$$

caratterizzata dai quattro parametri λ_1 , λ_2 , θ_1 , θ_2 .

⁽³⁾ Il modello è costituito da una griglia di celle la cui dimensione viene assegnata sulla base delle necessità di calcolo.

In base all'analisi regionale l'intero territorio della Sardegna è diviso in due zone idrologicamente omogenee nelle quali i parametri valgono rispettivamente:

- ❖ $\ln \varepsilon_1 = -1,1954 + 0,9235 \ln (S) ; \lambda_1 = 6,286$ *per i bacini occidentali*
- ❖ $\ln \varepsilon_1 = 0,9982 + 0,6452 \ln (S) ; \lambda_1 = 4,571$ *per i bacini orientali*
- ❖ $\lambda^* = 0,3938$ e $\theta^* = 5,8866$ *per tutto il territorio regionale*

Per quanto concerne il campo di applicazione di questa metodologia, si rileva che essa deriva dall'analisi di serie storiche relative alle stazioni che sottendono bacini di estensione superiore a circa 60 km².

I casi specifici non rientrano nei casi previsti.

4.5. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO – METODI INDIRECTI

Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione, nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizzi quella della portata al colmo.

La portata di piena è espressa dalla ben nota *Formula Razionale*:

$$Q_P = i_{[\tau, T_R, r(\tau, A)]} * \Phi * A * \varepsilon(\tau)$$

espressione di un modello deterministico elementare a fondamento cinematico, con il seguente significato dei simboli:

i	Intensità di pioggia
T_R	Tempo di ritorno
$r(\tau, A)$	Coefficiente di ragguglio areale
A	Area del bacino
τ	Durata della pioggia critica
Φ	Coefficiente di deflusso
$\varepsilon(\tau)$	Coefficiente di laminazione

Nella valutazione dell'entità della precipitazione si è ritenuto di applicare sia la metodologia classica proposta dal Puddu e successivamente aggiornata, sia il metodo di più recente pubblicazione che prevede la definizione delle curve di possibilità pluviometrica basate sul modello TCEV.

Altezza di pioggia critica

Metodo TCEV

Eventi di pioggia particolarmente intensi sfuggivano alla capacità di previsione delle curve di possibilità pluviometriche formulate da curve a due parametri, si è reso pertanto necessario sviluppare una trattazione capace di interpretare più fedelmente eventi di breve durata, anche utilizzando curve di distribuzione con un maggior numero di parametri.

In detta recente trattazione si è riscontrata l'impossibilità di adottare, per tempi di ritorno superiori ai 10 anni, un unico tipo di funzione monomia; si è invece reso necessario separare la casistica in due tipologie di eventi: piogge di durata inferiore a un'ora e piogge di durata superiore a un'ora. Le equazioni elaborate sono:

$$h(T, t) = (a_1 a_2') * t^{(b_1 + b_2')} \quad t \leq 1 \text{ ora}$$

$$h(T, t) = (a_1 a_2'') * t^{(b_1 + b_2'')} \quad t > 1 \text{ ora}$$

dove:
$$a_1 = \frac{\mu_g}{0,886 * 24^{b_1}}$$

$$b_1 = -0,493 + 0,476 * \text{Log} \mu_g$$

avendo indicato con μ_g il valore medio giornaliero della pioggia il cui valore è rilevabile nella seguente carta. I parametri a_2' , a_2'' e b_2' , b_2'' contraddistinguono invece la sottozona di appartenenza, l'area in esame insiste nella **Sottozona 1**.

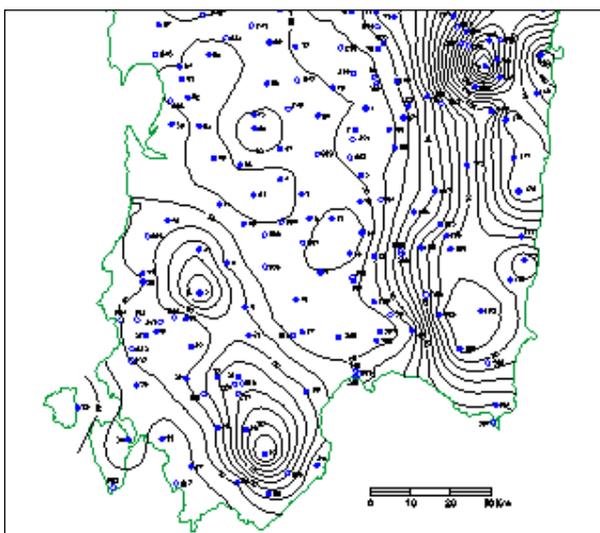


FIGURA 17
 Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad. Ricerca n. 9 dell'Università di Cagliari, 1997).

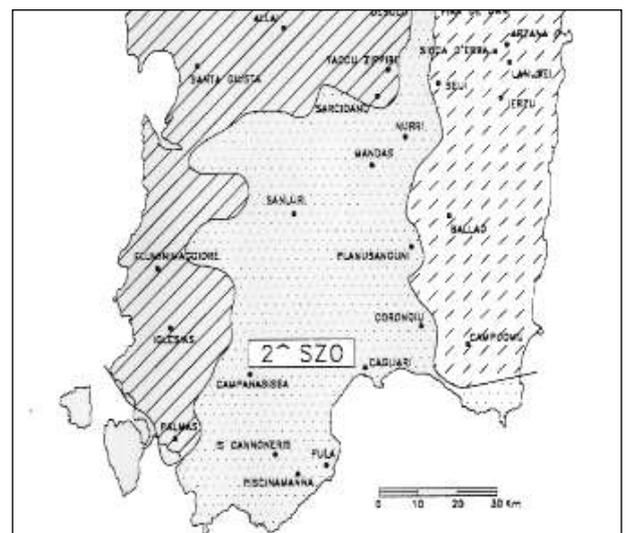


FIGURA 18
 Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna. In ciascuna zona I parametri del modello TCEV sono riportati in Tabella 8. (da Deidda ed. al., 1993).

Valutazione del coefficiente di deflusso Φ

Per la valutazione del coefficiente di deflusso, si fa ricorso al metodo CN del Soil Conservation Service, che secondo gli autori trova impiego ottimale nell'ambito dei piccoli bacini.

Si intende per pioggia netta la grandezza:

$$h_{netta} = \frac{(h_{Iorda} - I_a)^2}{h_{Iorda} + S - I_a}$$

dove:

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

Per la determinazione del CN si è operato partendo dalle indicazioni definite nell'ambito del progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali; in particolare si è partito dalla cartografia dell'uso del suolo, sulla base dell'uso del suolo sono state determinati i valori di CN di partenza secondo i valori espressi nella Tabella 1 presente nell'elaborato "Metodologia di Analisi".

In una seconda fase sulla base delle indicazioni derivanti dalla geologia della Sardegna desunta dalla carta geologica della carta geologica sono stati introdotti, sempre secondo quanto previsto dalle Metodologia di analisi dei valori correttivi caratterizzati ogni tipo litologico, così come descritto nella **TABELLA 3**.

L'attribuzione ai valori del CN derivanti dall'uso del suolo, dei valori correttivi derivanti dalla carta geologica conduceva a valori del CN che potevano essere considerati omogenei come criterio di definizione in tutto il territorio analizzato.

Il parametro S, rappresenta la quantità d'acqua immagazzinabile nel bacino, ovvero la massima altezza di pioggia che può essere ritenuta, ed è legato alla possibilità di infiltrazione, e alle condizioni di umidità precedenti (AMC Antecedet Mixture Condition).

La scelta del valore del CN quindi conto della condizione di umidità del suolo a causa di eventi meteorici che possono aver interessato il bacino in esame nei 5 giorni precedenti l'evento critico attraverso l'introduzione del parametro CNIII che sarà utilizzato nei calcoli e che deriva dall'applicazione della seguente :

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

Il valore dell'infiltrazione iniziale è dato dalla:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

Tale valore è stato cautelativamente stimato pari a 0.

Nella fase applicativa si sono resi necessari ulteriori approfondimenti legati al livello di dettaglio con il quale si è operato; in particolare giova evidenziare i seguenti aspetti.

- 1) Nella valutazione dell'altezza di pioggia netta, il valore sottratto al deflusso, per effetto della percentuale immagazzinata, è evidentemente legato al valore di S e quindi del CN; S è un valore assoluto, quindi è disgiunto dall'altezza di pioggia, in quanto per definizione frutto dell'uso del suolo e della geologia. Inoltre, minore è la dimensione del bacino, minore è il tempo di corrivazione, minore è la pioggia lorda e maggiore è l'influenza che il CN e quindi di la ha sulla determinazione del valore della pioggia netta. Per i piccoli bacini dell'ordine di qualche ettaro, con altezze di pioggia di alcuni millimetri, si determinano valori di S confrontabili con l'altezza netta; con conseguente rapporto pioggia netta/pioggia lorda decisamente basso. Questo limite dell'applicazione del metodo tende a scomparire nei bacini di maggiore dimensione. In condizioni di eventi estremi su piccoli bacini il metodo tende quindi a sottostimare in maniera estrema i valori di portata.
- 2) Il legame del valore del CN con l'uso del suolo può indurre, soprattutto nei piccoli bacini, problematiche legate alla brusca variazione della copertura vegetale, anche stagionalmente o per effetto di variazione della pratica agraria. Estremizzando il concetto, anche un evento incendiario può trasformato in poche ore coperture boscate o a macchia mediterranea, riconducibili a valori del CNII nell'interno del 60, a coperture riconducibili ad aree a pascolo naturale con valori del CNII nell'interno del 75. Al contrario, nei grandi bacini l'eventuale alterazione della copertura è più probabile che possa riguardare solo una sua porzione. Tanto maggiore è la dimensione del bacino tanto minore è l'incidenza complessiva della possibile variazione. In bacini ridotti, a ridosso dei centri urbani è purtroppo possibile che il disboscamento accidentale possa interessare un intero bacino, con conseguenze drammatiche in ordine alla variazione della possibilità di deflusso.

Queste considerazioni, che devono assolutamente essere intese come critiche al metodo proposto nel PSFF, evidenziano sostanzialmente l'esigenza di una particolare cura nella valutazione del CN soprattutto per i piccoli bacini.

La determinazione del valore, è stata quindi effettuata sia in considerazione delle linee guida e sia attraverso aggiustamenti puntuali che interessavano prioritariamente i bacini minori.

I valori conclusivi e di sintesi sono consegnati nella **TABELLA 3**.

Per il coefficiente di ragguaglio areale si assumono le seguenti espressioni:

$$r = 1 - (0,0394 \cdot A^{0,354}) \cdot d^{(-0,40 + 0,0208 \ln(4,6 - \ln(A)))} \quad \text{per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 \cdot A^{0,354}) \cdot d^{(-0,40)} \quad \text{per } A > 20 \text{ km}^2$$

Durata della pioggia critica

Per la valutazione della durata della pioggia critica si è assunto il modello utilizzato nella procedura VAPI Sardegna; si è quindi ammesso che la durata della pioggia corrisponda alla somma del tempo necessario per la formazione del deflusso superficiale e del tempo di corrivazione del bacino:

$$\tau = \tau_c + \tau_f$$

dove:

τ_c è il tempo di corrivazione

τ_f è il tempo necessario per la formazione del ruscellamento superficiale

La valutazione del **tempo di corrivazione** viene fatta attraverso un confronto critico delle seguenti formule empiriche:

❖ Ventura	$t_c(h) = 0,1272 \cdot (A/i_m)^{0,5}$
❖ Pezzoli	$t_c(h) = 0,55 \cdot L / (i_m)^{0,5}$
❖ Viparelli	$t_c(h) = L / V$
❖ VAPI	$t_c(h) = 0,212 \cdot a^{0,231} \cdot (hm/J)^{0,289}$
❖ Puglisi	$t_c(h) = 6 \cdot L^{2/3} / (h_{\max} - h_{\min})^{0,5}$
❖ Tournon	$t_c(h) = 0,369 \cdot L / (i)^{0,5} \cdot [(A/L^2) \cdot (i/i_m)]^{0,72}$
❖ Giandotti	$t_c(h) = (4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L) / (0,8 \cdot H_m^{0,5})$
❖ Pasini	$t_c(h) = 0,108 \cdot (A \cdot L^{1/3}) / i_m^{0,5}$

dove:

- A superficie del bacino [km²]
- L lunghezza dell'asta principale [m]
- L_m distanza massima percorsa dall'acqua [m]
- i pendenza del versante [%]

i_m pendenza media dell'asta principale [%]

h_m quota media del versante [m]

h_{max} quota massima del versante [m]

h_{min} quota minima del versante [m]

V velocità di scorrimento, generalmente si è impiegato 1,2 m/s

Relativamente alla determinazione del tempo di corrivazione, la scelta è stata effettuata sulla base del confronto tra i valori calcolati con le varie metodologie proposte dalla letteratura tecnica.

Alla base della valutazione dei metodi proposti è necessaria una breve rappresentazione delle ipotesi o dei campioni esaminati dagli estensori delle formule proposte per la determinazione del tempo di corrivazione.

Il metodo di calcolo di Viparelli (1961), è sostanzialmente un metodo che parte dalla definizione di un modello sintetico del bacino idrografico; il principio quello di considerare le isocorrive coincidenti con le isoipse; conseguentemente ammettere che la distanza percorsa dalla goccia sia sostanzialmente legata alla differenza di quota tra i punti del bacino e la quota della sezione di chiusura. L'ipotesi di base è tanto più vera quanto maggiore è la circolarità del bacino esaminato. Parti di bacino con la medesima quota di spartiacque hanno isocorrive differenti, in queste condizioni cade la coincidenza dei tempi di percorrenza, e conseguentemente l'idrogramma di piena reale tende a essere più schiacciato di quello di calcolo. In base a questi presupposti il metodo tende quindi a sovrastimare le portate di calcolo.

Un'ultima considerazione è invece legata al comportamento della corrente in relazione al fenomeno di esondazione: si è infatti osservato (VAPI Sardegna) che durante la fase di esondazione, la corrente, tende a rallentare soprattutto nelle sue aree di frangia, conseguentemente il tempo di ascesa dell'idrogramma di piena tende ad essere più lungo del tempo di corrivazione, in queste condizioni la determinazione della pioggia critica andrebbe definita sulla base di un evento meteorico avente una durata maggiore rispetto a quello definito in base ai tempi di corrivazione.

Gli altri metodi proposti nascono invece dall'analisi dei tempi di risposta di una serie di bacini osservati, sulla base delle osservazioni effettuate, viene definita una formula per il calcolo del tempo di risposta dello stesso comparto drenante legandolo ad una serie di parametri morfologici.

Il peso dei vari parametri definiti, è evidentemente variabile tra una formula ed un'altra, in considerazione alle caratteristiche dei tipi di bacini osservati. In linea di principio, la scelta del metodo da utilizzare in ogni specifica applicazione, dovrebbe definirsi sulla base di una eventuale similitudine dei bacini oggetto di valutazione con il campione esaminato in fase di predisposizione della formula.

La difficoltà di definire l'eventuale similitudine dei casi specifici con i campioni osservati, porta, ai fini cautelativi, ad assumere di volta in volta valori dei tempi di corrivazione in linea con le valutazioni più basse derivanti dall'applicazione dei vari metodi; escludendo comunque quei valori che tendono a scostarsi in maniera significativa dalle valutazioni medio basse o quei valori che nascono dall'applicazione di una formula che trae origine da esperienze decisamente differenti.

Di seguito si consegna una rapida descrizione delle caratteristiche dei campioni di bacini osservati per la determinazione delle formule di calcolo.

- ✓ *Metodo di Giandotti*: è indicato per bacini collinari con estensione maggiore ai 170 km²;
- ✓ *Metodo di Pasini*: il metodo è applicato su bacini di pianura delle dimensioni di qualche km²;
- ✓ *Metodo di Ventura*: il campo di impiego riguarda principalmente bacini pianeggianti di modeste dimensioni;
- ✓ *Metodo di Tournon*: il campione osservato, e conseguentemente il campo di applicazione riguarda bacini con estensioni comprese tra 30÷170 km²;
- ✓ *Metodo di Puglisi*: è stato determinato dall'esame di bacini dell'appennino da uno con superfici tra i 43÷94 km²;
- ✓ *Metodo di Pezzoli*: l'analisi ha riguardato un campione di piccoli bacini ricadenti nel territorio del Piemonte;
- ✓ *Metodo di Salis-Sechi*: il metodo è stato proposto in occasione della pubblicazione del VAPI Sardegna (1991) ha origine dalla necessità di valutare l'attendibilità in campo regionale dell'applicazione delle consuete formule per la determinazione dei tempi di corrivazione. La formulazione proposta nasce dall'esame di 18 stazioni idrometriche e dall'analisi di fenomeni estremi di portata di piena registrati, il campione esaminato riguarda bacini di grandi dimensioni (oltre 100 km²).

Scelta del tempo di ritorno

I tempi di ritorno adottati sono conformi alle indicazioni del PAI, in particolare sono stati adottati 50, 100, 200, 500 anni.

Nelle tre tabelle che seguono sono sintetizzate le indicazioni morfologiche e pluviometriche, le caratteristiche sul CN, i valori dei tempi di corrivazione calcolati e le conseguenti portate al colmo per i quattro tempi di ritorno.

	AREA DEL BACINO (km ²)	Q CHIUSURA (m)	QUOTA MASSIMA (m)	QUOTA MEDIA (m)	PENDENZA MEDIA DEL BACINO (%)	LUNGHEZZA ASTA (km)	PENDENZA ASTA	V MEDIA (m/s)	SOTTOZONA	HG MEDIA	CN (II CATEGORIA)
Colatore Canale Rio Nou	0,31	38,98	48,82	42,89	2,44	1,83	0,002586	1,2	2	52,3	84,0
Rio Coddu Domus	22,33	38,53	901,58	263,23	26,45	19,45	0,023256	1,2	2	58,75	89,0
Rio Saliu	9,07	36,46	169,04	67,07	7,38	8,49	0,008418	1,2	2	53,2	81,9
Rio Porcus monte	1,90	38,73	61,75	48,58	1,77	2,92	0,0078	1,2	2	53,2	84,0
Gora Piscina Manna Canale principale	19,74	33,41	393,42	96,71	9,61	13,98	0,010498	1,2	2	50,5	91,8
Gora S'Acqua Frisca Canale principale	3,19	49,64	191,07	76,19	6,18	5,04	0,009504	1,2	2	53,2	82,9
Gora Piscina Manna dereno n.1	0,45	43,107	60,36	47,96	0,72	2,58	0,00467	1,2	2	53,5	84,0
Gora Piscina Manna dereno n.2	0,75	36,12	45,86	40,35	0,68	1,97	0,005068	1,2	2	53,5	88,3
Rio Porcus dreno	0,81	37,23	46,07	40,37	0,86	2,15	0,00306	1,2	2	51,4	84,0
Rio Porcus valle	2,83	37,00	61,75	45,81	1,47	2,92	0,006647	1,2	2	51,3	84,0
Canale Rio Nou	92,57	19,56	901,58	178,66	17,27	21,42	0,039355	1,2	2	57,55	88,0

TABELLA 3 - Elementi morfologici di bacino e indicazioni idrologiche.

	PASINI (ore)	GIANDOTTI (ore)	VIPARELLI (ore)	VENTURA (ore)	PEZZOLI (ore)	PUGLISI (ore)	TOURNON (ore)	SALIS-SECHI (ore)	VALORE ADOTTATO (ore)
Colatore Canale Riu Nou	1,76	3,15	0,42	1,40	1,98	4,20	1,15	1,40	0,42
Riu Coddu Domus	5,36	4,01	4,50	3,94	7,02	4,56	2,74	3,19	2,74
Riu Saliu	5,01	5,60	1,97	4,18	5,09	4,90	3,77	2,53	1,97
Riu Porcus	2,16	3,94	0,67	1,99	1,82	4,30	3,31	2,42	0,67
Gora Piscina Manna	6,86	6,09	3,24	5,52	7,50	4,89	4,67	3,11	3,11
Gora S'Acqua Frisca	2,80	3,57	1,17	2,33	2,84	3,39	2,34	2,17	1,17
Gora Piscina Manna	1,66	3,71	0,60	1,25	2,07	4,36	1,83	2,24	0,60
Gora Piscina Manna	1,73	3,91	0,46	1,55	1,53	4,42	3,02	2,44	0,46
Riu Porcus	2,35	4,81	0,50	2,07	2,13	4,83	3,03	2,32	0,50
Riu Porcus	2,68	4,68	0,67	2,63	1,97	4,20	4,82	2,76	0,67
Canale Riu Nou	6,84	7,00	4,96	6,17	5,94	4,83	7,93	4,49	4,49

TABELLA 4 - Quadro di sintesi dei tempi di corrvazione determinati.

	PORTATA Tr 50 (m ³ /s)	PORTATA Tr 100 (m ³ /s)	PORTATA Tr 200 (m ³ /s)	PORTATA Tr 500 (m ³ /s)
Colatore Canale Rio Nou	3,21	3,78	4,35	5,13
Rio Coddu Domus	117,27	137,40	157,63	184,39
Rio Saliu	46,18	55,54	65,03	77,71
Rio Porcus monte	16,99	20,30	23,65	28,17
Gora Piscina Manna Canale principale	93,34	108,63	123,91	144,08
Gora S'Acqua Frisca Canale principale	22,49	27,20	32,00	38,43
Gora Piscina Manna dereno n.1	4,25	5,06	5,88	6,99
Gora Piscina Manna dereno n.2	9,42	10,90	12,38	14,37
Rio Porcus dreno	7,89	9,33	10,80	12,79
Rio Porcus valle	24,71	29,54	34,43	41,02
Canale Rio Nou	338,76	396,38	453,95	529,96

TABELLA 5 - Indicazione delle valutazioni di piena determinate con il metodo indiretto.

AL fine di definire la portata che transita nel colatore sinistro del Rio Nou, si devono sommare i contributi del Rio Saliu, del Rio Coddu Domus e del tratto iniziale del colatore stesso nonché del Rio Porcus a valle, secondo quanto indicato in **FIGURA 19**.

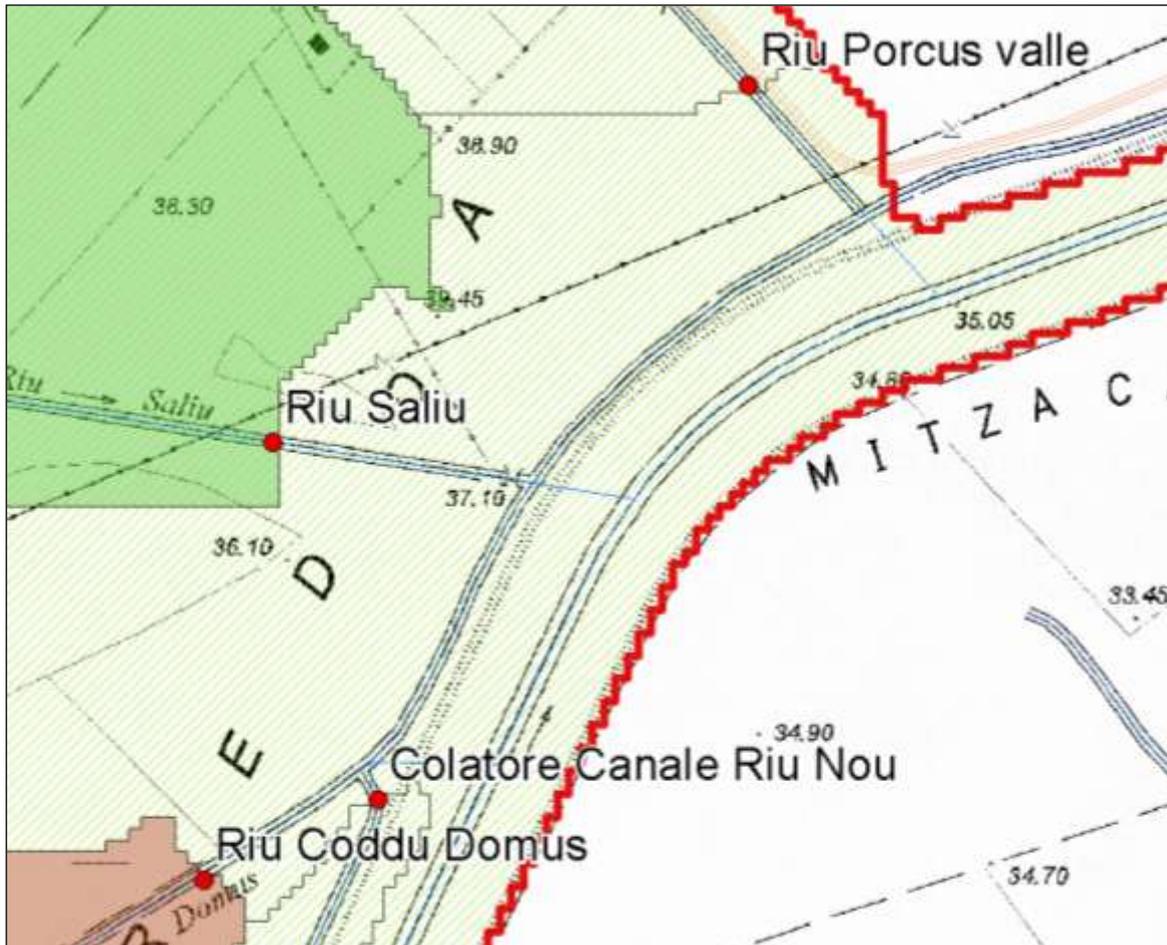


FIGURA 19 – Afflussi sul colatore sinistro.

	PORTATA Tr 50 (m ³ /s)	PORTATA Tr 100 (m ³ /s)	PORTATA Tr 200 (m ³ /s)	Portata Tr 500 (m ³ /s)
Colatore Canale Rio Nou	3,21	3,78	4,35	5,13
Rio Coddu Domus	117,27	137,4	157,63	184,39
Rio Saliu	46,18	55,54	65,03	77,71
Rio Porcus valle	24,71	29,54	34,43	41,02
Totale	191,37	226,26	261,44	308,25

TABELLA 6 - Indicazione delle portate sul colatore sinistro.

5. ANALISI IDRAULICA

5.1. CONSIDERAZIONI GENERALI

L'analisi degli effetti dei deflussi sul territorio, legati ad eventi di particolare rilevanza sul reticolo idrografico interno al territorio comunale, è stata effettuata rilevando il comportamento che le portate veicolate internamente al reticolo idrografico hanno con le aree di pertinenza fluviale.

5.2. CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

Come per l'analisi idrologica, anche in quella idraulica sono state utilizzate opportune schematizzazioni e semplificazioni che mirano a produrre un approccio modellistico del fenomeno che possa tradursi in una procedura di calcolo.

La trasposizione dell'evento meteorico e conseguentemente di piena sul territorio è descritta attraverso la modellazione della propagazione della piena sul reticolo idrografico.

In questa fase sono svariate le semplificazioni che vengono assunte: in primo luogo di carattere modellistico, assumendo valide le ipotesi di base dell'equazione di *De Saint Venant*, e quindi ritenendo in prima stesura che l'alveo sia un cilindroide, che il moto sia gradualmente variato, che durante l'evento di piena la sezione si mantenga immutata come forma e come caratteristiche di scabrezza, e infine che il fluido trasportato si comporti come un fluido newtoniano. Il codice di calcolo utilizzato introduce dei parametri correttivi, che in qualche maniera danno ragione alle semplificazioni adottate in fase di calcolo dei livelli idrici durante lo sviluppo longitudinale dell'asta. Il modello idraulico è stato realizzato utilizzando le informazioni desunte dalla cartografia disponibile (dtm 1 m) supportata da ulteriori indagini in situ. La simulazione del deflusso idraulico sul modello generato dalle informazioni cartografiche ha definito un profilo di corrente per ogni portata di calcolo.

L'impronta dell'allagamento è definito dal luogo dei punti che in ogni sezione si trovano al di sotto dell'altezza idrica calcolata. In fase di modellazione si è operato valutando l'andamento dei profili idrici su più sezioni attigue effettuando sostanzialmente una media mobile ed eliminando i valori decisamente anomali.

Inoltre, si è osservato se le aree esondate potessero o meno rientrare in alveo: laddove non risultasse possibile il rientro in alveo si è confermata un'area di esondazione anche laddove la sezione risultasse idonea. In ultima analisi, si è cercato di dare una giustificazione globale alle aree coinvolte dagli allagamenti valutando sulla base delle informazioni locali il comportamento delle portate di piena in occasione di eventi di rilievo, consentendo indubbiamente di realizzare una calibrazione dei modelli idraulici prodotti.

5.3. METODOLOGIA UTILIZZATA

In ottemperanza a quanto disposto dalle Linee Guida del PAI, l'analisi verrà condotta in condizioni di moto permanente per le portate di piena con tempi di ritorno 50, 100, 200, 500 anni.

Nella valutazione delle aree di esondazione si è operato secondo la metodologia di seguito descritta. Si è realizzato un modello idraulico del terreno nel quale fossero ben definite le sezioni trasversali (transetti), l'andamento planimetrico dell'alveo e la presenza di opere di attraversamento; le caratteristiche di cui sopra definiscono l'andamento planoaltimetrico del rio e conseguentemente le sue caratteristiche geometriche. In una seconda fase, sulla base della presenza di vegetazione, o sulla base delle caratteristiche del materiale presente in alveo, si è attribuito il coefficiente di scabrezza.

L'analisi in condizioni di moto permanente necessita della definizione della condizione a contorno di monte e della definizione a contorno di valle; premettendo che da un'analisi di sensitività si è osservato che generalmente questo parametro, se scelto con criterio, non produce particolari variazioni dei livelli idrici già dopo alcuni metri, si è ritenuto cautelativo assumere per le due condizioni l'ipotesi di altezza di moto uniforme.

5.4. IL MODELLO DI CALCOLO

Il modello idraulico utilizzato in questo studio, denominato HEC-RAS, nella sua versione 4.0, è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua in condizioni di moto stazionario e non stazionario.

Questa scelta è stata fatta per ragioni di coerenza con il PAI che ha individuato e perimetrato le aree a rischio idraulico utilizzando questo codice di calcolo. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente etc..

Moto permanente

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico,

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_e \quad (1)$$

dove:

- Y1 e Y2 altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;
- Z1 e Z2 altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;
- V1 e V2 velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;
- α_1 e α_2 coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche;
- h_e perdita di carico tra le due sezioni considerate.

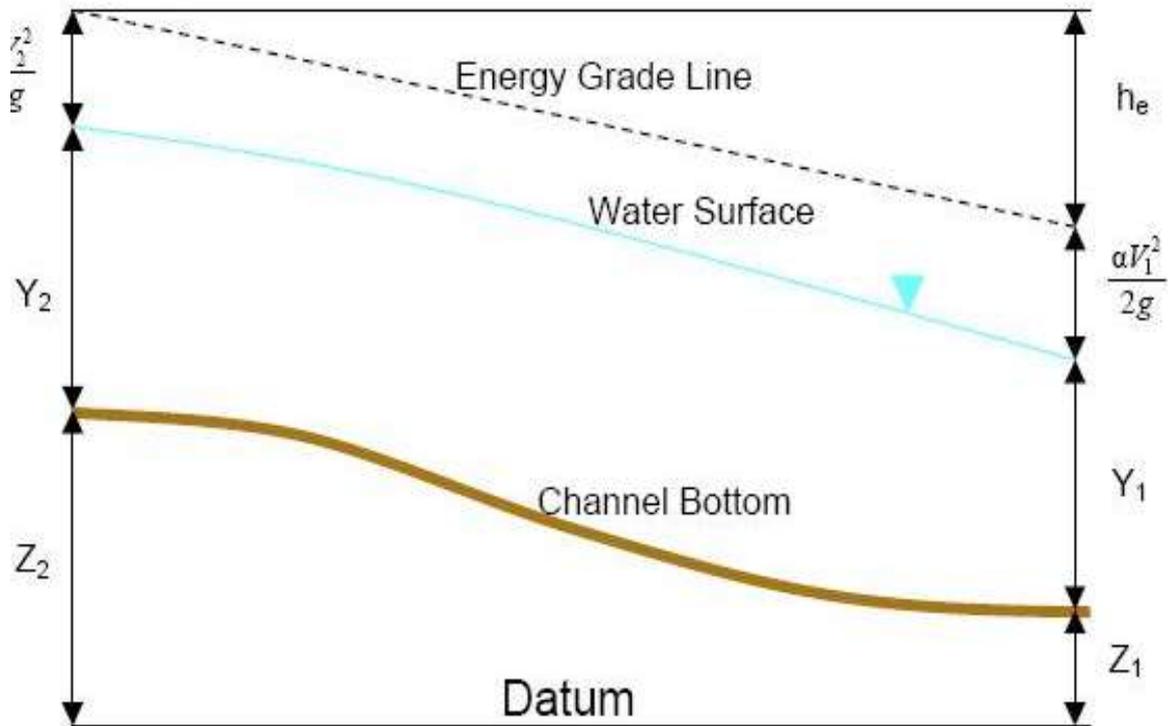


FIGURA 20 – Afflussi sul colatore sinistro.

Il termine h_e dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

L lunghezza del tronco considerato;

$\overline{S_f}$ cadente media tra le due sezioni;

C coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

Il secondo termine dell'equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0,1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori. L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta e veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni.

Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step), tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte.

Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

Le aste modellate sole più prossime all'area di intervento, in particolare il Rio Piscina Manna, il canale Rio Nou e il colatore sinistro del Canale Rio Nou.

In particolare, per quanto attiene gli ultimi due corsi d'acqua, si è inizialmente verificato se il canale principale fosse in grado di smaltire la sua portata di calcolo senza rotture arginali, in un secondo momento, si è verificata la capacità di trasporto del colatore laterale.

Nell'ambito della modellazione verranno attribuiti ai tratti indagati le portate di cui alla tabella seguente.

RIVER	REACH	PROGRESSIVA	PORTATA TR_50	PORTATA TR_100	PORTATA TR_200	PORTATA TR_500
Canale Rio Nou	Canale Rio Nou	3.402	338,76	396,38	453,95	529,96
Gora P. Manna	Gora P. Manna	3.768,063	22,49	27,2	32	38,43
Gora P. Manna	Gora P. Manna	3.416,969	93,34	108,63	123,91	144,08
Colatore Rio Nou	Colatore Rio Nou	3.447,833	191,37	226,26	261,44	308,25

TABELLA 7 - Portate di progetto in m³/s.

5.5. RISULTANZE DELLO STUDIO

Per la realizzazione dei modelli idraulici si è fatto ampio ricorso al modello digitale del terreno a passo un metro reso disponibile dalla Regione Sardegna. In una parte dei casi si è potuto far ricorso dell'informazione cartografica desunta dal DTM 1m fornito dalla RAS.

Come si è anticipato i modelli idraulici hanno realizzato il canale Rio Nou con il suo affluente sinistro e il Rio Gora Piscina Manna.

Nel primo caso sé stata modellata una lunghezza dell'asta di circa 3400 m, con origine a quota 32,3 m s.l.m. e termine a quota 27 m s.l.m. il corso d'acqua è a sezione trapezia con una savanella interna di circa 20 m, la larghezza del corso d'acqua si attesta invece su 120 m. Le sponde sono dotate di argini in terra di altezza pari a circa 2,20 m con l'argine destro superiore rispetto al sinistro di poche decine di centimetri.

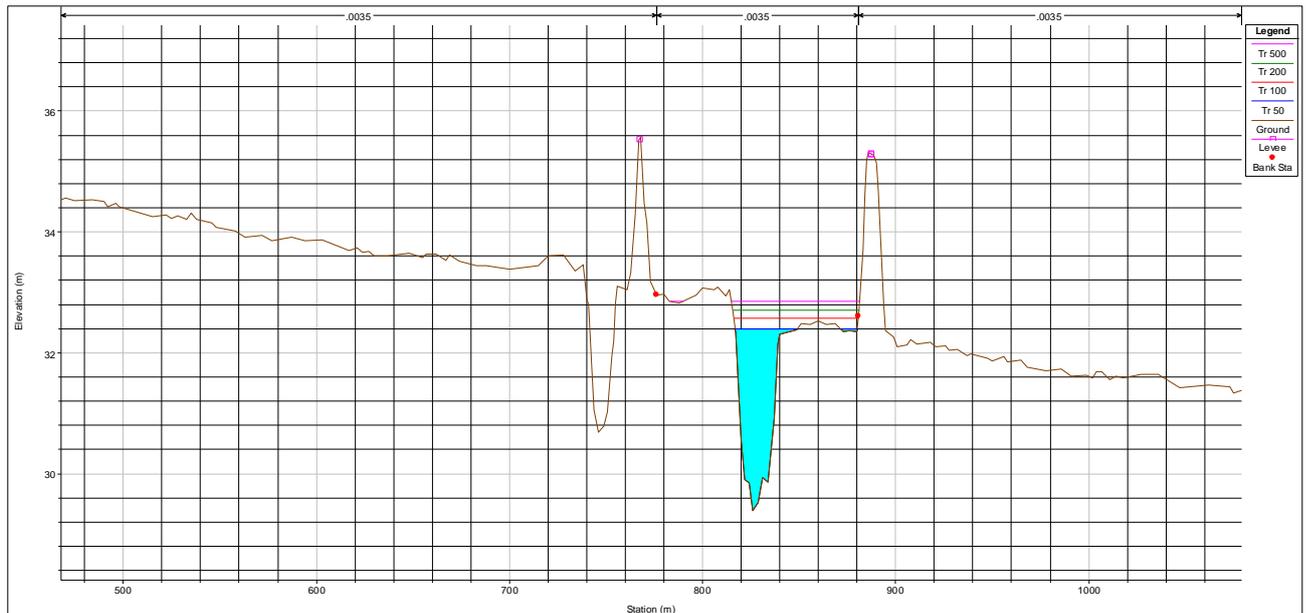


FIGURA 21 – Sezione tipo del Canale Rio Nou.

Complessivamente sono stati definiti 14 transetti della lunghezza media di 1.700 m. Sempre dalla **FIGURA 21** si rileva la presenza del colatore destro.

Per la definizione della geometria di calcolo si è utilizzata la medesima impronta adottata per il Rio Nou: sono stati solamente traslati il centro alveo in corrispondenza dell’asse colatore e il "levee"⁽⁴⁾ destro del colatore è stato messo in corrispondenza dell’argine sinistro del canale Rio Nou.

IL modello del Rio Piscina Manna e del suo affluente destro Rio Coddu Domussi è sviluppato per una lunghezza di 3.750 m partendo da quota 49,50 m sino alla quota di 28,20 m s.l.m.; è un canale a sezione trapezia con fondo di circa 5 m sponde 3:2 e altezza di circa 3 m.

La successiva immagine consegna lo schema planimetrico del modello utilizzato.

⁽⁴⁾ Indicatore imposto nel codice di calcolo HecRas; esso posizionato sulla sommità arginale simula la funzionalità del rilevato arginale.

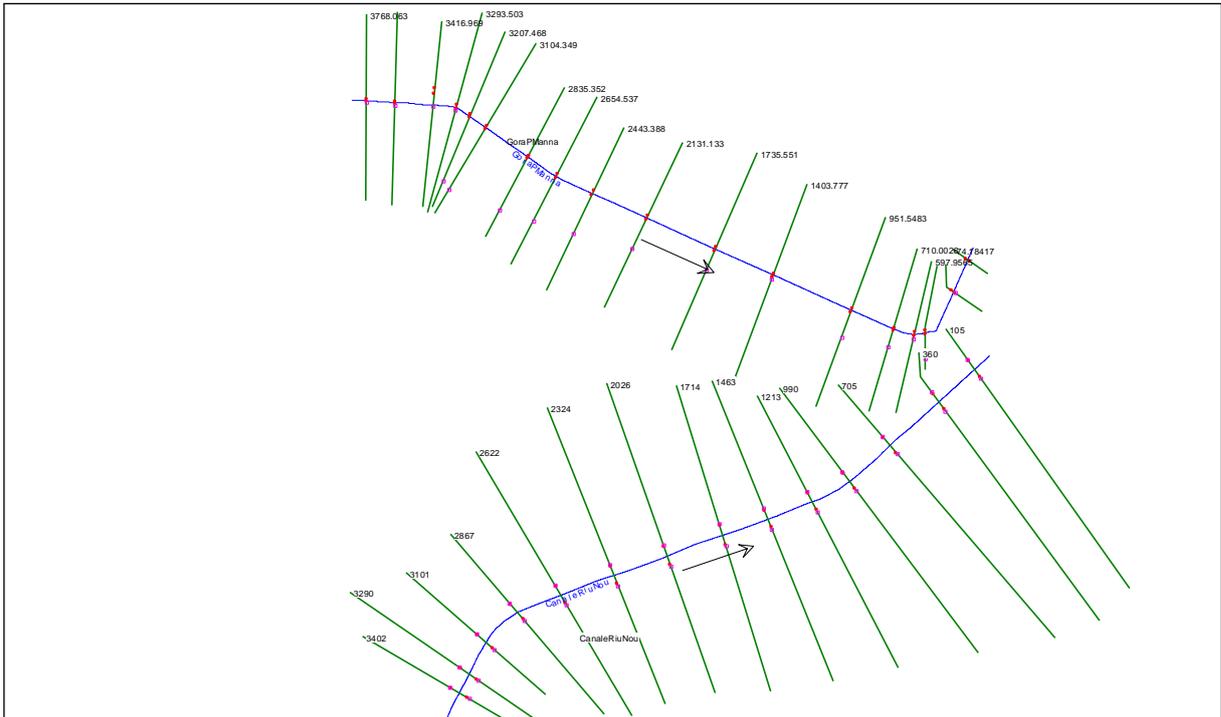


FIGURA 22 – Planimetria del modello di calcolo.

Le risultanze delle analisi hanno evidenziato le condizioni di seguito descritte.

Il canale Rio Nou è ampiamente sufficiente per le portate di calcolo relative al bacino drenante; viste le caratteristiche dimensionali non si esclude un suo utilizzo nel sistema di canalizzazione artificiali. In ogni caso, considerando che il canale percorre un'area con una pendenza trasversale rispetto alla sua direzione e con pendenza verso sud, l'area che in condizioni estreme potrebbe essere interessata si trova in sponda destra.

Il colatore sinistro del canale risulta invece insufficiente, le portate che defluiscono dai versanti in sponda sinistra del canale Rio Nou, vanno ad interessare interamente la sezione di transito esondando in sponda destra e addossandosi sul lato esterno dell'argine sinistro del canale. La fascia di esondazione si mantiene su valori di circa 250 m con tiranti idrici che in corrispondenza dell'alveo si attestano su valori dell'ordine dei 3,50 m mentre nell'area esondata non superano i 70-80 cm con punte maggiori in situazioni localizzate.

Anche per quanto concerne il Rio Gora Piscina Manna, si evidenziano condizioni di criticità diffusa; la rete di canali, realizzati con finalità di bonifica, non possono evidentemente addurre una portata di piena caratterizzata da tempi di ritorno superiori ai cinquant'anni, conseguentemente si assiste ad una costante inadeguatezza della sezione, con esondazioni in destra e sinistra idraulica ma con maggiore incidenza proprio sul lato dietro.

Le successive immagini evidenziano, in un caso con le curve di livello, in un altro con le variazioni cromatiche che l'area di espansione si tiene sostanzialmente pianeggiante con un lieve pendenza in direzione nord sud.

Non si ravvedono problemi legate alle velocità della corrente, in particolare, relativamente al Rio Piscina Manna i valori di velocità riscontrati dal modello idraulica, nelle aree di esondazione sono consegnati in **TABELLA 8**.

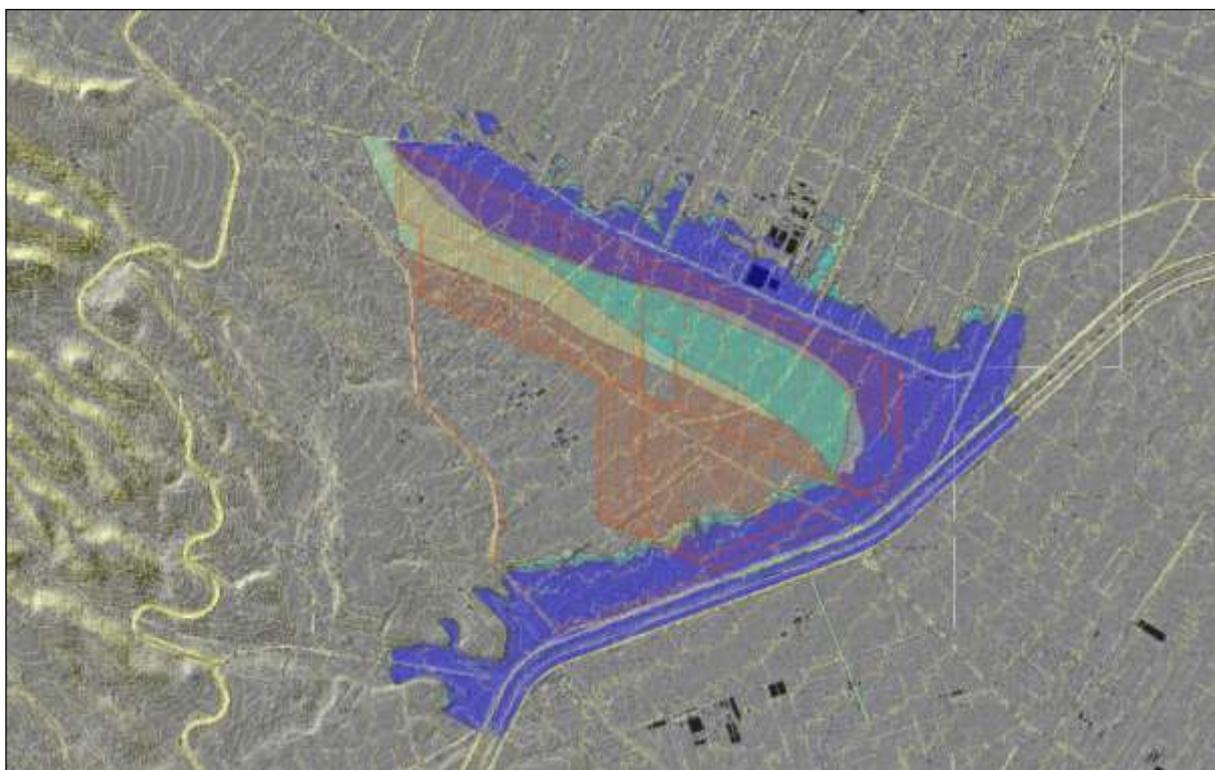


FIGURA 23 – Modello digitale di terreno con curve di livello.



FIGURA 24 – Modello digitale di terreno con gradienti di colore.

REACH	RIVER STA	PROFILE	VEL LEFT (m/s)	VEL CHNL (m/s)	VEL RIGHT (m/s)
GoraPManna	3768,063	Tr 50		4,67	
GoraPManna		Tr 100	0,01	0,03	0,04
GoraPManna		Tr 200	0,01	0,04	0,04
GoraPManna		Tr 500	1,14	5,50	
GoraPManna	3617,746	Tr 50	0,02	0,02	0,03
GoraPManna		Tr 100	6,66	3,59	
GoraPManna		Tr 200	6,59	3,75	
GoraPManna		Tr 500	2,99	2,36	
GoraPManna	3416,969	Tr 50		3,69	2,56
GoraPManna		Tr 100		3,90	2,82
GoraPManna		Tr 200	0,01	0,19	0,18
GoraPManna		Tr 500	0,01	0,22	0,21
GoraPManna	3293,503	Tr 50	0,05	0,16	0,13
GoraPManna		Tr 100	0,06	0,19	0,16
GoraPManna		Tr 200	0,95	3,90	
GoraPManna		Tr 500	1,15	3,98	0,24
GoraPManna	3207,468	Tr 50		5,59	1,11
GoraPManna		Tr 100		5,77	1,30
GoraPManna		Tr 200		4,61	1,33
GoraPManna		Tr 500		4,72	1,38
GoraPManna	3104,349	Tr 50	0,39	2,59	0,62
GoraPManna		Tr 100	0,38	2,57	0,69
GoraPManna		Tr 200	0,29	2,17	0,71
GoraPManna		Tr 500	0,31	2,12	0,76
GoraPManna	2835,352	Tr 50	0,45	3,06	0,89
GoraPManna		Tr 100	0,47	3,09	0,95
GoraPManna		Tr 200	0,58	3,76	1,16
GoraPManna		Tr 500	0,59	3,91	1,24
GoraPManna	2654,537	Tr 50	0,38	2,14	0,64
GoraPManna		Tr 100	0,20	1,10	0,48
GoraPManna		Tr 200	0,23	1,25	0,54
GoraPManna		Tr 500	0,27	1,45	0,63
GoraPManna	2443,388	Tr 50	0,44	2,74	0,87
GoraPManna		Tr 100	0,15	4,48	0,97
GoraPManna		Tr 200	0,48	4,18	1,19
GoraPManna		Tr 500	0,73	3,79	1,32
GoraPManna	2131,133	Tr 50	0,24	1,23	0,42
GoraPManna		Tr 100	0,28	1,43	0,49
GoraPManna		Tr 200	0,32	1,64	0,56
GoraPManna		Tr 500	0,38	1,90	0,65

REACH	RIVER STA	PROFILE	VEL LEFT (m/s)	VEL CHNL (m/s)	VEL RIGHT (m/s)
GoraPManna	1735,551	Tr 50		5,29	
GoraPManna		Tr 100	0,75	4,10	0,94
GoraPManna		Tr 200	0,19	0,96	0,45
GoraPManna		Tr 500	0,22	1,11	0,52
GoraPManna	1403,777	Tr 50	0,74	2,26	
GoraPManna		Tr 100	0,72	2,15	
GoraPManna		Tr 200	0,81	4,48	
GoraPManna		Tr 500	1,12	4,09	
GoraPManna	951,5483	Tr 50	0,92	3,51	0,64
GoraPManna		Tr 100	1,07	3,90	0,78
GoraPManna		Tr 200	0,46	1,61	0,62
GoraPManna		Tr 500	0,54	1,87	0,72
GoraPManna	710,0026	Tr 50	0,14	0,76	0,34
GoraPManna		Tr 100	0,17	0,77	0,37
GoraPManna		Tr 200	0,20	0,77	0,39
GoraPManna		Tr 500	0,23	0,80	0,42
GoraPManna	597,9565	Tr 50	0,64	2,10	0,70
GoraPManna		Tr 100	0,65	2,06	0,76
GoraPManna		Tr 200	0,73	2,26	0,84
GoraPManna		Tr 500	0,78	2,32	0,91
GoraPManna	538,462	Tr 50	0,17	0,57	0,38
GoraPManna		Tr 100	0,19	0,57	0,39
GoraPManna		Tr 200	0,20	0,55	0,38
GoraPManna		Tr 500	0,22	0,54	0,39
GoraPManna	258,4487	Tr 50	0,50	1,81	
GoraPManna		Tr 100	0,58	1,99	
GoraPManna		Tr 200	0,64	2,06	
GoraPManna		Tr 500	0,72	2,13	0,09
GoraPManna	74,18417	Tr 50		4,02	
GoraPManna		Tr 100		3,11	0,86
GoraPManna		Tr 200		3,07	0,93
GoraPManna		Tr 500	0,31	3,10	1,07

TABELLA 8

6. INTERAZIONE CON LE NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE DEL PAI

Nel presente capitolo si rileva preliminarmente la condizione di ammissibilità dell'intervento secondo le NTA del PAI; in particolare, dall'analisi del territorio emerge che l'area in esame è interessata da tutti i livelli di pericolosità idraulica, compresa e non marginalmente la Hi4.

Tuttavia le NTA all'Art.27 (Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)) e in particolare al comma 3 richiamano quanto segue:

3. *In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:*
 - c. *gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;*
 - e. *gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali riferite a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili, che siano privi di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili e siano dichiarati essenziali;*

7. CONCLUSIONI

Il comparto esaminato ha evidenziato la presenza di due sistemi drenanti principali; uno proveniente da est con i rilevati di Vallermosa, uno proveniente da Nord ove sono presenti i rilevati di Villasor e ancor più Villacidro. I due sistemi collinari degradano repentinamente da valori di quota di qualche centinaio di metri s.l.m. sino a i 30 m s.l.m. delle aree in esame.

In particolare, il sistema drenante orientale si incentra quasi totalmente nel Canale Rio Mortu, canale artificiale che supporta il sistema di collegamento Tirso-Cixerri. Detto canale è infatti dotato di un'ampia sezione e arginature tali da sopportare adeguatamente le portate provenienti dal suo bacino montano. Il sistema arginale diventa però un impedimento per il displuvio delle acque provenienti da nord, conseguentemente il suo colatore sinistro diventa inadeguato per le portate del PAI.

Si determinano quindi aree di allagamento in sponda destra al canale anche di 250 m con tiranti comunque modesti e basse velocità. Il sistema che si sviluppa in direzione nord sud si articola invece intorno al Rio Gora Piscinas un canale artificiale di recapito del sistema di bonifica agraria. Il canale è inadeguato al transito delle portate del Pai, conseguentemente si assiste ad un'esonazione delle portate soprattutto in destra idraulica con transito e ricongiungimento dei deflussi con il colatore destro del Canale Rio Nou.

In ordine alle implicazione che l'individuazione delle aree a pericolosità idraulica hanno sull'intervento, le Norme Tecniche del PAI all'art. 27 c.3 stabiliscono l'ammissibilità dell'intervento in quanto:

3. *In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:*
 - c. *gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;*
 - e. *gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali riferite a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili, che siano privi di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili e siano dichiarati essenziali;*

Fanno parte integrante del presente documento le seguenti appendici:

- 1] UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- 2] CARTA DELLE ISOFREATICHE
- 3] CARTA DELLA SOGGIACENZA DELLA FALDA

DATA: novembre 2014

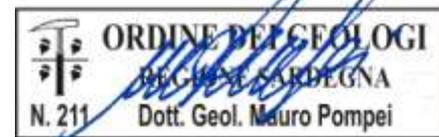
L'INGEGNERE IDRAULICO:

Alessandro Salis

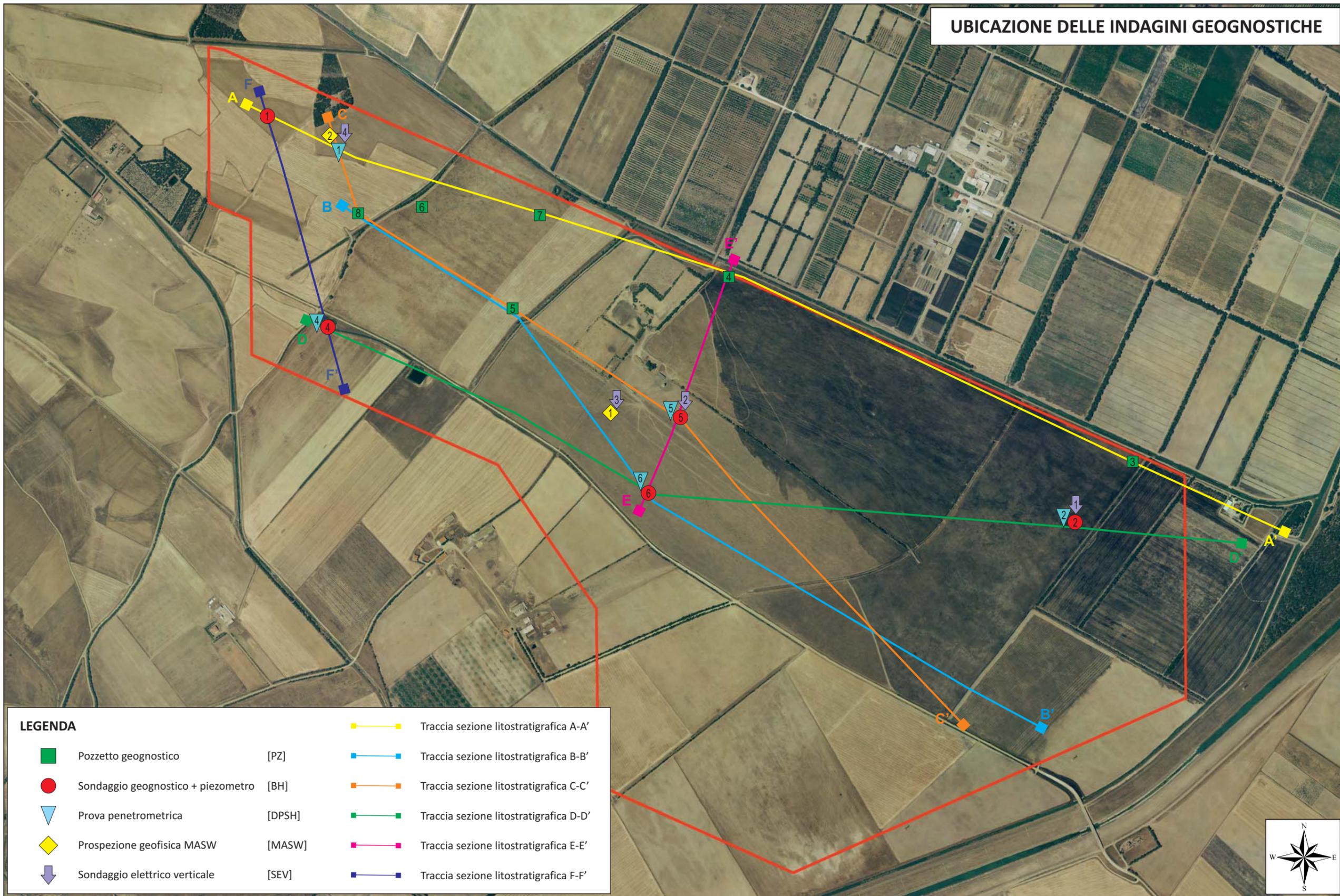


IL GEOLOGO:

Mauro Pompei



UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE



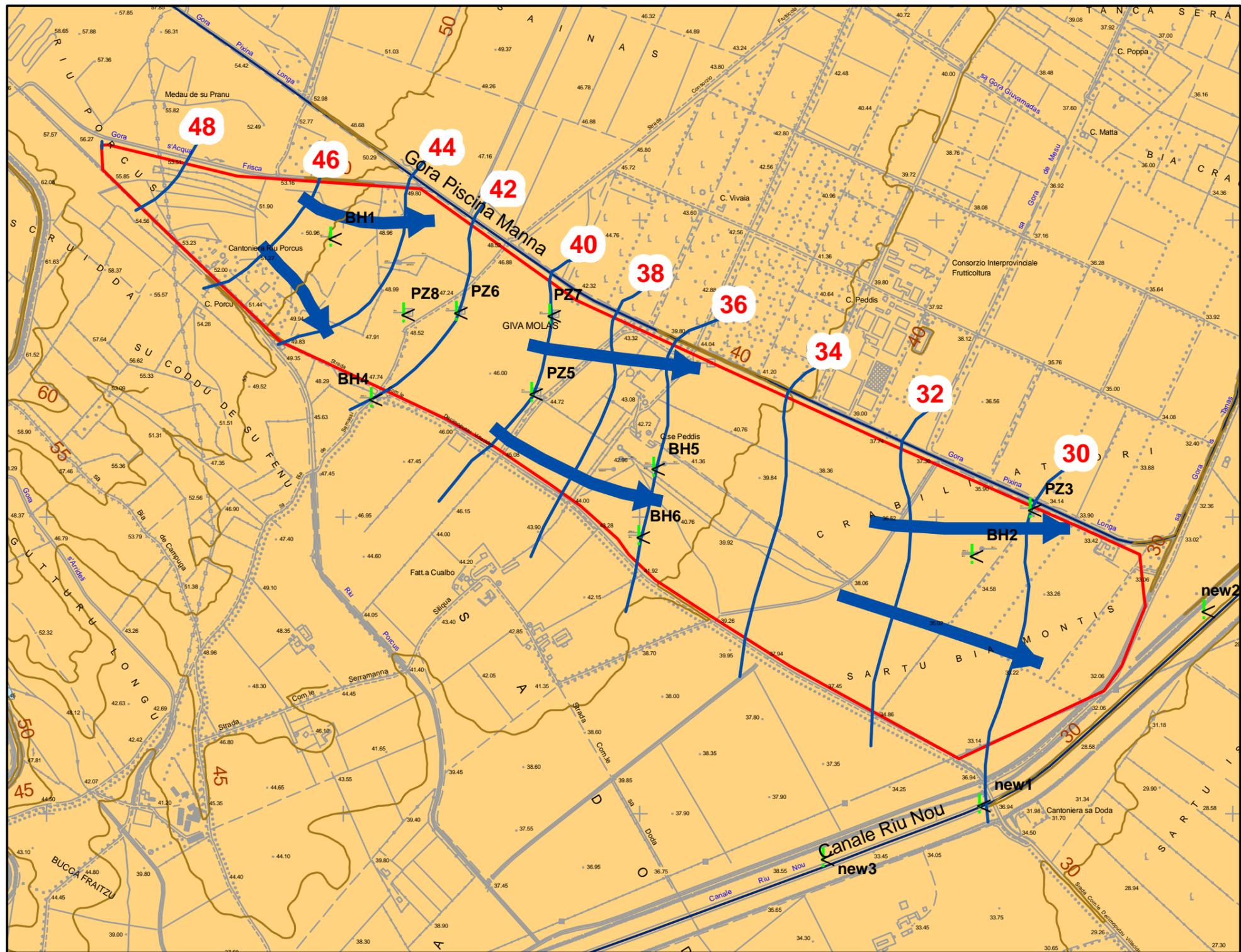
LEGENDA

- Pozzetto geognostico [PZ]
- Sondaggio geognostico + piezometro [BH]
- ▼ Prova penetrometrica [DPSH]
- ◆ Prospezione geofisica MASW [MASW]
- ⇩ Sondaggio elettrico verticale [SEV]

- Traccia sezione litostratigrafica A-A'
- Traccia sezione litostratigrafica B-B'
- Traccia sezione litostratigrafica C-C'
- Traccia sezione litostratigrafica D-D'
- Traccia sezione litostratigrafica E-E'
- Traccia sezione litostratigrafica F-F'



VILLASOR CENTRALE TERMODINAMICA - CARTA DELLE ISOFREATICHE



LEGENDA

- RILIEVI PIEZOMETRICI
- LINEE ISOFREATICHE
- AREA IMPIANTO
- CURVE DI LIVELLO
- CORSI D'ACQUA
- LINEE DI FLUSSO
- UNITA' ACQUIFERA**
- ALLUVIONI PLIO-QUATERNARIE

SCALA 1:15000



