

IPC AGRIVOLT s.r.l.

Via Aterno n. 108, 66020 San Giovanni Teatino (CH) - Italy.
P.I. 02714100696 - PEC: ipcagrivolt@igefi.it
REA CH- 415506

Impianto fotovoltaico "Sardinia Agrivolt" 99,972 MWp VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE (V.I.A.)



00	01/03/2022	Emissione	Gruppo di progettazione	Ing. Luca DEMONTIS	IPC AGRIVOLT S.R.L.
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. Luca DEMONTIS
(coordinatore)

Ing. Sandro CATTÀ



Arch. Valeria MASALA (consulenza ambientale)

Arch. Alessandro MURGIA (consulenza urbanistica)

Geol. Alberto PUDDU (consulenza geologica)

Dott. Agr. Riccardo Giuseppe LODDO (consulenza agronomica)

TITOLO:

RELAZIONE IDROLOGICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO
R. 04

NOTE:

PAGINA:

1 di 55

FORMATO:

A4

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	6
3.1 IMPIANTO FOTOVOLTAICO	6
3.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-URBANISTICO.....	7
4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI.....	9
4.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E TETTONICHE GENERALI.....	9
4.1.1. Paleozoico	12
4.1.2 Terziario	12
4.1.3 Quaternario.....	13
4.2 CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA DI SEDIME	15
4.2.1 Litofacies nel sub sistema di portoscuso [PVM2A].....	15
4.2.2 Alluvioni terrazzate oloceniche [BNA]	15
4.2.3 Alluvioni oloceniche [BB ÷ BA].....	16
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	17
5.1 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEL SEDIME IN ESAME	17
5.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELLA FALDA NELL'AREALE	18
6. PERICOLOSITA' GEOLOGICA	20
6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	20
6.2 PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA.....	20
6.2.1 Stralcio dal P.S.F.F. Sardegna	21
6.2.2 Art.30 Ter NTA PAI Sardegna (n° Strahler 1,2 e 4).....	21
6.2.3 Stralcio dal P.A.I. Sardegna	22
6.2.4 Stralcio dello studio idraulico redatto	23
7. ANALISI IDROLOGICA.....	25
7.1 BACINO IDROGRAFICO E PARAMETRI MORFOMETRICI.....	27
7.2 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA.....	28
7.3 IL METODO RAZIONALE BASATO SULLA DISTRIBUZIONE TCEV	29
7.4 TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	29
7.5 DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	31
7.6 VALUTAZIONE DEL PARAMETRO CURVE NUMBER	35
7.7 SEZIONI DI CONTROLLO E BACINI IDROGRAFICI	35
8. ANALISI IDROLOGICA DEI BACINI/SUB-BACINI OGGETTO DI STUDIO	36
8.1 BACINO FIUME 17753	36
8.1.1 Tempo di corrivazione.....	38

8.1.2 Portate	39
8.2 BACINO 092090_FIUME_18710	41
8.3 BACINO CANALE 144	41
8.4 BACINO FIUME 15502	42
9. ANALISI IDRAULICA.....	44
9.1 IL MODELLO IDRAULICO.....	44
9.2 SCHEMATIZZAZIONE DELLE SEZIONI	48
9.3 PARAMETRI DI VERIFICA.....	48
10. VALUTAZIONE COMPLESSIVA DELL'INTERVENTO, COMPATIBILITÀ CON LE NORME DEL P.A.I. E SUA FATTIBILITÀ.....	50
ALLEGATO A – TAVOLA DEI SUB BACINI	51
ALLEGATO B – TAVOLA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA	52
ALLEGATO C – LAYOUT PROGETTO E MODELLO IDRAULICO	53
11. PIANO DI MANUTENZIONE.....	54
12. PIANO DI MONITORAGGIO	55

1. PREMESSA

Il presente studio è parte integrante del progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza complessiva pari **99,792 MWp**, sito nell'area agricola limitrofa alla Zona industriale di Macchiareddu nel comune di Uta.

Lo studio di compatibilità idraulica è predisposto in applicazione dell'art. 23, comma 6 lettera b), delle NTA del PAI Sardegna, in quanto l'intervento ricade in area a pericolosità idraulica, così come risulta a dall'apposito studio idrologico idraulico effettuato sul reticolo idrografico di interesse per l'area oggetto di intervento.

In applicazione dell'art. 24 delle NTA del PAI Sardegna lo studio:

- valuta l'intervento con riferimento alla sua finalità e agli effetti ambientali;
- analizza le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dell'assetto idraulico e del dissesto idraulico attuale e potenziale dell'area interessata, anche con riferimento alle variazioni della permeabilità e della risposta idrologica della stessa area;
- verifica e dimostra la coerenza dell'intervento con le previsioni e le norme del PAI Sardegna;
- prevede adeguate misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento del pericolo e del rischio sostenibile associato all'intervento in progetto.

Lo studio, volto a dimostrare la compatibilità dell'intervento proposto con le norme del PAI Sardegna, è strutturato secondo i criteri dell'Allegato E alle NTA del PAI Sardegna.

La compatibilità idraulica sarà pertanto verificata in funzione degli effetti dell'intervento proposto sui livelli di pericolosità rilevati dal P.A.I e dal Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali oltre che dall'apposito studio idrologico idraulico effettuato sul reticolo idrografico di interesse per l'area oggetto di intervento in applicazione dell'articolo 30ter; ed in base agli effetti che l'intervento ha sull'ambiente, tenendo conto dell'evoluzione della rete idrografica complessiva e del trasferimento della pericolosità a monte e a valle.

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Per l'elaborazione dello studio si è fatto riferimento alla normativa vigente generale e di settore di seguito riportata:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Sardegna ai sensi della L. 18.05.1989 n. 183 e dalla L. 03.08.1998 n. 267;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) della Regione Sardegna ai sensi della L. 18 05.1989 n. 183;
- L.R. 23/1985;
- D.P.R. 380/2001 "testo unico dell'edilizia";
- L.R. 4/2009;
- L.R. 8/2015;
- Piano Paesaggistico Regionale;
- D.M. 14.01.2008 norme tecniche per le costruzioni e s.m.i.;
- D.Lgs 152/2006 s.m.i.,
- Piano Urbanistico Comunale e relative N.T.A,
- Regolamento Edilizio Comunale.
- D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative istruzioni tecniche (Circolare LL.PP. 24.09.1988, n. 30483);
- O.P.C.M 20 marzo 2003, n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e la successiva n. 3519 del 28/04/2006;
- Circolare n. 617 C.S.LL.PP. del 02/02/2009.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

3.1 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'intervento consisterà nella realizzazione di una centrale fotovoltaica, costituita da 18 sottocampi, di potenza nominale variabile da un minimo di 4.280 kWp ad un massimo di 5.740 kWp, per un totale pari a 99.792.000 kWp utilizzando 181.440 moduli in silicio monocristallino con tecnologia half-cell, della potenza di picco totale 550 Wp.

I moduli saranno posizionati a terra tramite tracker mono-assiali, in acciaio zincato, orientati con asse principale nord-sud e rotazione massima variabile tra -55° (est) e +55° (ovest), per una superficie captante di circa 525.200 m2.

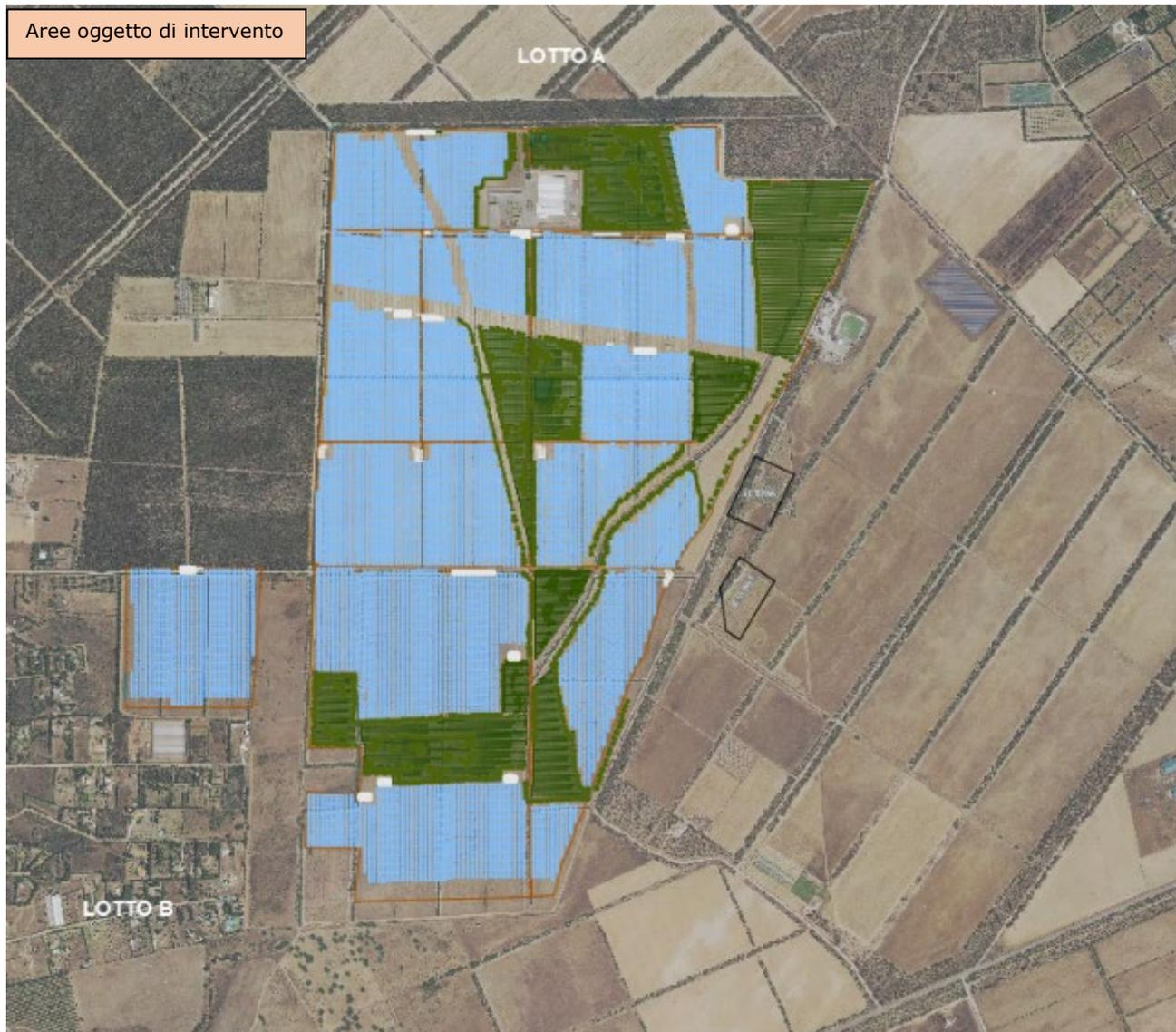


Figura 1 – Planimetria generale area di intervento.

I 18 sottocampi che compongono la centrale, costituiti ognuno da una "cabina inverter" saranno suddivisi in 5 gruppi funzionali. Ogni gruppo sarà costituito da massimo 4 cabine interconnesse in entra-esce tramite un collegamento in MT alla tensione nominale di 30 KV, per un totale dunque di 5 dorsali di potenza nominale rispettivamente pari a: A) 22,97 MWp; B) 17,23 MWp; C) 17,19 MWp; D) 21,98 MWp; E) 20,43 MWp.

Ciascuna "cabina inverter" di ogni sottocampo sarà costituita da una sezione di raccolta DC, un inverter per la conversione DC/AC, un quadro AC in bassa tensione, un trasformatore BT/MT e un quadro MT costituito da 2 o tre celle (in particolare: protezione trasformatore, arrivo linea - assente nella cabina terminale - e partenza linea).

Tutte le dorsali confluiranno in una cabina di raccolta MT, collocata in adiacenza alla sottostazione elettrica MT/AT per la connessione alla RTN a 220 KV.

3.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-URBANISTICO

L'area interessata è ubicata in comune di Uta in area agricola limitrofa la Zona Industriale e dista circa 14 km dall'aeroporto di Cagliari-Elmas. È identificabile nello stralcio cartografico regionale IGM a scala 1:25000. La morfologia del terreno si presenta prevalentemente pianeggiante. Attualmente l'area è adibita ad uso agricolo, con coltivazioni semplici e specializzate. L'area circostante è caratterizzata dalla presenza di terreni anch'essi coltivati e da capannoni industriali.

Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli Regionali:

- Foglio **I.G.M.** N. 556 – sez II quadrante denominato "Assemini" alla scala 1:25.000;
- Foglio **C.T.R.** N. 557-120/160 denominato rispettivamente "Assemini" e "Azienda Agricola Planemesu" alla scala 1:10.000.

Coordinate Km Gauss-Boaga areale sensibile (Fuso 32)

Areale sensibile progetto impianto CACIP 25

- X = 1496794.6020 E

- Y = 4344335.5000 N

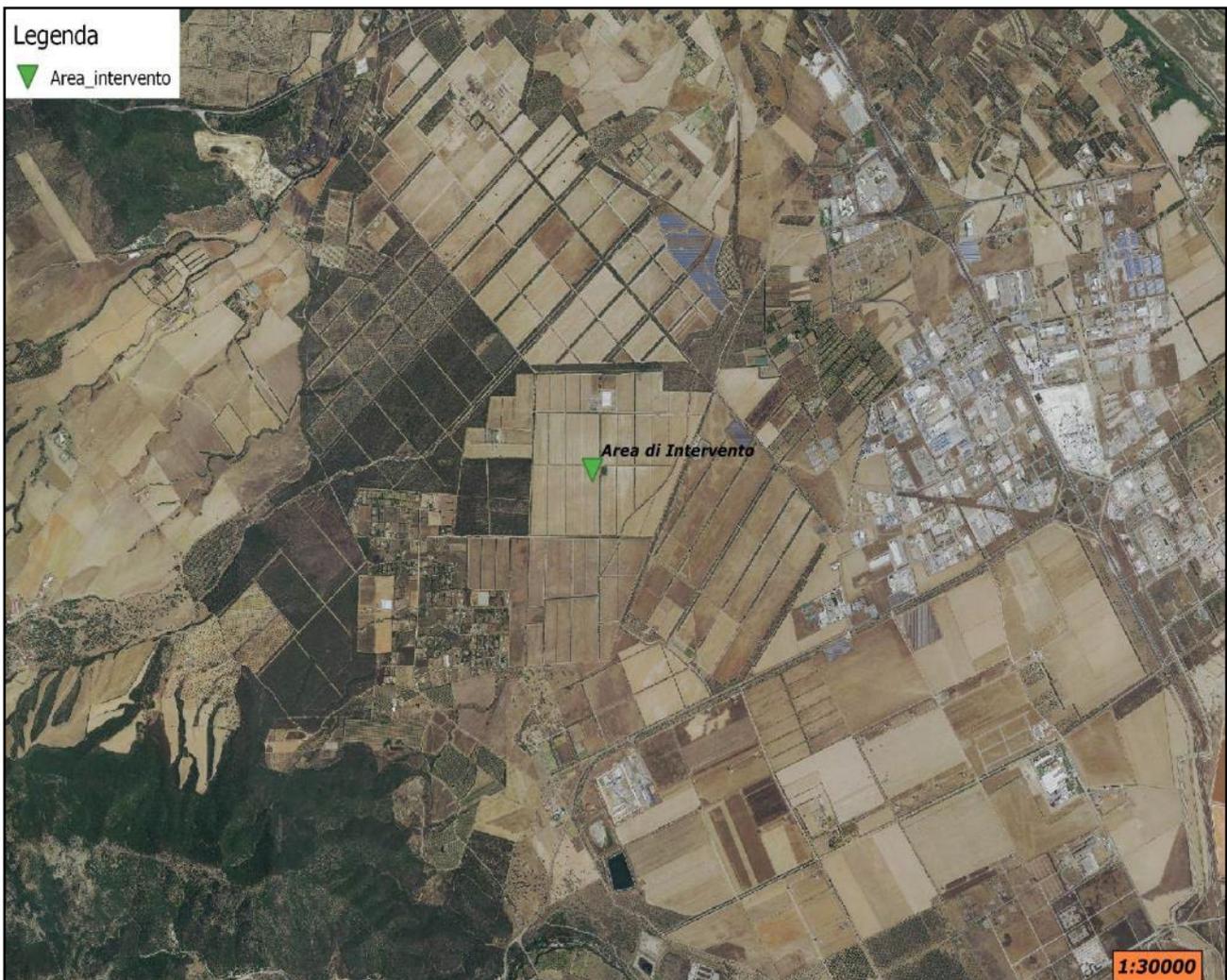


Figura 2 - Inquadramento delle aree di progetto su ortofoto 2016.

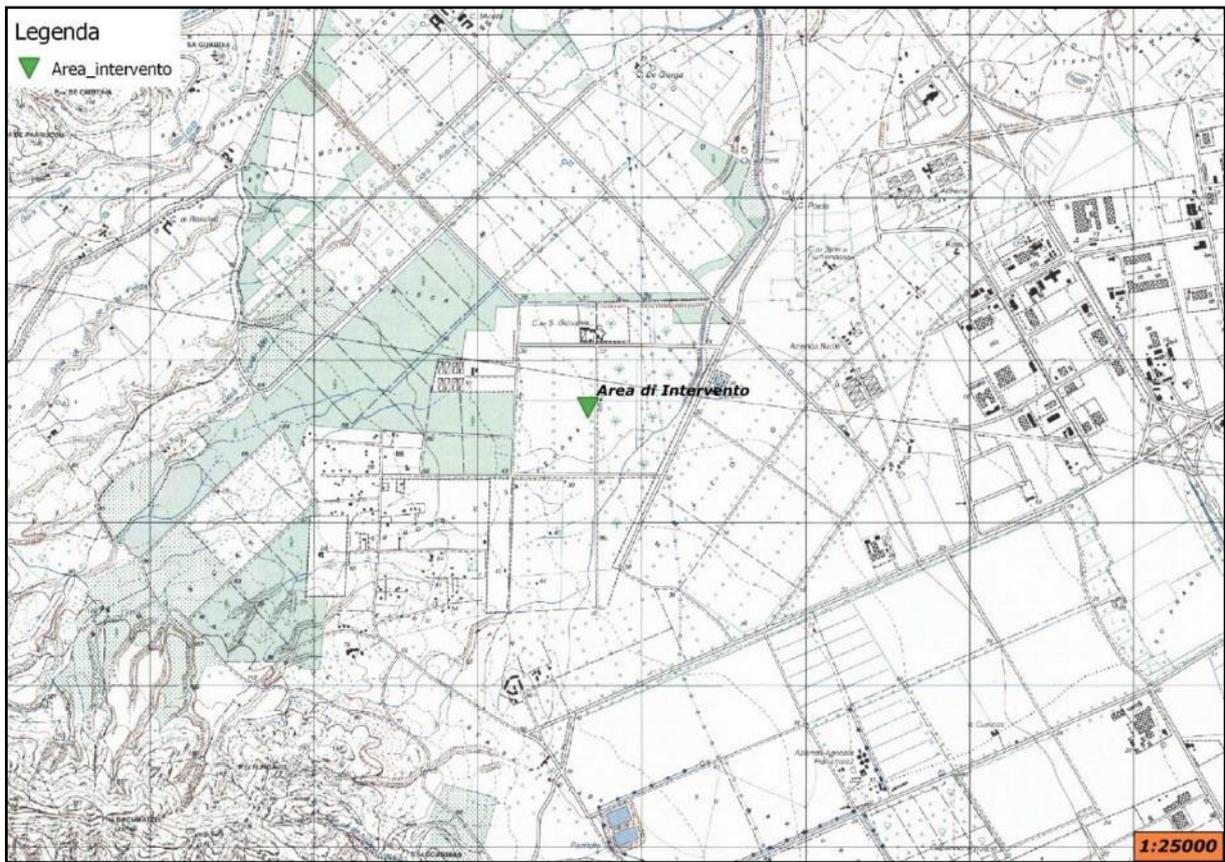


Figura 3 - Inquadramento delle aree di progetto su cartografia IGM.

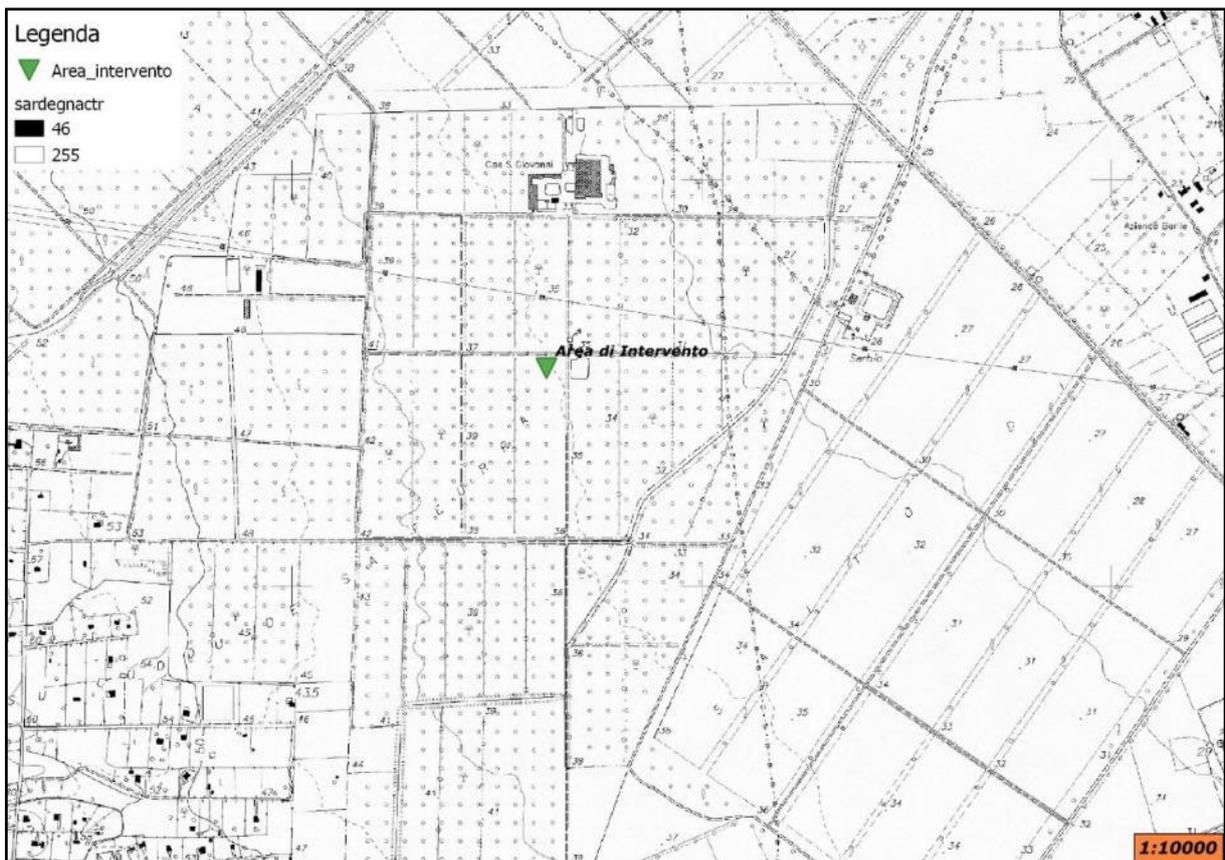
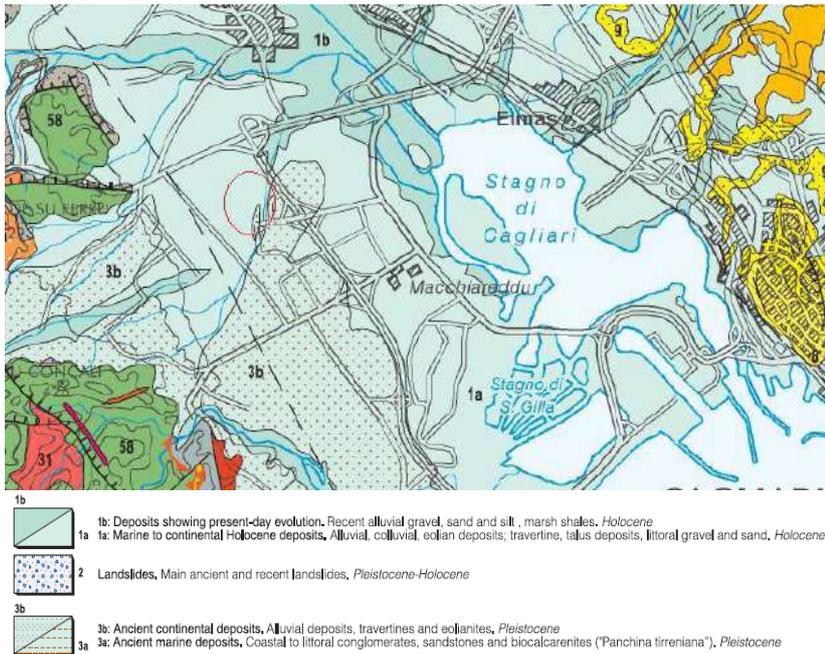


Figura 4 - Inquadramento delle aree di progetto su CTR.

4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI

4.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E TETTONICHE GENERALI

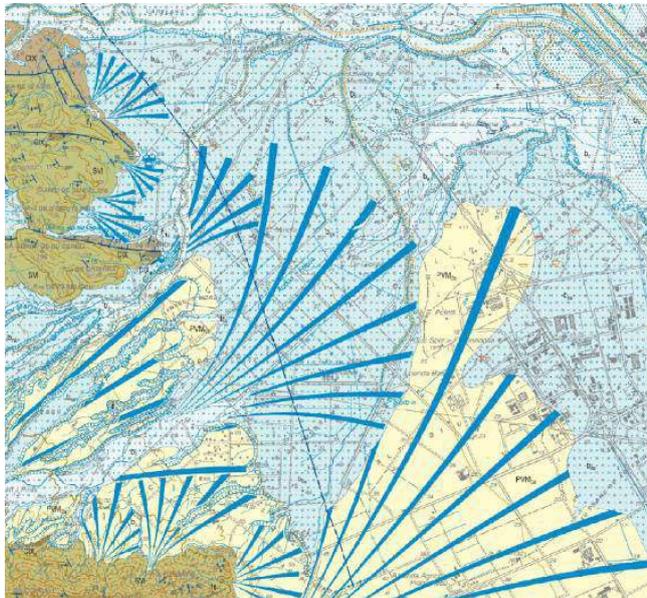


L'area in esame ricade nel settore sud-occidentale della fossa tettonica del Campidano, una zona morfologicamente pianeggiante, che degrada dolcemente dalle pendici orientali dei rilievi paleozoici del Sulcis, verso lo Stagno di Cagliari a est, e verso il mare a sud.

La caratteristica peculiare dell'area, estendentesi tra il limite geomorfologico della fossa tettonica del Cixerri, a sviluppo EW, e la fossa Campidanese, a sviluppo NW-SE, è data dalla presenza, di una pianura alluvionale deltizia, solcata a nord dal Rio Cixerri e a sud dal Rio Santa Lucia. L'attuale configurazione geomorfologica complessiva evidenzia un prevalere dei processi endogeni, sia tettonici sia vulcanici,

sui fenomeni esogeni di erosione e accumulo, che

hanno modificato solo parzialmente l'aspetto originario del territorio, come testimonia la presenza di conoidi alluvionali e depositi pedemontani che raccordano i rilievi alla pianura. Il differente rapporto tra le componenti geologico-litologiche e tettoniche e la loro influenza nei processi geomorfici, ha permesso di suddividere l'area d'insieme in settori, ognuno dei quali è caratterizzato da forme di rilievo distintive. Nel settore Nord occidentale, collinare, predominano i piccoli horst bordati, nelle zone di raccordo morfologico, da faglie dirette al contatto tra le formazioni terziarie e il complesso scistoso-metamorfico paleozoico,



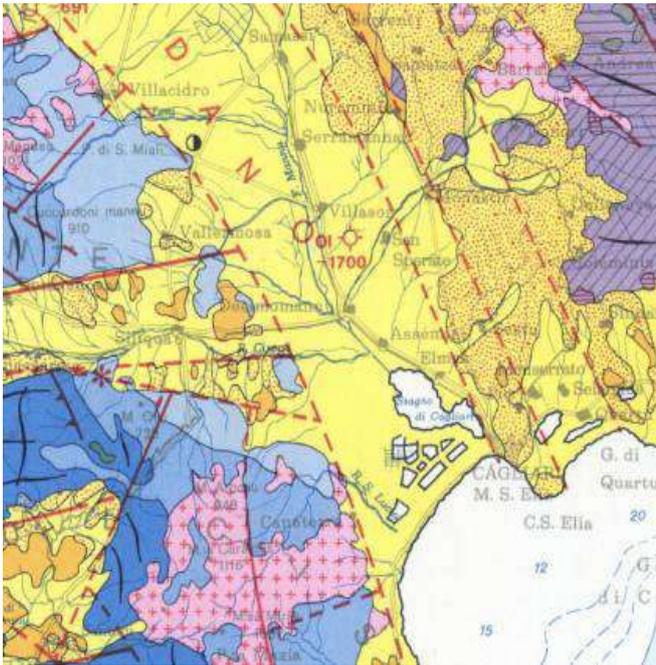
ritenuto di età ordoviciano e comunemente noto nella letteratura geologica come Post-gotlandiano. Si tratta di una serie di colline, allineate in direzione NW-SE, costituenti una sorta di sbarramento naturale tra la piana del Cixerri e la piana del Campidano denominato "soglia di Siliqua", caratterizzato da faglie dirette appartenenti a diversi sistemi. Il contatto tra il basamento Paleozoico con i sedimenti paleogenici e con le vulcaniti oligo-mioceniche, costituenti il domo andesitico di P.ta de su Ferru - P.ta de sa Domu è di tipo tettonico.

Il settore W-SW è caratterizzato da rilievi montuoso-collinari costituiti da rocce cristalline sia metamorfiche sia granitiche, rappresentanti la propaggine più orientale del M.te Arcosu, con forme differenziate, da accidentate sino ad

arrotondate, in base ai tipi litologici affioranti.

La piana di Capoterra-Uta, originata dalla colmata sedimentaria del Graben Campidanese formatosi nel Pliocene medio-superiore (Cherchi et al., 1978) e sovrainposto al più grande Rift Sardo, è caratterizzato da depositi di alluvioni antiche terrazzate, ben costipate e ferrettizzate, delle grandi conoidi del Rio Cixerri e del Rio S. Lucia e da alluvioni recenti; è il risultato della continua azione geomorfica dei corsi d'acqua e degli agenti esogeni che hanno eroso i rilievi ai bordi del graben e allontanato dai versanti i materiali dando origine alla pianura alluvionale che si estende

sino al Rio Cixerri. Depositi alluvio-colluviali, che ricoprono generalmente la Formazione del Cixerri e il contatto di quest'ultima con il Paleozoico, piccoli coni alluvionali alternati alle falde di detrito al piede dei versanti, occupano le aree pedemontane, in particolare fungono da raccordo tra la propaggine montuoso-collinare di M.te Arcosu, le colline di P.ta De Su Ferru - P.ta De Sa Domu, P.ta de Parroccu, P.ta de Cristina, Sa Guardia, e la pianura.



L'antica impostazione stratigrafico-strutturale del territorio, essendo situato dove la fossa del Cixerri s'innesta mediante la soglia di Siliqua alla fossa del Campidano, è dovuta principalmente alla tettonica terziaria distensiva Oligo-Miocenica (formazione del Rift Sardo; Cherchi e Montadert, 1982) e Plio-Pleistocenica (Graben del campidano; Casula, A. Cherchi, 2001) ed ai relativi episodi vulcanici concomitanti l'orogenesi alpina. Sono comunque evidenti i segni della tettonica compressiva antecedente; infatti, l'intera area sarda è stata interessata da due grandi movimenti orogenetici: quello caledoniano (Cambrico-Silurico) e quello ercinico (Permo- Carbonifero), che hanno interessato potenti successioni terrigene preesistenti. All'orogenesi ercinica è dovuta inoltre la messa in un posto dei graniti. La formazione della serie Cambriana autoctona, la falda di ricoprimento scistoso-metamorfica

ordoviciana, unitamente alla presenza di cornubianiti, nel settore sud-occidentale testimonia gli effetti plicativi e il metamorfismo termico subito dai sedimenti arenaceo-argillosi ordoviciani, in seguito alla messa in posto dei graniti, durante l'orogenesi ercinica. In quest'area è evidente il contatto tra granito e/o sedimenti metamorfosati dell'ordoviciano e/o le metamorfiti autoctone.

Il versante occidentale della pianura alluvionale, è caratterizzato oltre che da una faglia d'importanza regionale, con direzione NW-SE, che determina una brusca rottura di pendio, tra i rilievi cristallini paleozoici e la piana, da diversi sistemi di faglie, originatisi dai movimenti tettonici distensivi oligo-miocenici, concomitanti al distacco del blocco Sardo-Corso dal margine provenzale europeo. Le faglie subverticali che mettono a contatto il basamento Paleozoico con la formazione del Cixerri o con le vulcaniti, esempi tipici di tettonica sovrimposta, hanno direzioni prevalentemente NW- SE e NE-SW e subordinatamente Ovest-Est Nord-Sud. Attualmente, non è stata verificata l'antecedenza di un sistema o di un reticolato sull'altro.

La storia geologica di questa regione è testimoniata da affioramenti costituiti da litotipi metamorfici, vulcanici e sedimentari, ascrivibili al Paleozoico, al Terziario e al Quaternario.

Durante la "Fase Sarda" dell'orogenesi caledoniana (Ordoviciano medio), l'area del Sulcis fu sottoposta a una fase compressiva, in cui la potente serie sedimentaria Cambro-Ordoviciana è stata intensamente deformata, piegata, sollevata e parzialmente erosa dagli agenti esogeni. Con l'Orogenesi Ercinica (Cocoza et al., 1974) le coperture sedimentarie paleozoiche, per effetto di fasi compressive, assunsero una struttura a falde di ricoprimento e subirono deformazioni di alto e basso grado che originarono facies metamorfiche, assumendo tessitura scistosa. Oltre allo sconvolgimento dell'antico assetto fisiografico della Sardegna, le fasi della tettonica ercinica determinarono l'intrusione dei plutoni calcoalcalini lungo le faglie (trascorrenti e dirette) e la conseguente genesi del batolite granitico (Bralia et al., 1981).

L'evoluzione post-collisionale della catena ercinica è caratterizzata da una lunga fase continentale, che si protrae fino al Trias inferiore, in cui i rilievi ercinici vengono fortemente erosi con conseguente formazione di vaste zone a penepiano (Cocoza et al., op. cit.). Nel Mesozoico la Sardegna è stata interessata parzialmente da una progressiva trasgressione marina, che però, non è riuscita a sommergerla completamente, se non durante qualche breve periodo, seguita da una lunga fase di continentalità, nel Cretaceo, destinata a esumare almeno in parte il vecchio penepiano permiano. Per tale motivo affioramenti attribuibili al Mesozoico sono assenti. Durante l'Oligocene, l'intensa fase tettonica, conseguente alla

collisione tra la placca africana ed europea e quindi al ciclo orogenetico alpino (Tapponier, 1977), risulta responsabile del distacco del blocco Sardo-Corso dal continente europeo e della sua rotazione antioraria, attraverso i quali la Sardegna ha raggiunto, nel Burdigaliano Medio, l'attuale posizione di isolamento nel Mediterraneo (Letouzey, 1982; Cherchi e Tremolieres, 1984).

In tale situazione, la Formazione del Cixerri, assume notevole importanza sia dal punto di vista paleogeografico che strutturale, sia perché rappresenta il prodotto dell'ultima sedimentazione continentale prima della deriva della microplacca sardo-corsa nel Mediterraneo Occidentale, sia perché alla stessa sono stati attribuiti i soli depositi continentali paleogenici sicuramente prevulcanici (Cherchi, 1985). Infatti, è stata riferita all'Eocene Medio-Oligocene Inferiore-Medio (Maxia, 1959; Pecorini e Pomesano Cherchi, 1969). Gli ambienti deposizionali sono essenzialmente continentali, con prevalenti facies fluvio-deltizie ed episodi lacustri e lagunari, il cui spessore medio è stato valutato attorno ai 200 m, con massimi che superano anche i 300 m (Barca & Palmerini, 1973).

I movimenti tettonici distensivi oligo-miocenici determinano ripetute dislocazioni per frattura, che smembrano il basamento paleozoico sardo in un insieme di blocchi rialzati e ribassati fra loro, originando una grande fossa tettonica o "Rift Sardo" (Vardabasso, 1963), estesa longitudinalmente dal Golfo dell'Asinara al Golfo degli Angeli. Alla stessa è associato lo sviluppo

di un vulcanismo calco-alcalino, suddiviso in cicli di attività alterna, con prodotti prevalentemente andesitici, presenti nella fascia centrale dell'Isola, dal Sassarese fino al Campidano e nel Basso Sulcis. L'ingressione marina Oligo-Miocenica, associata alle prime manifestazioni vulcaniche calco-alcaline (Coulon et al. 1974; Savelli, 1975), è iniziata dall'Oligocene superiore, su di un substrato tettonizzato, costituito da sedimenti continentali paleogenici (Formazione del Cixerri, Pecorini & Pomesano Cherchi, 1969) e localmente da terreni paleozoici; ancora oggi, nel Campidano meridionale è ben osservabile la linea di costa lungo la quale la serie miocenica è prevalentemente conglomeratico - paleogenica. Tuttavia, il Miocene si contraddistingue per una sedimentazione a carattere trasgressivo, tipica di ambiente marino profondo, che ha lasciato una sequenza continua di depositi costituiti per lo più da sedimenti marnoso-arenacei e calcarei, per una potenza totale di circa 1000 m di sedimenti. La dinamica estensionale Plio-Quaternaria che ha interessato la Sardegna e il Tirreno nel Plio-Pleistocene è responsabile della genesi del Graben Campidanese. La formazione della nuova fossa, associata a un ampio sistema di faglie crostali estensionali, non ha fatto altro che innescare movimenti verticali nel settore meridionale del Rift Sardo, controllando la deposizione e le aree subsidenti. All'Orogenesi Alpina e alla neotettonica si attribuisce la riattivazione delle linee tettoniche e il ringiovanimento delle forme determinanti l'attuale conformazione della regione. La caratteristica peculiare del Campidano, caratterizzato da un'orientazione NNW-SSE, è la sua colmata alluvionale iniziata dal Pliocene ed estesa a tutto il Quaternario pre-tirreniano. Infatti, verso la fine del Pliocene, lo sprofondamento del "graben" e per contro il sollevamento delle aree limitrofe, hanno determinato intensi processi di erosione areale e lineare interessante i rilievi ai bordi dello stesso, con la deposizione nella fossa di potenti coltri alluvionali. L'instabilità climatica, che caratterizza il periodo Pleistocene-Olocene, determina un'alternanza di differenti cicli morfogenetici, distinti da intensi processi di erosione e sedimentazione, con la formazione di depositi alluvionali in facies di conoide, di terrazzi, colluviali e detriti di falda, che ricoprono le formazioni terziarie precedenti.

Per la copertura alluvionale quaternaria, costituita da alternanze ciottolose sabbiose e limoargillose, per uno spessore che arriva fino a 200 m nella fossa, non esiste una datazione attendibile, per mancanza di correlazioni stratigrafiche con il Tirreniano marino, che è l'unica formazione quaternaria della Sardegna datata in base ai reperti paleontologici. Esiste una semplice distinzione:

- Quaternario antico caratterizzato dalle "Alluvioni antiche Pleistoceniche", costituite da sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, ben costipati, variamente ferrettizzati e reincisi in forma di terrazzi;
- Quaternario recente (Olocene) contraddistinto da depositi alluvionali di fondovalle e di piana, terrazzati e non, da depositi palustri limoso-argillosi in aree della piana leggermente depresse e da coltri eluvio-colluviali.

Nell'areale in esame, la situazione geologica in generale può essere sintetizzata come segue:

4.1.1. Paleozoico

Il Paleozoico è rappresentato da sedimenti terrigeni metamorfosati dell'Ordoviciano, metasedimenti singenetici autoctoni e graniti ercinici. La formazione paleozoica ordoviciana [SVI "Arenarie di San Vito" da carta geologica 1:50000 "Assemini"], la più antica fra le formazioni affioranti nell'area, può essere considerata come la struttura portante sopra la quale poggiano, in discordanza, i sedimenti eocenici, le vulcaniti terziarie e le alluvioni antiche e recenti quaternarie. Il basamento profondo affiora a NW della piana, frazionato in più parti, attraverso piccoli horst collinari, che si elevano nel paesaggio pianeggiante (P.ta Medau Becciu, P.ta De S'omu Is Abis, Genna De su Cerbu, P.ta De Parrucou e P.ta De Cristina, Sa Guardia, ecc.), bordati da faglie, che hanno direzione prevalente NW – SE e talora E – W; mentre nel settore sud-occidentale, occupa la propaggine orientale del maestoso rilievo granitico-scistoso di M.te Arcosu. L'Horst sviluppatosi prevalentemente in direzione E-W, è separato centralmente dal complesso vulcanico terziario di "P.ta De su Ferru" – "Sa Frontera". Infatti, gli affioramenti a ovest di Sa Frontera indicano che, in precedenza all'attività vulcanica terziaria, l'affioramento nordoccidentale e la propaggine Nord di M.te Arcosu (esterna all'area rilevata) erano unite; è proprio in corrispondenza di tali affioramenti che è avvenuta la fattura attraverso la quale è fuoriuscita la lava costituente i rilievi andesitici suddetti, cioè il diaframma separante i due maggiori affioramenti paleozoici. La litologia del settore NW, anche se smembrato in vari blocchi distinti, è piuttosto uniforme. Sono presenti, in frequentissime alternanze, da decimetriche a metriche, rocce metamorfiche di origine sedimentaria: metarenarie micacee, quarziti, metasiltiti, con laminazioni piano parallele ed incrociate. I termini litologici più frequenti e ricorrenti sono rappresentati da quarziti e arenarie alle quali, seppur molto frequentemente, s'intercalano strati scistosi di debole spessore. Gli affioramenti paleozoici a S-W comprendono un blocco montuoso-collinare, con allineamento WE, costituito dai versanti del M.te Arcosu, P.ta De Is Tuvaras (380m), Su Concali (426 m), P.ta Bacumatzei (342 m), P.ta Fundavis (207 m). Il basamento Paleozoico, in cui si sono intrusi i graniti ercinici, è rappresentato da scisti cornubianitici, più o meno silicizzati a grana minuta, con scistosità poco marcata osservabili a S.ra Narboni, a P.ta Baccu Matzei e a P.ta Fundavis, argilloscisti scisti arenacei, quarziti. I leucograniti biotitici del Carbonifero superiore [VLD, "Unità Intrusiva di Villacidro"] attribuibili alle ultime fasi intrusive dell'orogenesi ercinica, responsabili dei fenomeni di termo-metamorfismo di contatto, che hanno portato alla genesi della formazione scistosa, affiorano limitatamente al settore sudoccidentale dell'area in esame, più esattamente nel versante orientale di M.te Arcosu e lungo il Riu de Sa Spindula, nella valle tra S.ra Riu de Su Bentrusciu e Sa Sperrima. I litotipi delle intrusioni finali hanno carattere omogeneo, con distribuzione uniforme e spesso mostrano allineamenti diretti NW- SE.

4.1.2 Terziario

Il Terziario è rappresentato dal complesso sedimentario paleogenico ["Formazione del Cixerri", CIX], giacente in discordanza sul basamento paleozoico, e da un complesso vulcanico andesitico oligo-miocenico [PBNa,b "Daciti e andesiti di M.te Sa Pibionada"] che si è iniettato nelle fratture del complesso scistoso- metamorfico. Il complesso sedimentario della Formazione del Cixerri, caratterizzata da ambienti deposizionali con prevalenti facies fluvio-deltizie, mostra, entro la valle del Cixerri, caratteristiche giaciture e sedimentologiche tipiche ed ha anche il suo massimo sviluppo. Tale formazione, nella parte nordoccidentale dell'area di studio, poggia con chiaro contatto tettonico sul basamento scistoso-metamorfico; occupa aree marginali della zona pedemontana attorno agli horst paleozoici, ma si presume sia per la maggior parte mascherata da alluvioni quaternarie (per abbassamento tettonico) o da coperture detritiche. È costituita da arenarie quarzose, policrome (grigio-violacee, rossastre), spesso conglomeratiche, a ciottoli di rocce paleozoiche che si alternano con marne e argille siltose ben stratificate, violacee o giallorossastre, spesso contenenti noduli concrezionari giallastri, ferruginosi. La formazione generalmente presenta giacitura in banchi suborizzontali. Talvolta il contatto della Formazione del Cixerri sul basamento paleozoico è rappresentato da lembi di conglomerato basale (a Medau Becciu - Su Concali de Santa Maria); lo stesso affiora in località "Sa Guardia". Il Complesso andesitico terziario, che ha attraversato o ricoperto le formazioni sedimentarie, paleozoica e terziaria, è costituito principalmente dal caratteristico edificio di Sa Frontera - P.ta de Su Ferru – P.ta de Sa Domu. Lo stesso fa parte, assieme ai non lontani rilievi di M.te Truxionis, Castello dell'Acquafredda, M.te Exi, ecc., di un esteso complesso di vulcaniti, di tipo andesitico, allineato NW-SE secondo direttrici di frattura, che si inquadra in una più vasta associazione di rocce vulcaniche effusive (basalti, andesiti, piroclastiti, ecc) di tipo alcali-calcico, ampiamente diffuse nella cosiddetta " Fossa Sarda " di età Oligo-Miocenica. Le vulcaniti di questi affioramenti sono costituite da

ammassi di lave in giacitura subvulcanica, a tessitura porfirica, con fenocristalli di plagioclasio, anfibolo, a composizione prevalentemente andesitica.

4.1.3 Quaternario

I depositi quaternari di facies continentale occupano la quasi totalità della piana di Uta- Capoterra, comprendono depositi alluvionali antichi e recenti, e localmente depositi fluvio-lacustri; coltri alluvio-colluviali e detrito di falda, si distribuiscono alle pendici dei rilievi paleozoici, delle colline vulcaniche terziarie e ricoprono la formazione del Cixerri. Depositati fluvio-lagunari, palustri o marini recenti affiorano in prossimità della zona umida della laguna di Cagliari e della linea di costa.

Alluvioni antiche: il complesso delle alluvioni antiche (pre-tirreniane), costituite da sedimenti fluviali di sistema di conoide e di piana alluvionale, giace discordante sul complesso leggermente inclinato del Terziario. Essa è costituita di sedimenti clastici grossolani, per lo più ghiaie e conglomerati, di evidente trasporto fluviale, ben costipati e talora cementati, a matrice argillososabbiosa bruno-rossastra per la presenza di ossidi di ferro. I ciottoli arrotondati ed eterometrici, sono costituiti da scisto, granito, quarziti, scarsi quelli andesitici e più rari quelli calcarei, i quali rappresentano tutti termini affioranti nel settore occidentale come anche in regioni limitrofe.

Secondo Seuffert (1970), che si è interessato all'assetto geomorfologico del graben del Campidano, affrontando il problema della forma e della genesi dei piani pedemontani, la copertura di alluvionale antica che dai rilievi paleozoici degrada verso la piana, corrisponde a diverse generazioni di glacis sovrapposti. Il deposito più antico, per alterazione molto spinta e grado di cementazione, è attribuito al Terziario superiore-Quaternario antico, mentre gli altri vengono inquadrati nel Quaternario antico (Gunz -Mindel) e nel Quaternario medio e recente (

Riss o Wurm) sulla base di correlazioni con le corrispondenti morfologie del Campidano, a loro volta datate tramite rapporti stratigrafici con i terrazzi costieri.

La formazione delle alluvioni antiche terrazzate testimoniano il periodo di sovralluvionamento nel graben del Campidano e nella valle del Cixerri. Infatti, i sollevamenti tettonici plio-pleistocenici ai bordi del graben e l'abbassamento della fossa, produssero un ringiovanimento del paesaggio con relativa riattivazione dell'azione erosiva dei fiumi, che reincisero a più riprese le grandi conoidi alluvionali, terrazzandole e talora riesumando, lungo le scarpate e sul fondo delle terrazze, i sottostanti terreni sedimentari terziari.



L'età delle alluvioni antiche del Campidano, riferita al Plio- Pleistocene, è stata possibile sia dalla correlazione paleogeografica con formazioni analoghe, distribuite largamente in Sardegna, attribuite allo stesso periodo, caratterizzato in tutta l'isola da un eccezionale sviluppo dell'idrografia in relazione a particolari condizioni di continentalità, sia da considerazioni morfometriche sugli elementi ciottolosi costituenti le alluvioni terrazzate. La presenza di ciottoli poligenici, di forma sferica-ellissoidale, con un elevato indice di smussamento, in relazione diretta, con la maturità del sedimento clastico, ha

permesso di stabilire un'origine antecedente al Quaternario ed un lungo processo di rimaneggiamento.

Alluvioni recenti: si tratta di depositi alluvionali recenti di fondovalle e di piana, terrazzati e non, di età olocenica. Sono posti ai lati degli alvei (rio Cixerri, rio S. Lucia e Flumini Mannu) della piana attuale ed in genere non sono interessati dalle dinamiche fluviali in atto nel letto ordinario; tratti di questa unità possono essere interessati da fenomeni alluvionali durante eventi idrometricieccezionali. Gli stessi ricoprono parzialmente le alluvioni antiche terrazzate e occupano la parte a nord della area in studio, fino al Rio Cixerri e la parte a sud-est verso la laguna di Cagliari. Si tratta di alluvioni grossolane, sabbioso-ciottolose, per lo più incoerenti o moderatamente costipate, a matrice sabbioso-limosa grigio-bruna e solo localmente leggermente arrossata. Litologicamente sono caratterizzate da ciottoli a elementi paleozoici, scisti arenacei più o meno metamorfici, arenarie quarzose, etc. (G. Pecorini & A Cherchi, 1969), sicuramente

provenienti dall'erosione degli horst paleozoici a ovest della fossa.

Depositi di versante: si tratta di depositi detritici, in genere di spessore limitato (alcuni metri), distribuiti nella zona pedemontana alle pendici dei rilievi collinari paleozoici siti a ovest della piana, segnando un passaggio graduale verso le alluvioni terrazzate e la pianura. Sono costituiti da ciottoli di quarzite, di scisto e granito, a spigoli vivi a matrice prevalentemente argillosa, molto alterati, cementati fra loro da ossidi di ferro che conferiscono un colore rosso brunastro; essendo in genere ben consolidati non danno luogo a movimenti franosi.

4.2 CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA DI SEDIME

L'area in esame è situata nel settore sudoccidentale del Campidano di Cagliari, conformato da ampie conoidi alluvionali e terrazzi, modellata da terreni la cui età va dal Terziario fino al Quaternario recente. Il territorio, prevalentemente pianeggiante, è costituito quasi totalmente da una copertura Quaternaria di facies alluvionale terrazzata, con giacitura tabulare, appartenente al periodo "Pleistocene - Olocene". Le



coltri alluvionali quaternarie poggiano discordanti sulla formazione continentale terziaria del Cixerri, sulle vulcaniti andesitiche e localmente sul basamento paleozoico, in particolare a ovest dell'area sensibile. Molti autori hanno riconosciuto entro questi depositi la presenza di più ordini di terrazzi, legati sia alla differente evoluzione tettonica plioquaternaria, sia ai vari processi morfogenetici conseguenti le variazioni climatiche del Pleistocene-Olocene, che hanno visto l'alternarsi di fasi d'intensa erosione e fasi di accumulo dei sedimenti (O.Seuffert, 1970).

L'area sensibile collocandosi in un'area morfologicamente pianeggiante, è caratterizzata da un paesaggio uniforme e piatto, con forme evolute e spianate, la cui pendenza degrada dolcemente a E-SSE, verso l'area depressa dello Stagno di Cagliari e la linea di spiaggia verso il mare, mentre va aumentando a Ovest, verso la fascia detritica pedemontana di raccordo con le colline paleozoiche.

L'estesa copertura alluvionale caratterizzante questa porzione di Campidano è costituita da sedimenti alluvionali derivati dall'appiattimento morfogenetico di grandi conoidi alluvionali deposte dai corsi d'acqua allo sbocco delle valli, che hanno inciso i rilievi del Sulcis orientale. In particolare l'area sensibile è impostata su depositi alluvionali antichi terrazzati risultanti dall'evoluzione della conoide alluvionale del Rio S. Lucia, reincisa e più volte plasmata dai processi di scorrimento delle acque superficiali, accentuati o mitigati dalle variazioni climatiche quaternarie. La stessa si estende in un ampio ventaglio, che dal punto di confluenza tra il rio Gutturu Mannu e il rio Gutturreddu si apre fino allo stagno di Cagliari, costituendo la stessa piana deltizia. In conformità a criteri morfostratigrafici, pedostratigrafici e morfoclimatici sono distinte sostanzialmente due unità deposizionali, separate da una superficie d'erosione corrispondente a una fase d'incisione e terrazzamento: alluvioni antiche terrazzate attribuite al "Subsistema di Portoscuso" del periodo Pleistocene e di alluvioni più recenti terrazzate.

4.2.1 Litofacies nel sub sistema di Portoscuso [PVM2A]

Si tratta di depositi fluvio-deltizi (autoctoni) pleistocenici, costituiti da ghiaie grossolane, più raramente blocchi, a spigoli subangolosi e subarrotondati, eterometrici, con dimensioni perlopiù decimetriche. I ciottoli sono poligenici, anche se prevalgono gli elementi di scisto, granito, quarzite, a riflettere la costituzione geolitologica del bacino di alimentazione dell'area. I depositi, generalmente di colore bruno rossastro sono ben costipati, talora ferrettizzati, per la presenza di ossidi ferrici nella matrice prevalentemente sabbioso-argillosa, a seguito di processi diagenetici legati all'alterazione idrica superficiale. I sedimenti più fini rappresentati da sabbie grossolane, sono sempre subordinati e si presentano in lenti o livelli intercalati a quelli ciottolosi. Alluvioni antiche conglomeratiche affiorano in particolare in località ad esempio "Planemesu".

4.2.2 Alluvioni terrazzate oloceniche [BNA]

Depositati alluvionali grossolani di fondovalle e di piana, costituiti da orizzonti conglomeratici, da livelli di ghiaie poligeniche a stratificazione incrociata concava alternate a ghiaie a stratificazione piano-parallela, con intercalazioni di livelli sabbioso-ciottolosi, a matrice generalmente sabbiosa, mediamente costipate con un basso grado di cementazione. Tali sedimenti alluvionali, affioranti in particolare a nord e a est dell'area di sedime, derivano dal rimaneggiamento dei depositi conglomeratici antichi dei glacis d'accumulo e di conoide alluvionale e ricoprono i sedimenti del sistema di Portoscuso. Gli stessi sono a loro volta sovrastati dai depositi alluvionali attuali, costituiti da livelli ghiaiosi eterometrici e sciolti, che occupano le zone

limitrofe agli alvei dei principali corsi d'acqua.

4.2.3 Alluvioni oloceniche [BB ÷ BA]

I sedimenti alluvionali sono in genere grossolani, presentando localmente lenti e sottili livelli di sabbia. Le strutture sedimentarie non si differenziano da quelle già descritte per i depositi alluvionali terrazzati olocenici, a testimoniare la presenza in un passato più o meno prossimo di corsi a canali intrecciati.

Avvicinandosi ai versanti i sedimenti all'interno degli alvei possono essere anche molto grossolani con ciottoli e blocchi. Spesso allo sbocco delle valli che drenano i rilievi, i corsi d'acqua sono incisi all'interno di conoidi alluvionali delimitati in genere da scarpate anche di vari metri di altezza (ad es. quella del Rio Isca di Assemini). Nelle pianure alluvionali principali, come quelle ai lati dell'alveo attuale del Flumini Mannu, del Rio Cixerri e sulla antica posizione del Riu Serra Gureu (esterno), sono presenti tracce di antichi meandri abbandonati, spesso riempiti da sedimenti fini. Sedimenti fini sabbioso-siltosi ed argillosi, ricchi di materia organica e con frequenti intercalazioni sabbiose affiorano anche in un'area particolarmente estesa sui lati della pianura alluvionale attuale a S dell'allineamento Uta- Assemini.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

5.1 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEL SEDIME IN ESAME

Il complesso alluvionale quaternario, caratterizzante l'assetto stratigrafico dell'area di studio, è una diretta conseguenza dei movimenti neotettonici distensivi plio-pleistocenici, che hanno condizionato, unitamente alle oscillazioni eustatiche e climatiche, l'evoluzione paleogeografica del graben campidanese, e soprattutto del sistema idrografico. Le numerose variazioni quaternarie del livello di base degli alvei dei corsi d'acqua principali 2, con una serie di innalzamenti e sprofondamenti, hanno determinato l'alternarsi di successive fasi morfogenetiche di accumulo, incisione e terrazzamento, rielaborando i sedimenti fluviali antichi dei glacis e delle grandi conoidi alluvionali del rio Cixerri e del rio S.Lucia, sino a definire una potente successione alluvionale distinta in alluvioni antiche pleistoceniche e in alluvioni più recenti oloceniche. L'alternanza di sedimenti a differente composizione granulometrica, grado d'addensamento e di consistenza, tipica dei sedimenti di bacino alluvionale, determina, localmente, variazioni di permeabilità. La permeabilità è una proprietà caratteristica delle terre/rocce ed esprime l'attitudine delle stesse a lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee. Poiché il terreno non è un corpo omogeneo, è intuibile che all'interno dello stesso varino sia le caratteristiche chimico-fisiche, che le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità dei depositi alluvionali, la permeabilità, non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" m/s ma da un intervallo di questo.

Geologicamente nell'area affiorano terreni quaternari di facies fluviale rappresentati da alluvioni antiche pleistoceniche e da alluvioni più recenti terrazzate (oloceniche), costituiti essenzialmente da alternanze di livelli conglomeratici poligenici ed eterometrici, ghiaie stratificate con intercalazioni di sabbie e limi/argille. La distinzione tra le due formazioni alluvionali è legata alle caratteristiche morfometriche della frazione grossolana, al grado di compattazione, al contenuto e alla ferrettizzazione della matrice fine.

I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in:

Grado di permeabilità	Valore di k (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

➤ **Classe 1** → medio - alta permeabilità, localmente medio - bassa [Alluvioni recenti terrazzate dell'Olocene]

Si tratta di terreni a circolazione idrica discreta, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta in corrispondenza di livelli ciottoloso-sabbiosi in prossimità degli alvei dei corsi d'acqua, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli conglomeratici ben costipati e/o cementati delle alluvioni terrazzate [10-2 K 10-5].

➤ **Classe 2** → medio bassa permeabilità [Alluvioni antiche Pleistoceniche]

Vi rientrano le alluvioni antiche di conoide alluvionale, terrazzate, costituiti da livelli sabbiosociottolosi, conglomeratici, con intercalazioni limo-argillose, ben costipate e talora ferrettizzate. La permeabilità per porosità è generalmente bassa per la presenza di livelli da molto compatti sino a cementati, localmente media in corrispondenza dei livelli a maggiore componente arenacea [10-4 K 10-7].

Età Geologica	Grado di permeabilità relativa			Litologia
	AP	MP	BP	
Olocene Depositi alluvionali recenti - terrazzati		[REDACTED]		<i>Depositi alluvionali contenenti ghiaie prevalenti e limitate lenti di sabbie e ghiaie fini</i>
Pleistocene Alluvioni antiche terrazzate		[REDACTED]		<i>Depositi di conoide alluvionale, costituiti da ghiaie con subordinate sabbie, terrazzate</i>

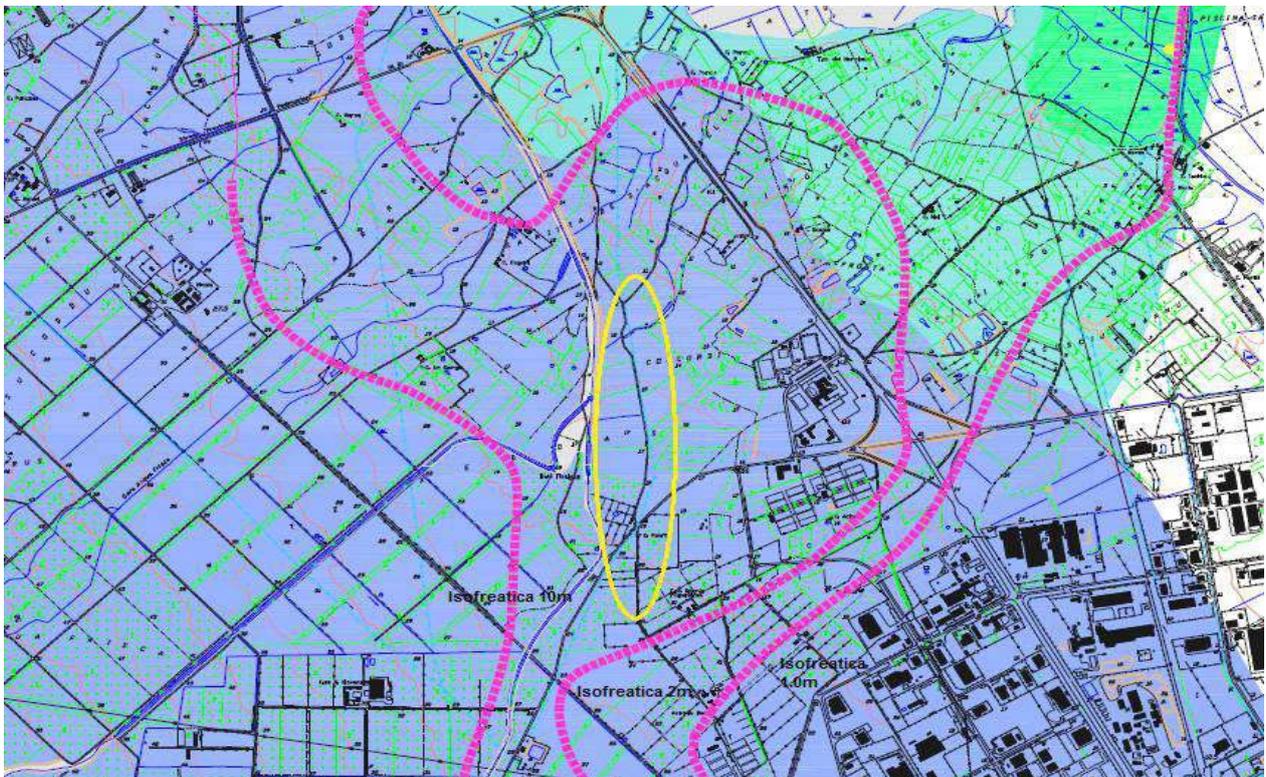
Per quanto riguarda le formazioni antiche al contorno del bacino alluvionale quaternario, si può evidenziare che: il complesso sedimentario terziario della Formazione del Cixerri presenta un grado di permeabilità per porosità basso dovuto soprattutto all'abbondante frazione fine di natura argillosa presente nei vuoti intergranulari nei termini più alti della formazione. Tuttavia, la formazione non è completamente priva di acqua perché alcune facies particolari, come quella conglomeratica, ne possono contenere una certa quantità, anche se limitata. Le andesiti oligomioceniche presentano un grado di permeabilità molto basso che aumenta in funzione dello stato di alterazione e di fratturazione della roccia. Il Complesso delle metamorfite e delle plutoniti fessurate, costituito dalle rocce granitoidi e scistose del Paleozoico, presenta in generale un grado di permeabilità molto basso per porosità e medio in corrispondenza di zone di fratturazione.

La presenza di faglie, fratture e corpi filoniani favoriscono, infatti, l'infiltrazione delle acque dando luogo a una circolazione idrica profonda di discreta entità. I depositi palustri attuali (limi, argille siltose, sabbie) delle zone più depresse hanno permeabilità per porosità generalmente ridotta.

5.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELLA FALDA NELL'AREALE

Nella pianura del Campidano prevalgono i terreni alluvionali sia antichi (plio-pleistocenici) che recenti (Olocene), e subordinatamente crostoni calcarei (*Pala A., Pecorini G.; Porcu A.; 1977- Struttura idrogeologica della Soglia di Siliqua*), dove sono presenti falde idriche più o meno.

profonde. La falda freatica riveste particolare importanza nelle alluvioni sabbioso-ciottolose più recenti delle zone di pianura, percorse dai corsi d'acqua principali, tra cui il Flumini Mannu e il rio Cixerri. In generale, si può ammettere che le falde profonde siano alimentate dai corsi d'acqua in prossimità delle sponde del Graben, dove i depositi alluvionali quaternari e pliocenici sono prevalentemente sabbiosi. E' da escludere che le acque superficiali delle aree centrali del graben possano infiltrarsi nel sottosuolo oltre 70-80 m sotto il livello del mare, in quanto pressoché ovunque nel Campidano a tale profondità giacciono costantemente depositi costituiti da limi e argille costipati e addensati da risultare praticamente impermeabili, per questo motivo le coltri alluvionali sono acquifere pressoché esclusivamente nella parte più alta. Nella fossa del Campidano sono presenti alcune manifestazioni termali, in particolare su questo settore sudoccidentale (Villasor-Uta), le quali possono ritenersi legate a circuiti profondi che si svolgono esclusivamente nel basamento. Queste sorgenti si trovano sempre in corrispondenza di alti strutturali legati alle faglie d'importanza regionale, che limitano a est e a ovest il graben campidanese (*Pala A.; Pecorini G., Porcu A.; Serra S., 1982*).



L'impermeabilità delle formazioni paleozoica e terziaria, costituenti i rilievi rocciosi, e la permeabilità della coltre alluvionale che si estende nella pianura ha condizionano l'idrografia superficiale e sotterranea.

Il principale corso d'acqua che lambisce l'area di intervento è il **FIUME_15502** che in sinistra idraulica presenta i suoi più significativi affluenti, per lo studio in oggetto.

Il bacino del FIUME_15502, con superficie di oltre 6.5 km² (misurata alla sezione di chiusura significativa per lo studio) interessa principalmente il territorio del comune di Uta in un area destinata prevalentemente all'uso agricolo.

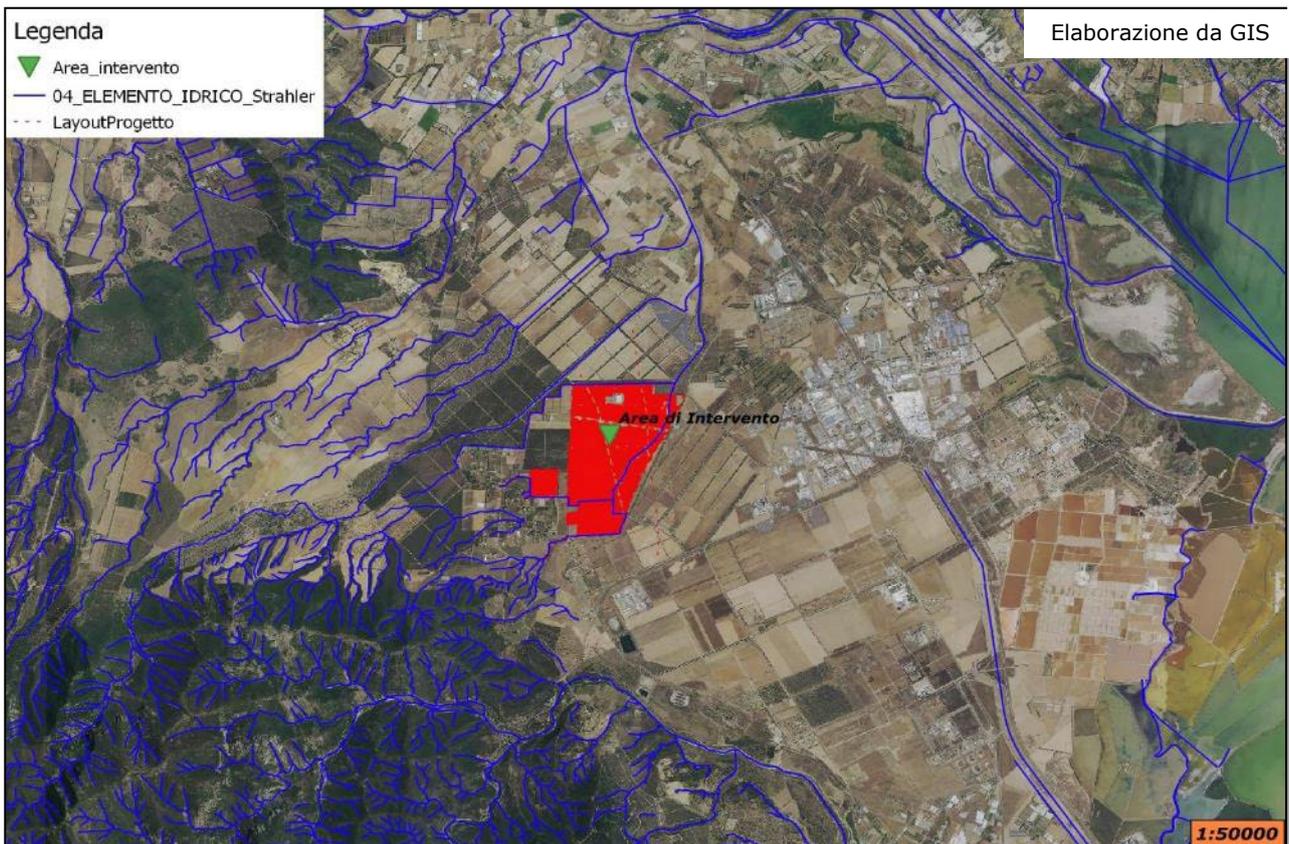


Figura 5 – Elaborazione GIS reticoli idrografici.

6. PERICOLOSITA' GEOLOGICA

L'insieme dei fenomeni geologici e dei loro effetti su una determinata zona rappresenta quella che si definisce la pericolosità geologica, che comprende i fenomeni naturali quali ad esempio le frane, le alluvioni, i terremoti, le eruzioni vulcaniche ect. Nella fattispecie in questione, il quadro normativo di riferimento della Regione Sardegna disciplina la pericolosità idrogeologica e la pericolosità sismica.

6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

Con riferimento alla classificazione sismica del territorio nazionale con l'Ordinanza D.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e la successiva n. 3519 del 28/04/2006 la Sardegna è stata classificata come **zona sismica 4 "pericolosità molto bassa"**; pertanto in funzione della tipologia dell'opera e ai sensi della D.G.R. della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004 (B.U.R.A.S. 21/08/2004 n. 27 - disposizioni preliminari in attuazione dell'Ord. P.C.M. 3274 del 20.3.2003) l'azione sismica è da ritenersi trascurabile. Lo studio di pericolosità, allegato all'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, integrato con il D.M. 14/01/2008, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

6.2 PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA

In riferimento al rischio idrogeologico la Regione Sardegna ha elaborato dei piani cui bisogna rapportarsi per qualsiasi opera e/o intervento da realizzarsi.

- Il *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*, elaborato dalla Regione Sardegna ai sensi della L. 18.05.1989 n. 183 e dalla L. 03.08.1998 n. 267, approvato con D.P.G.R. n. 67 del 10.07.2006 e aggiornato con D.P.G.R. 148 del 26.10.2012, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.
- Il *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)* approvato definitivamente dal Comitato istituzionale con Delibera n.2 del 17.12.2015, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali; costituisce un approfondimento ed una integrazione del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGR)

Il Comune di Uta è ricompreso all'interno del bacino unico della Sardegna, sub-bacino n. 7 "Flumendosa-Campidano-Cixerri" così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie la zona in cui dovrà realizzarsi l'intervento ricade all'interno della fascia di prima salvaguardia stabilita dall'art 30 ter delle NTA del PAI, come meglio specificato nelle immagini che seguono.

6.2.1 Stralcio dal P.S.F.F. Sardegna

Il territorio di interesse al momento è rimasto esente dagli effetti degli studi relativi al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) di cui si riporta una stralcio.

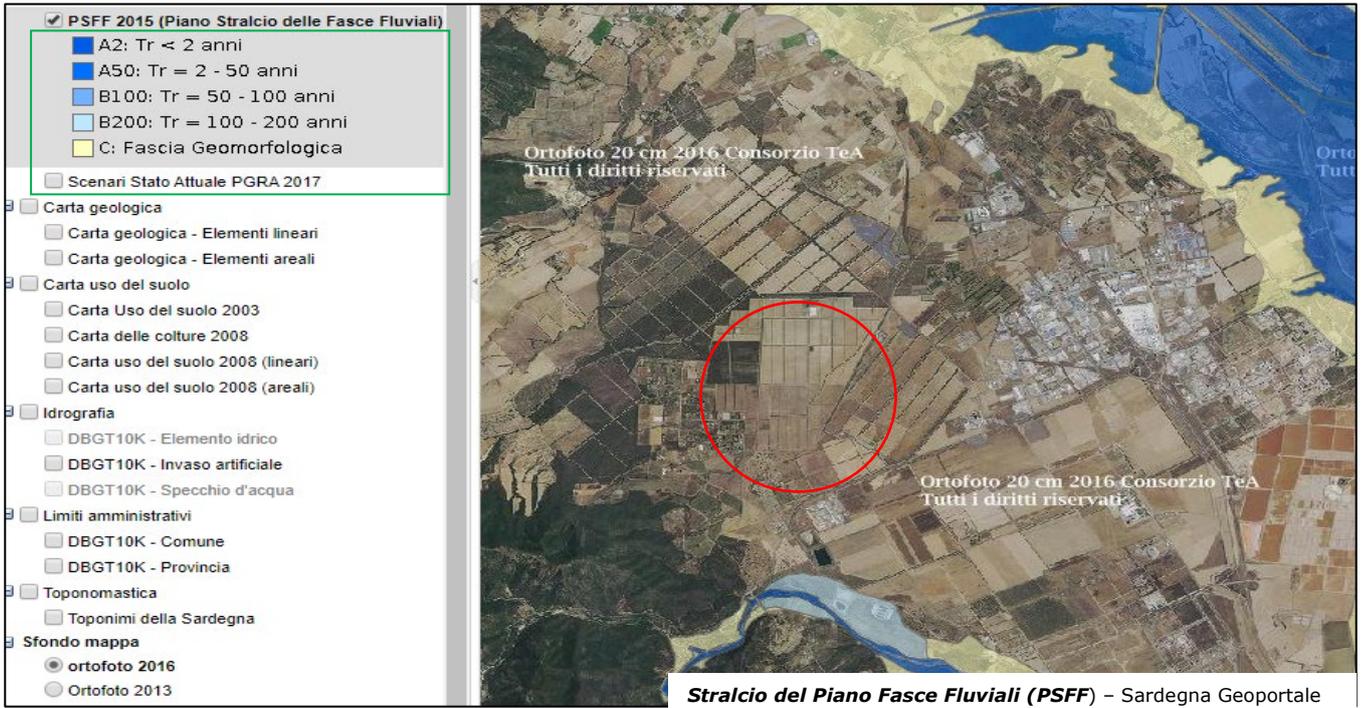
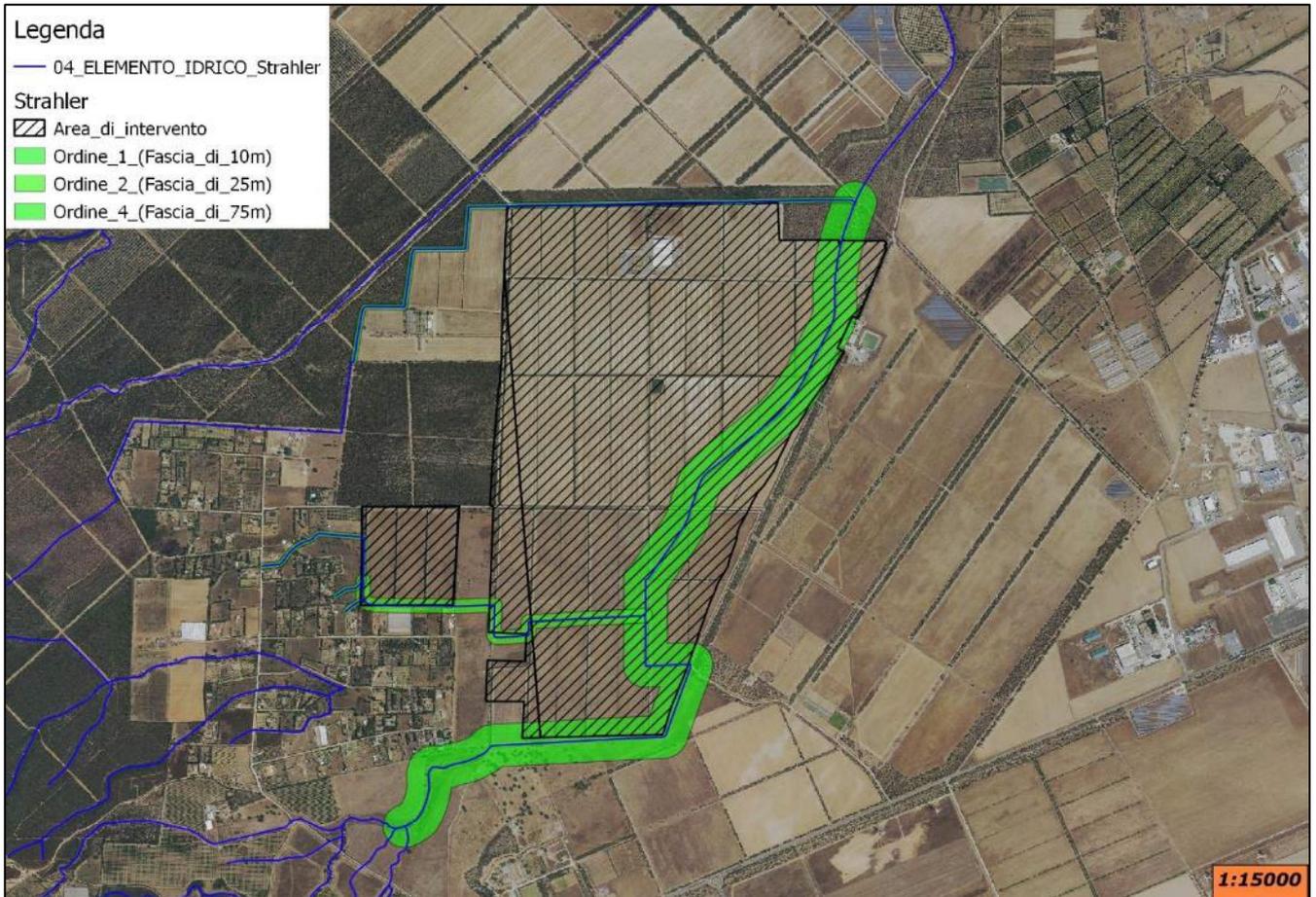


Figura 6 – Stralcio del Piano Fasce Fluviali (PSFF)_Fonte Geoportale Sardegna.

6.2.2 Art.30 Ter NTA PAI Sardegna (n° Strahler 1,2 e 4)



Per l'area oggetto di intervento, pur non essendo stata studiata dal PAI, ricadendo all'interno della fascia di rispetto (del limitrofo reticolo) definita dall'art. 30ter delle NTA del PAI è richiesto apposito studio

idrologico-idraulico volto a determinare le effettive aree di pericolosità idraulica.

6.2.3 Stralcio dal P.A.I. Sardegna

Nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico il sito di intervento non risulta essere perimetrato a rischio geomorfologico e quindi, così come indicato nelle NTA PAI 2020, non risultano specifiche prescrizioni o limitazioni all'intervento in oggetto.

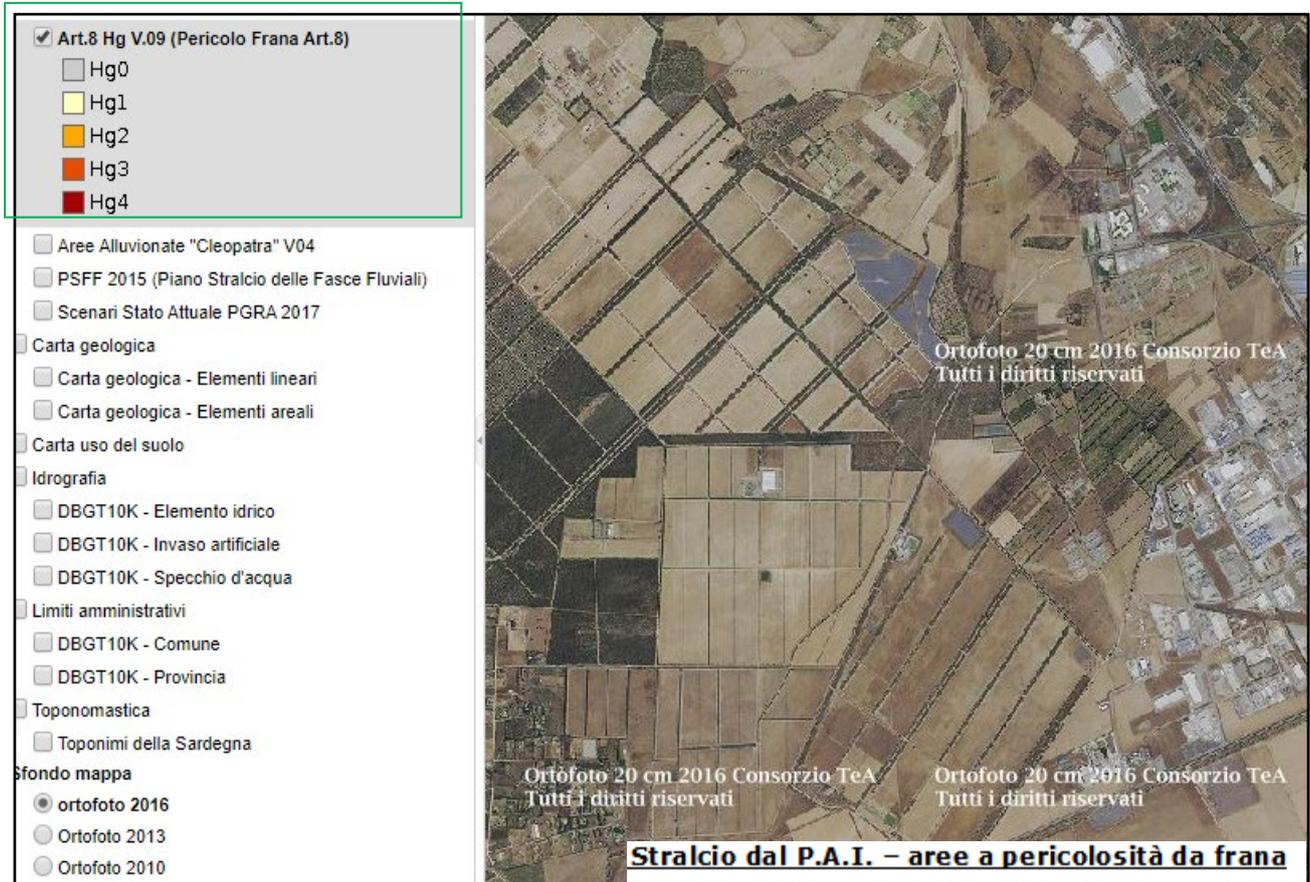


Figura 7 – Stralcio del P.A.I. – aree a pericolosità da frana.

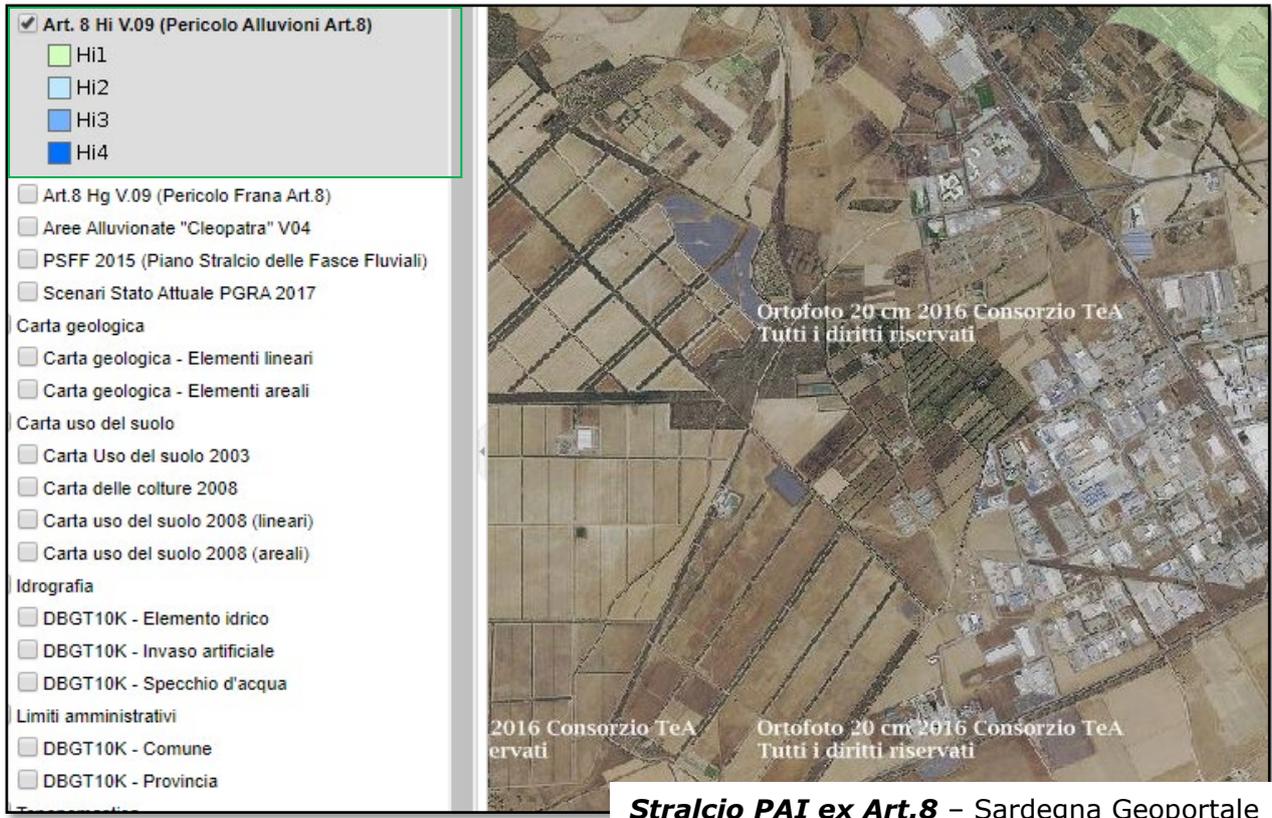


Figura 8 – Stralcio del P.A.I. – ex Articolo 8 (Sardegn Geoportale).

6.2.4 Stralcio dello studio idraulico redatto

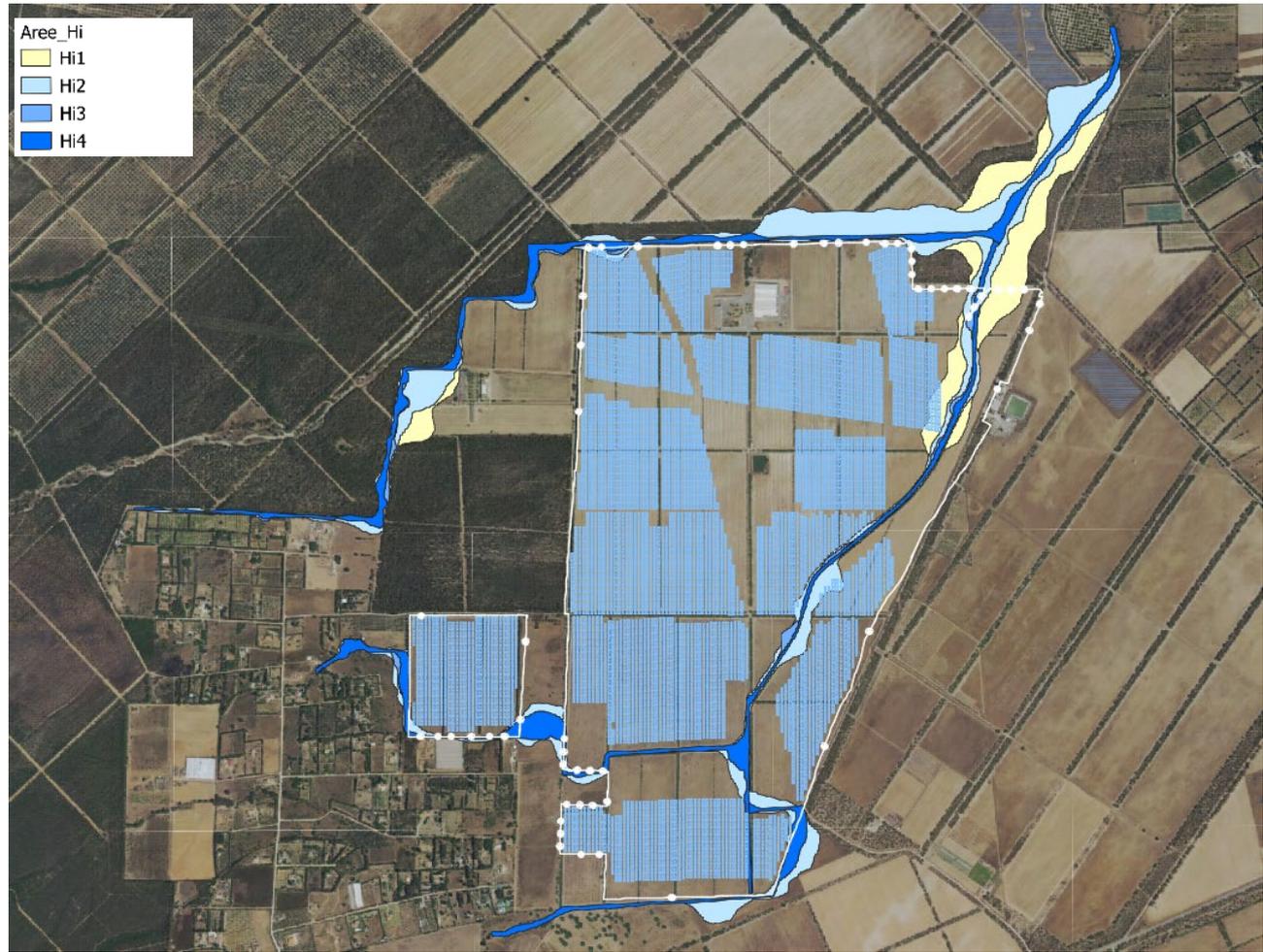


Figura 9 – Studio idraulico aree di progetto.

A seguito dello studio idrologico e idraulico, redatto in applicazione dell'art.30 ter, è risultato che gran parte dell'area di intervento non risulta essere interessata da nessun fenomeno di allagamento relativo agli eventi di piena considerati, che sono quelli stabiliti dal PAI (Tr 50, 100,200 e 500 anni).

Risulta inoltre che, tranne che per limitate aree site alla confluenza tra le aste analizzate, tutta la portata relativa alla piena dei 50 anni è contenuta all'interno dell'alveo.

Come sarà poi meglio specificato nel paragrafo che tratta l'analisi idraulica, la perimetrazione dell'Hi4 (solo nelle sezioni in cui le portate relative ai diversi TR sono interamente contenute in alveo) è stata spesso cautelativamente estesa all'Hi3 ed Hi2, in quanto risultavano molto prossime, quasi coincidenti con l'Hi4.

A seguito dello studio in oggetto, la committenza prevede l'installazione dell'impianto fotovoltaico solamente nei lotti ricadenti al massimo in area a pericolosità idraulica media "Hi2". Alcune parti della recinzione invece, ricadranno comunque in "Hi4".

Si può quindi già anticipare che l'intervento risulta ammissibile.

7. ANALISI IDROLOGICA

L'area oggetto di studio sita nel territorio comunale di UTA è ricompresa all'interno del Bacino unico della Sardegna, più precisamente nel sub bacino n. 7 "Flumendosa-Campidano-Cixerri" così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna,

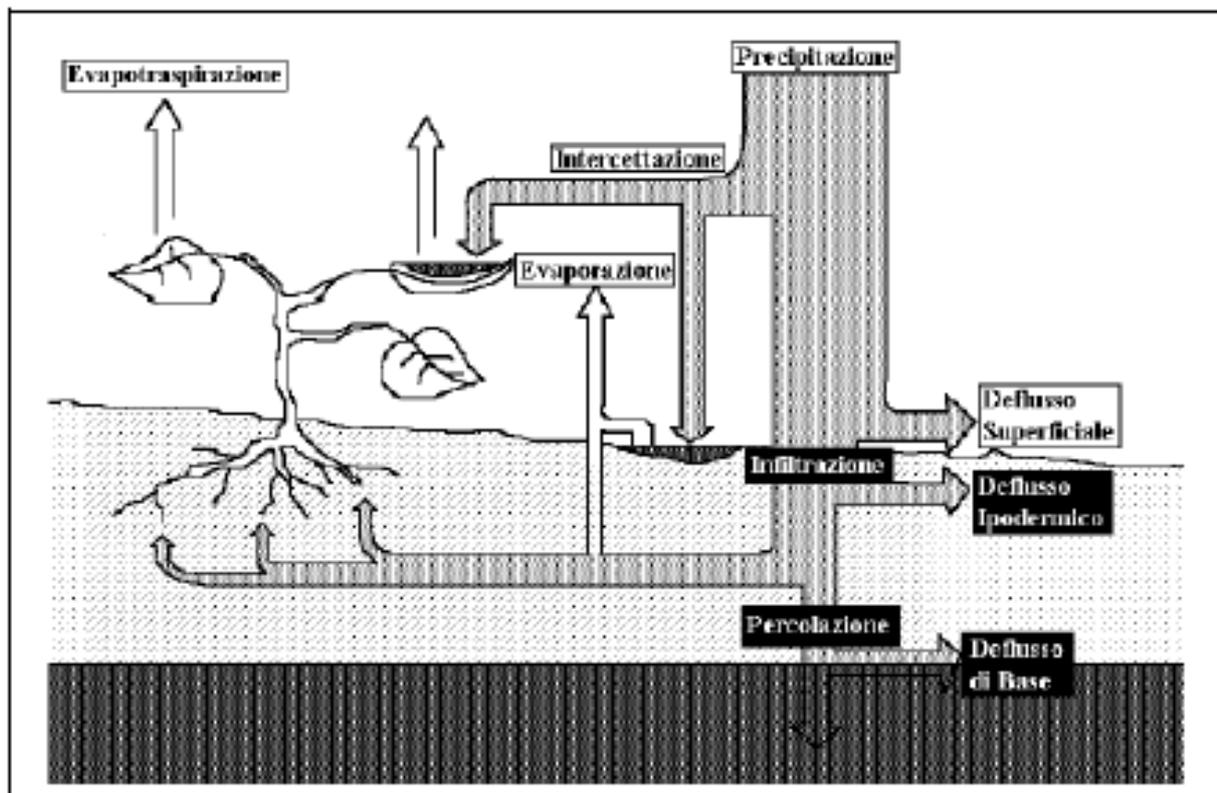
L'individuazione del sistema idrografico costituisce la base di partenza dello studio idrologico e idraulico.

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 fasi che lo precedono 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 seguente schematizzazione.



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

- l'evapotraspirazione risulta essere modesta o nulla in relazione ai deflussi superficiali che assumono importanza preponderante rispetto agli altri;
- 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;
- 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 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 della superficie del bacino ma anche della 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.

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, 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.

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, ovvero indirettamente tramite trasformazione afflussi-deflussi.

Nel caso specifico, la stima della portata di piena ad assegnata frequenza sarà determinata attraverso il confronto critico tra metodologie dirette, indirette e i metodi empirici.
Per l'applicazione dei metodi di cui sopra si dovrà ricorrere all'individuazione dei parametri morfologici dei bacini in studio.

7.1 BACINO IDROGRAFICO E PARAMETRI MORFOMETRICI

Intendiamo per bacino idrografico la superficie topografica dalla quale le acque di pioggia, defluendo naturalmente, passano per la sezione di chiusura. Le caratteristiche morfometriche esaminate riguardano le dimensioni planimetriche, il rilievo, la pendenza media del bacino, dell'asta fluviale e il tempo di corrivazione, riferite ai principali bacini idrografici individuati nel territorio comunale che ai sub-bacini utili ai fini delle verifiche del calcolo idraulico.

Le dimensioni planimetriche sono:

- **A** - area o superficie del bacino: superficie della proiezione orizzontale del bacino idrografico chiuso alla sezione del corso d'acqua;
- **P** - perimetro: lunghezza della proiezione orizzontale di tutto il contorno dello spartiacque del bacino idrografico;
- **L** - lunghezza dell'asta (fluviale) principale: lunghezza misurata considerando il "percorso idraulicamente più lungo" partendo dallo spartiacque sino alla sezione di chiusura dell'asta (fluviale) principale, la quale identifica il percorso dei deflussi più importante nel bacino, lungo il quale dovrebbero anche defluire le portate maggiori.

I parametri o i coefficienti più significativi di un bacino relativi alle sue caratteristiche morfometriche sono:

- pendenza media del bacino j_m :

$$j_m = \Delta z * \sum l_i / A$$

Δz differenza di quota tra le curve di livello o anche detta equidistanza tra isoipse,
 $\sum l_i$ sviluppo totale delle curve di livello
 A superficie del bacino

- altitudine media del bacino H_m :

$$H_m = \sum S_i z_i / A$$

S_i area compresa tra due curve di livello, differenza di quota tra le curve di livello o anche detta equidistanza tra isoipse,
 z_i sviluppo totale delle curve di livello
 A superficie del bacino

- pendenza media dell'asta (fluviale) principale i_m :

$$\sqrt{i_m} = \frac{L_a}{\sum_k \frac{l_k}{\sqrt{i_k}}}$$

dove l_k e i_k sono la lunghezza e la pendenza del k-esimo tratto elementare dell'asta principale.

Il tracciamento dei bacini è stato fatto in ambiente GIS e integrato con applicativi specializzati per l'elaborazione idrologica. In particolare si è utilizzato il modello digitale del terreno (DEM) costituito da una griglia a maglia quadrata di 10 metri reperibile tramite il geoportale della regione Sardegna.

Il DEM costituisce la base altimetrica su cui individuare la linea di displuvio che delimita il bacino e fornisce la rappresentazione numerica da cui desumere i parametri morfometrici del bacino stesso necessari alle

elaborazioni idrologiche.

In particolare il DEM consente, con operazioni semplici, di determinare l'area dei bacini totale e parziali, le quote delle sezioni d'interesse, le altitudini medie, minime e massime.

La carta delle acclività, derivata dal DEM, consente la determinazione della pendenza media del bacino; la struttura di rete assunta, infine, con l'aggiunta della coordinata Z del DEM, consente agevolmente l'individuazione dell'asta principale, con gli attributi di lunghezza e pendenza media, e del suo profilo altimetrico.

7.2 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA

Come previsto dalle Linee Guida PAI la stima della portata al colmo può essere eseguita con tre metodi differenti:

- 1) metodo “diretto o probabilistico”
- 2) metodo “indiretto o analitico”
- 3) metodo “empirico”.

I primi pervengono al valore della portata al colmo in una sezione di interesse a partire dall'analisi di serie storiche osservate di portata; i secondi sfruttano un modello di trasformazione afflussi-deflussi che consente di pervenire alla portata di progetto partendo dall'analisi statistica delle piogge; i metodi empirici, infine, si basano sull'osservazione di valori di portata al colmo che vengono posti in relazione con particolari parametri geomorfologici di bacino.

Non disponendo di serie storiche osservate di portate occorre subito scartare l'ipotesi di ricorrere a metodi di stima diretti che tra l'altro sono stati validati solo per grandi bacini al di sopra di 40-60 km².

I metodi empirici hanno il difetto di non tenere conto di nessuna analisi statistica, sono legati alla limitata serie di valori osservati e, in genere, danno dei valori di portata decisamente sovrastimati.

In tale ottica i metodi indiretti, vista anche la dimensione dei bacini in studio, paiono i più adatti a sopperire alla inconsistenza dei dati osservati e, tra questi, il metodo razionale, basato sulla formula omonima, risulta certamente fra i più utilizzati.

La scelta del modello trasformazione afflussi-deflussi è un aspetto molto importante in quanto determina l'accuratezza dei risultati delle elaborazioni e la corretta interpretazione della dinamica del bacino in esame. Nel caso dei nostri bacini in studio vista la loro dimensione ed essendo contigui, alcune caratteristiche idrologiche sono state considerate omogenee.

Il parametro di riferimento che descrive la risposta idrologica di un terreno in termini di trasformazione degli afflussi (piogge) in deflussi (portate) è detto “contributo specifico di piena” o “coefficiente udometrico” (u), espresso usualmente in [l/s·ha]. La stima di “ u ” avviene utilizzando dei modelli concettuali semplificati che permettono di ricavare la portata massima che si ha alla sezione di chiusura del bacino a fronte di una precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno.

Tra i vari modelli analitico/concettuali disponibili in letteratura tecnica vi sono tre diversi metodi:

- il Metodo Razionale o Cinematico o del Tempo di Corrivazione, che rappresenta nel contesto italiano la formulazione sicuramente più utilizzata a livello operativo;
- il Metodo dell'Invaso;
- Il Metodo Curve Numbers proposto dal Soil Conservation Service (SCS) americano.

Circa la scelta della distribuzione di probabilità per le piogge (da adottarsi con la formula razionale), gli ultimi sviluppi della letteratura in proposito di eventi estremi in Sardegna hanno mostrato come la distribuzione Two Components Extreme Value, nota come TCEV, si presenti più adatta di quella Lognormale per interpretare i fenomeni di pioggia brevi e intensi. Il metodo permette di esprimere la massima portata inerente a una generica sezione che sottende ad un bacino di area A , in funzione della precipitazione critica ragguagliata che chiameremo $h_{(T)}$. Il metodo trova fondamento dall'ipotesi che il tempo impiegato da una goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino sia una costante che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui questa è caduta; tale intervallo di tempo viene definito come “tempo di corrivazione”. La sua importanza deriva dal fatto, che per una precipitazione di durata t_c , tutto il bacino contribuisce al deflusso superficiale, e quindi alla sezione di chiusura si registrerà la massima portata.

7.3 IL METODO RAZIONALE BASATO SULLA DISTRIBUZIONE TCEV

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

La trasformazione Afflussi-Deflussi che consente di passare dalle precipitazioni alle portate fa ricorso al metodo Cinematico e alla cosiddetta "formula razionale" che calcola la portata di piena in base al fenomeno della corrivazione delle particelle liquide.

Per tale formula la pioggia critica è quella di durata pari alla somma del tempo di corrivazione più il tempo di formazione del deflusso superficiale. Quindi se si indica con Θ la durata critica si ha:

$$\Theta \equiv T_c + t_f$$

T_c il tempo di corrivazione del bacino

T_f il tempo di formazione del deflusso superficiale;

Nota la durata critica Θ la formula razionale definisce la portata al colmo relativa ad un certo tempo di ritorno con la relazione:

$$Q = i_{n,r} [\Theta, T_R, r(\Theta, A)] \cdot A \cdot$$

In modo più esplicito:

$$Q = \frac{\Phi h [\Theta, T_R] r [\Theta, A] A \cdot}{\Theta}$$

Essendo

A l'area del bacino in km²

$h [\Theta, T_R]$

Φ il coefficiente di deflusso

$r(\Theta, A)$ il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino

$\Theta \equiv T_c + t_f$

Posto

$$h_{n,r} [\Theta, T_R, r] \quad \Phi h [\Theta, T_R] r [\Theta, A]$$

Si può dire che la portata al colmo in una certa sezione che chiude un bacino di area A assegnata e relativa ad un certo tempo di ritorno T_R risulta determinata una volta nota l'altezza di pioggia netta ragguagliata, di durata critica Θ , relativa a quel tempo di ritorno T_R e ragguagliata all'intero bacino (detta **altezza di pioggia critica**).

Si pongono di conseguenza due ordini di problemi:

- definire la durata critica;
- determinare l'altezza di pioggia critica.

Il calcolo della durata critica passa attraverso la determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di formazione del deflusso.

Per il primo si hanno delle formule empiriche indicate di seguito, per il secondo si procede ad una valutazione per via iterativa.

Circa l'altezza di pioggia critica si procede come indicato nei paragrafi successivi.

7.4 TEMPO DI CORRIVAZIONE

Sullo schema concettuale della corrivazione che si basa sul *metodo cinematico* o *metodo della corrivazione*, per la stima delle portate di piena, le ipotesi basilari da tenere in considerazione sono:

- Ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende unicamente dal punto in cui essa è caduta;

- La velocità di una goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse scorre indipendentemente dalle altre; in realtà sappiamo che la velocità dell'acqua lungo un pendio o un alveo dipende, oltre che dalle caratteristiche della superficie bagnata anche dal tirante idrico; ne consegue che in un bacino si possono avere diversi tempi di corrivazione sia in funzione delle caratteristiche del suolo che in funzione della durata e dell'intensità dell'evento.
- La portata defluente si ottiene sommando le singole portate elementari provenienti dalle diverse aree del bacino che confluiscono alla sezione di chiusura.

La trasformazione afflussi–deflussi è una determinata sequenza di operazioni che permette, conoscendo l'altezza di precipitazione e la durata di un evento meteorico, di ottenere la portata che defluisce per la sezione di chiusura del bacino idrografico.

Fattore da tenere in considerazione è che la velocità dell'acqua si mantiene pressoché costante da monte verso valle, dal momento che, la diminuzione di pendenza è bilanciata dai cambiamenti di larghezza, di profondità e di scabrezza.

Teoricamente, il tempo impiegato da una goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano, cioè il punto dello spartiacque da cui ha origine l'asta principale della rete idrografica, per raggiungere la sezione di chiusura, prende il nome di tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione, considerando che è il tempo impiegato da una goccia d'acqua per percorrere l'intera asta fluviale principale, dall'origine sullo spartiacque topografico alla sezione di chiusura, è il maggiore tra quelli di tutti i punti del bacino.

Il tempo di corrivazione si stima in genere utilizzando formule empiriche, derivate dall'analisi di una gran quantità di casi reali, che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune grandezze caratteristiche del bacino di facile determinazione.

In particolare le linee Guida del PAI suggeriscono:

FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0,127 \left(\frac{A}{i_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [ore]$$

dove:

A è l'area del bacino in Km²

i_m pendenza media dell'asta principale.

FORMULA DI PASINI

$$T_c = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_m^{\frac{1}{2}}} \quad [ore]$$

dove:

A è l'area del bacino in km²

i_m pendenza media dell'asta principale

L è la lunghezza dell'asta principale in km

FORMULA DI VIPARELLI

$$T_c = \frac{L}{(1 \div 1,5) \cdot 3,6} \quad [ore]$$

dove :

L è la lunghezza dell'asta principale in km

1-1,5 è la velocità media della corrente in m/s

FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \quad [\text{ore}]$$

dove :

- A* è l'area del bacino in km²
- H_m* altitudine media del bacino m slm
- H_o* altitudine della sezione di chiusura m slm
- L* è la lunghezza dell'asta principale in km

FORMULA DI SOIL CONSERVATION SERVICE

$$t_c = 0.57 \frac{100 * L_p^{0.8} * \left(\frac{100}{CN} - 9\right)^{0.7}}{\sqrt{P_b}}$$

dove :

- L_p* è la lunghezza asta principale
- CN* CURVE NUMBER
- P_b* pendenza media del bacino

Nella scelta del tempo di corrivazione occorre tenere conto delle incertezze insite nelle formule che consentono di stimarlo; ogni formula, vista la natura prevalentemente empirica, è valida per i bacini per i quali è stata ricavata e tarata. Nel caso in questione si possono fare alcune interessanti osservazioni:

- la relazione di Ventura è stata introdotta nell'ambito di uno studio sulle reti di bonifica bolognese;
- la relazione di Pasini è stata introdotta nell'ambito di uno studio sulle reti di bonifica della pianura renana;
- la formula di Viparelli è senza dubbio la più semplice, si basa sulla corrivazione e ricava il tempo di corrivazione come un rapporto tra lunghezza e velocità nell'ipotesi che l'acqua viaggi alla velocità di 1 m/s;
- la formula introdotta da Giandotti, la più utilizzata in Italia deriva dall'esame del fenomeno di corrivazione.

Al fine di minimizzare gli errori comunque insiti nella stima di questo parametro si è deciso di assumere, come tempo di corrivazione, quello derivante dalla media delle formulazioni indicate quando esse danno risultati simili fra loro e adottare invece i valori più piccoli quando la diversità dei valori ottenuti suggerisce la maggior cautela, fermo restando che se il rio è un tronco critico già studiato dal PAI, i valori di portata devono essere comunque prossimi o inferiori a quelli presenti nel PAI vigente.

7.5 DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

L'altezza di pioggia critica viene calcolata a partire dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, τ , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T_R .

Le curve di possibilità pluviometrica disponibili si possono esprimere secondo due differenti distribuzioni probabilistiche:

- distribuzione **Log-Normale** (Sardegna suddivisa in 4 sottozone omogenee)
- distribuzione **TCEV** (Sardegna suddivisa in 3 sottozone omogenee definizione della pioggia indice)

In entrambi i casi, la Sardegna è suddivisa in zone pluviometriche omogenee per le piogge di breve durata. Ciascuna zona, per distribuzione geografica, può rappresentare un distinto regime pluviometrico. Le curve sono state determinate per ciascun gruppo nella forma:

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

della pioggia indice.

Si descrive brevemente la procedura utilizzata per la determinazione delle curve segnalatrici di possibilità climatica valide nelle località esaminata, utilizzando i risultati in (Deidda e Piga, 1998) qui presentati in forma aggiornata. L'altezza di pioggia lorda $h_l(\tau)$ in mm di durata τ in ore e di assegnato tempo di ritorno T in anni è fornita dalla seguente relazione monomia:

$$h_l(\tau) = a\tau^n$$

La pioggia indice, definita nella distribuzione TCEV ed elemento tipico della singola stazione pluviometrica, tiene conto dell'altezza di pioggia caduta in 1 ora e consente di rappresentare direttamente le caratteristiche degli eventi meteorici per il territorio in esame; pertanto, è l'elemento che permette di scendere più in dettaglio rispetto alla semplice suddivisione in sottozone che caratterizza il metodo basato sulla distribuzione Log-Normale.

Anche in virtù di questo fatto come distribuzione probabilistica delle piogge si è adottata la **TCEV** (Two Component Extreme Value) parametrizzata secondo lo studio condotto da Deidda e Piga sulle curve di possibilità climatica in Sardegna a partire dall'analisi dei massimi annui delle piogge brevi e intense.

Di seguito si descrive il calcolo per un tempo di ritorno di T anni.

$$\bar{h}(g)$$

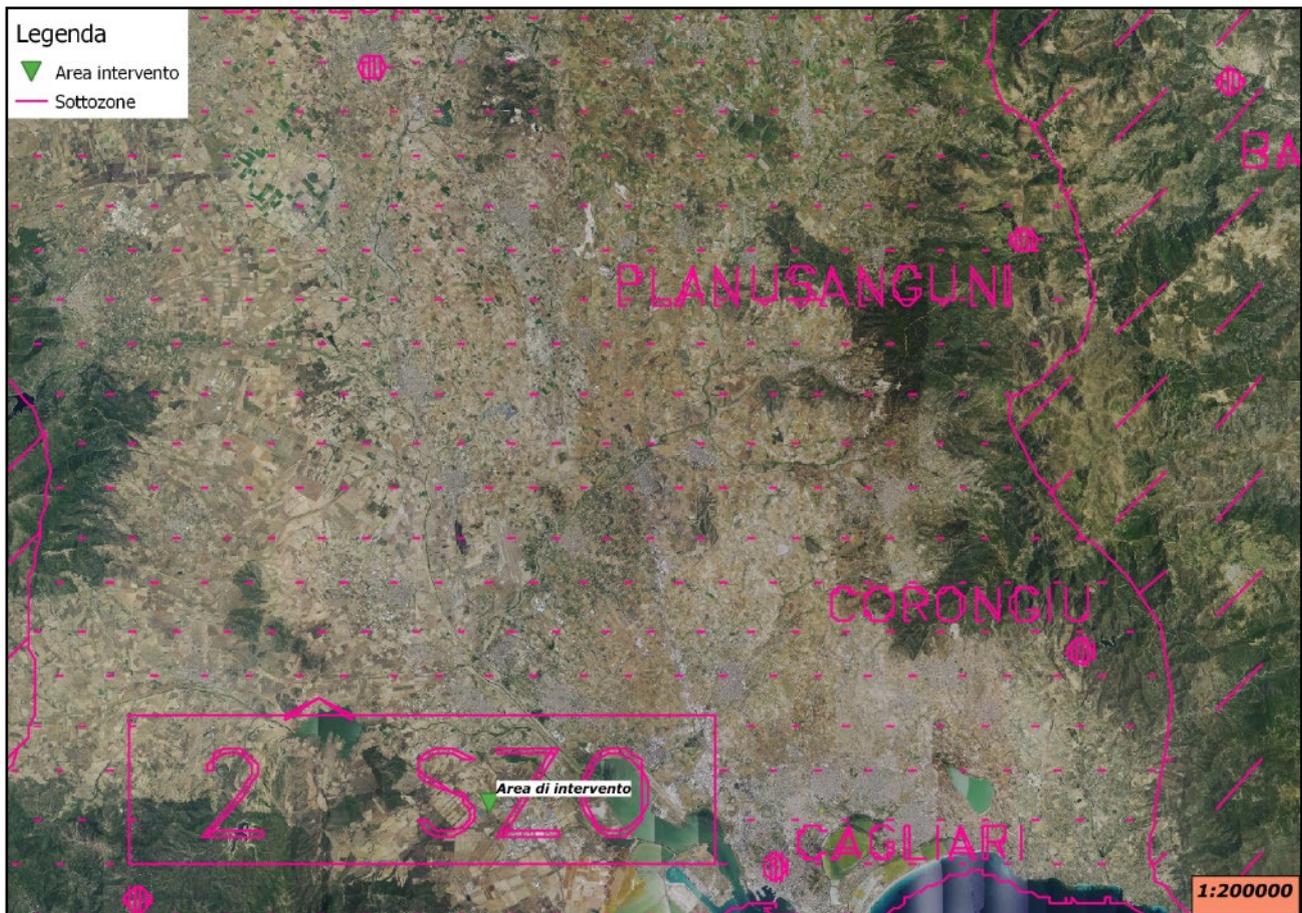


Figura 10 – Suddivisione in SZO della Sardegna.

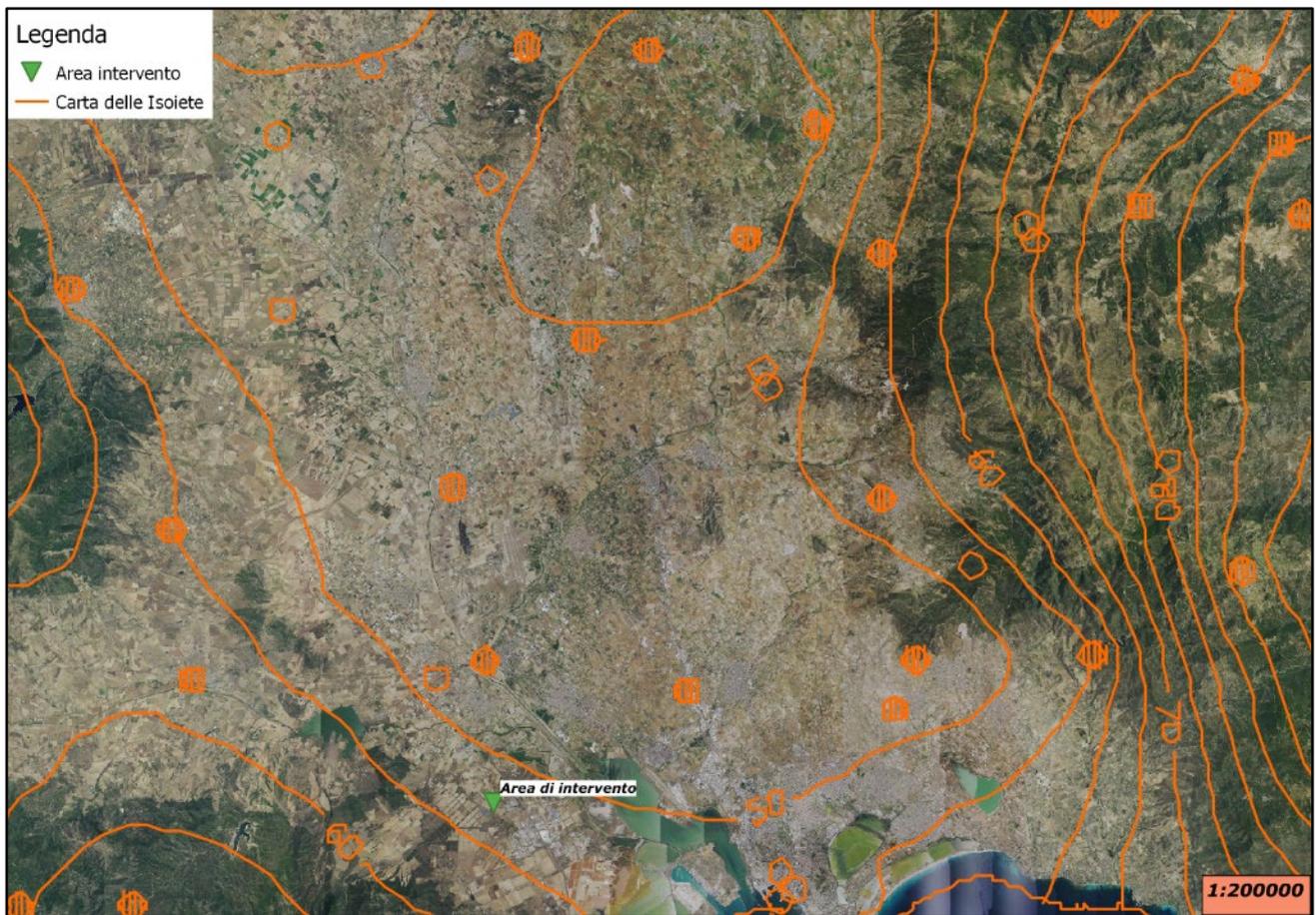


Figura 11 – Carta delle isoiete – Regione Sardegna.

Dalla pioggia indice giornaliera si ricava la **pioggia indice** o pioggia media di durata τ ,

$$\bar{h}(\tau) = \frac{\bar{h}_g}{0.886 * 24^{(-0.493+0.476 \text{Log}(\bar{h}_g))}} * \tau^{(-0.493+0.476 \text{Log}(\bar{h}_g))}$$

In questa relazione la pioggia indice va calcolata assumendo come durata quella critica

$$\Theta \equiv T_c + t_f$$

Il tempo di corrivazione è stato stimato, mentre per il tempo di formazione del deflusso superficiale si procede in modo iterativo con la formula suggerita nelle linee guida PAI:

$$t_f = \frac{I_a}{i(\Theta, r)}$$

Essendo

I_a l'assorbimento iniziale (vedi stima delle perdite SCS)

$i(\Theta, r)$ l'intensità di pioggia ragguagliata di durata critica.

Definita la pioggia indice si definisce una variabile aleatoria normalizzata:

$$h'(\tau) = \frac{h(\tau)}{\bar{h}(\tau)} = a \tau^n$$

Dove a ed n sono i parametri della curva normalizzata definiti per le tre sottozone omogenee della Sardegna (SZO) in funzione del tempo di ritorno per durate minori e maggiori di 1 ora e per tempi di ritorno maggiori o minori di 10 anni con le seguenti formule (per $T > 10$ anni):

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata > 1 ora
-----	---------------------	------------------

Sottozona 1	$a=0.46378+1.0386*\text{Log}(T)$	$a=0.46378+1.0386*\text{Log}(T)$
	$n=-0.18449+0.23032*\text{Log}(T)-3.3330*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-1.0563*10^{-2}-7.9034*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.44182+1.0817*\text{Log}(T)$	$a=0.44182+1.0817*\text{Log}(T)$
	$n=-0.18676+0.24310*\text{Log}(T)-3.5453*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-5.6593*10^{-3}-4.0872*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 3	$a=0.41273+1.1370*\text{Log}(T)$	$a=0.40926+1.1441*\text{Log}(T)$
	$n=-0.19055+0.25937*\text{Log}(T)-3.8160*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=1.5878*10^{-2}+7.6250*10^{-3}*\text{Log}(T)$

Tabella 1 Parametri della curva normalizzata.

Poiché i bacini ricadono interamente in **sottozona 2**, in funzione della durata critica e del tempo di ritorno (maggiori di 10 anni) si possono calcolare i valori di a ed n.

$$\tau \equiv \Theta$$

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

Utilizzando la relazione (2) si perviene infine a determinare l'altezza di pioggia critica relativa ad un dato T:

$$h(\Theta) = h'(\Theta)\bar{h}(\Theta)$$

Quella determinata è la pioggia **lorda** critica h con tempo di ritorno T anni, ma per stimare la portata con la formula 1 occorre la cosiddetta pioggia netta h_{netta} valutata con la formula:

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

dove:

S (in mm) è l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

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

CN Curve Number

I_a è l'assorbimento iniziale legato ad S dalla relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

$$h_{netta} = \Phi h$$

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h}$$

Il coefficiente di deflusso ϕ è il parametro che determina la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi. Esso è determinato, come il rapporto tra il volume defluito attraverso un'assegnata sezione in un definito intervallo di tempo e il volume meteorico totale precipitato nell'intervallo stesso. Il coefficiente di deflusso è valutato considerando le caratteristiche di permeabilità, e quindi, di utilizzo, delle diverse superfici presenti nell'intero bacino scolante.

Si calcola un coefficiente di ragguglio r per $\tau=\Theta$ con la relazione valida per $A < 20 \text{ km}^2$

$$r = 1 - (0.0394 A^{0.354}) \tau^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))}$$

Introducendo Φ , h , r , A e Θ nella (1) si ha infine la determinazione della portata Q relativa a quel tempo di ritorno.

Inoltre, dalla carta delle isoiete elaborate della regione Sardegna, risulta che l'area studiata è caratterizzata da un valore di pioggia indice pari a **55 mm**.

7.6 VALUTAZIONE DEL PARAMETRO CURVE NUMBER

I valori del parametro Curve Number (CN), compreso tra 0 e 100, valutano la capacità di assorbimento dei suoli in funzione delle caratteristiche dell'uso del suolo, la litologia e la permeabilità. Seguendo le procedure proposte dalla RAS, in primis, sulla base dei dati dell'uso del suolo (RAS – Carta Corine) si sono attribuiti i valori del CN(I) alle diverse tipologie di suolo ricadenti nel bacino, in seguito corretti in funzione delle caratteristiche geologiche (Δ CN), ed eseguendo una media pesata rispetto all'area dei diversi valori considerati si ottiene il CN(II); in ultimo, applicando la specifica relazione:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

si è ottenuto il parametro CN corretto.

Lo studio proposto dalla RAS ha analizzato le diverse classi in considerazione degli aspetti geologici preminenti e delle caratteristiche di permeabilità, cui sono stati attribuiti i coefficienti di variazione (Δ CN) corrispondenti ad ogni tipo litologico.

I coefficienti di variazione del Curve Number sono assunti nell'intervallo di valori (- 5, +15): un coefficiente di variazione pari a - 5 è tipico dei terreni incoerenti ad elevata capacità di infiltrazione, mentre un valore +15 è proprio di rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili.

7.7 SEZIONI DI CONTROLLO E BACINI IDROGRAFICI

Stabilita la metodologia per il calcolo della portata occorre definire i bacini e le sezioni di controllo rispetto alle quali valutare le portate.

Uno schema dei bacini considerati è riportato nell'apposita tavola dei bacini idrografici in allegato. Ciò premesso, i bacini analizzati sono riportati nel seguente schema:

LEGENDA	
1 Fiume 17753	
	1.a 092090_CANALE_18710
	1.b CANALE_144
	1.c 092090_FIUME_15502

considerando le sezioni di controllo, in totale sono stati analizzati 3 bacini/sub bacini.

Per ciascun bacino/sub-bacino si sono valutate le portate corrispondenti ai 4 tempi di ritorno applicando il metodo indiretto basato sulla formula razionale.

Nel seguito si descriverà il calcolo idrologico per ognuno dei 3 bacini/sub-bacini.

8. ANALISI IDROLOGICA DEI BACINI/SUB-BACINI OGGETTO DI STUDIO

8.1 BACINO FIUME 17753

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

i_i la pendenza del tratto di asta di lunghezza l_i compresa tra due curve di livello.

Si riporta in tabella la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

BACINO Fiume 17753	
SUPERFICIE (kmq)	6.15
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	7.46
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0.0279
PENDENZA MEDIA BACINO	0.0345
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	64.1
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	12.61

Tabella 2 Parametri di bacino.

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente, l'utilizzo congiunto dei valori estrapolati dalla carta dell'uso del suolo, e della litologia/geologia dell'area, porta ad attribuire al bacino un valore di **CN= 57. Di conseguenza si ottiene, un valore del CN III pari a 78.**

Tuttavia, in via precauzionale, si decide di assumere il CNIII pari a 83, aggiungendo quindi arbitrariamente un +5. Tale valore verrà utilizzato anche nell'analisi dei sub bacini, anche se caratterizzati da un CN di base inferiore a 57.

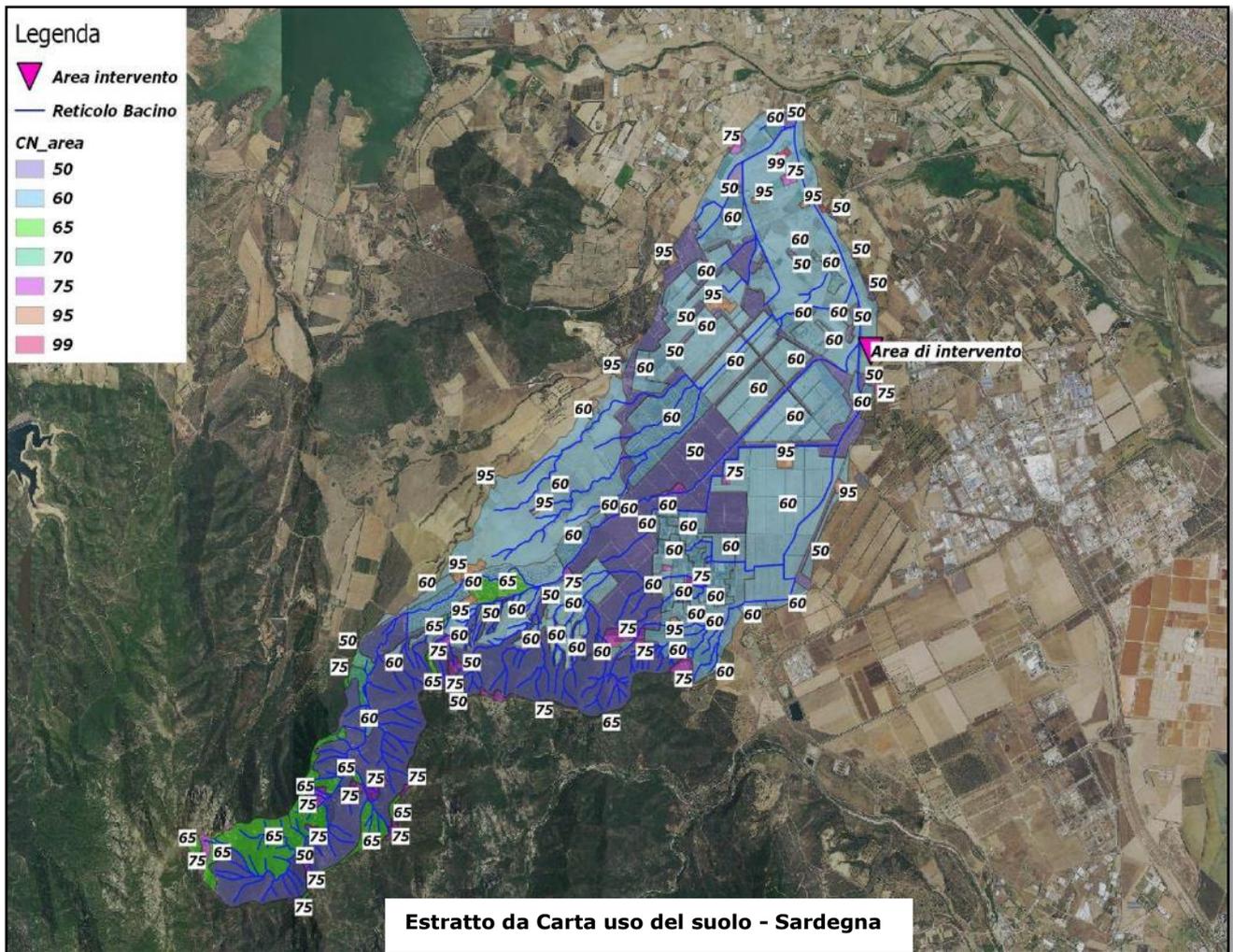
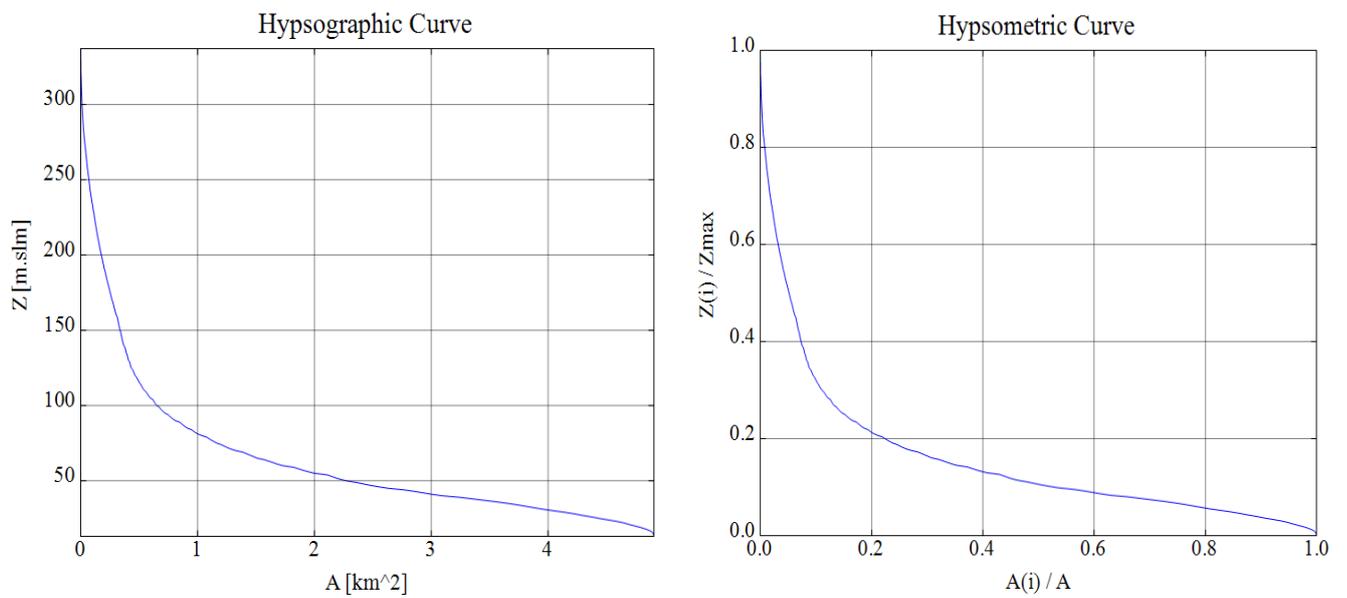
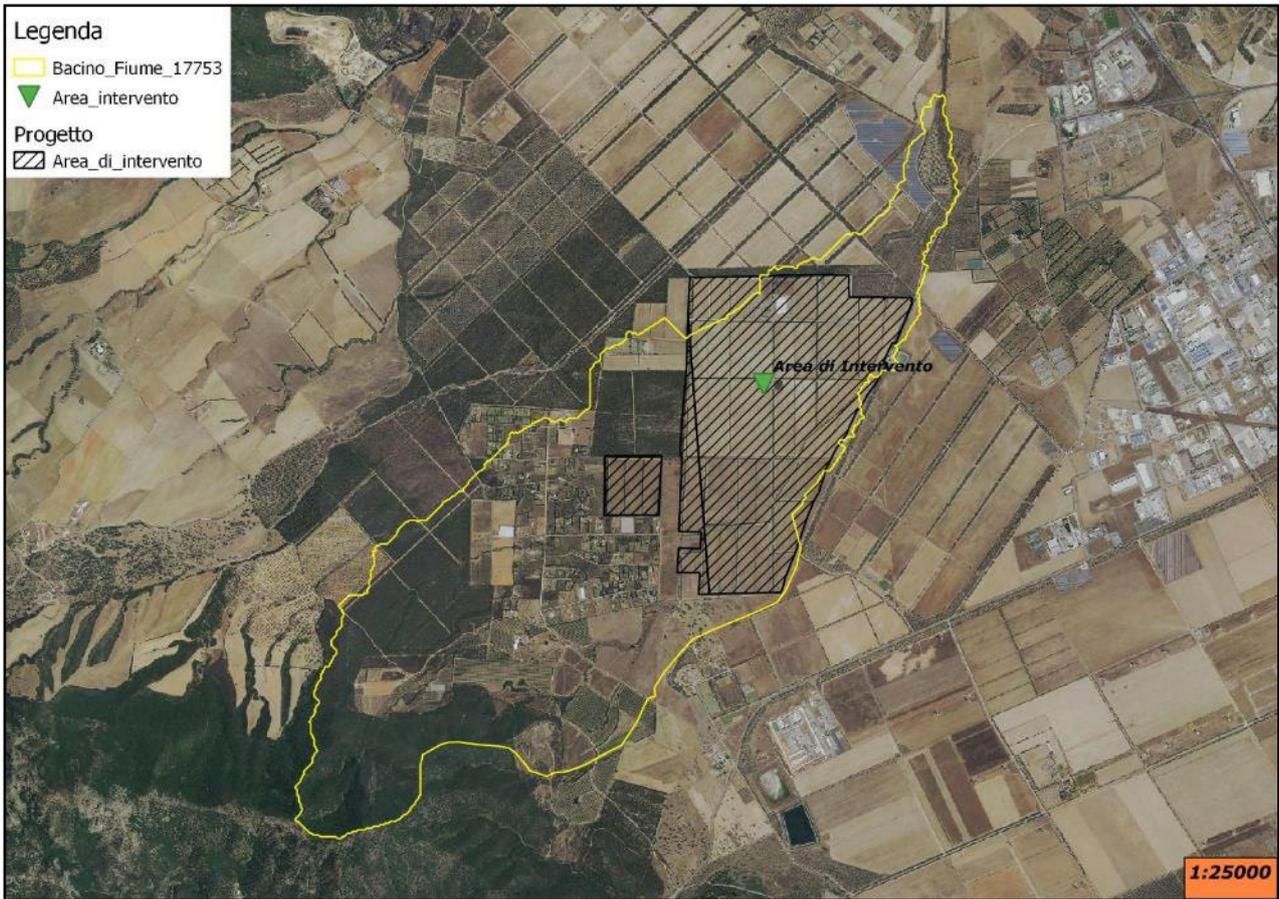


Figura 11 – Estratto da Carta del suolo – Regione Sardegna.





8.1.1 Tempo di corrivazione

Come suggeriscono le linee Guida PAI può essere valutato con alcune formule empiriche:

FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0,127 \left(\frac{A}{i_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [ore]$$

dove:

A è l'area del bacino in Km^2

i_m pendenza media dell'asta principale.

$$TC = 1.89$$

FORMULA DI PASINI

$$T_c = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_m^{\frac{1}{2}}} \quad [ore]$$

dove:

A è l'area del bacino in km^2

i_m pendenza media dell'asta principale

L è la lunghezza dell'asta principale in km

$$TC = 2.31 \text{ ore}$$

FORMULA DI VIPARELLI

$$T_c = \frac{L}{(1 \div 1,5) \cdot 3,6} \quad [\text{ore}]$$

dove :

L è la lunghezza dell'asta principale in km
1-1,5 è la velocità media della corrente in m/s

posto $V=1.0$ m/s si ha:

$$TC = 2.07$$

FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

A è l'area del bacino in km^2
H_m altitudine media del bacino m slm
H_o altitudine della sezione di chiusura m slm
L è la lunghezza dell'asta principale in km

$$TC = 3.68$$

FORMULA DI SOIL CONSERVATION SERVICE

$$t_c = 0.57 \frac{100 * L_p^{0.8} * \left(\frac{100}{CN} - 9\right)^{0.7}}{\sqrt{P_b}}$$

dove :

L_p è la lunghezza asta principale
CN CURVE NUMBER
P_b pendenza media del bacino

$$TC = 3.34$$

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo di corrvazione, una media tra i valori maggiormente attinenti:

$$TC = 2.72$$

8.1.2 Portate

Utilizzando come tempo di corrvazione SCS ed avendo come **pioggia indice giornaliera 55.00 mm**, si ottiene infine:

TABELLA		5 Bacino_Fiume_17753				F								
CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE														
BACINO				ASTA FLUVIALE		PARAMETRI								
AREA	ALTEZZA CHIUSURA	ALTEZZA MEDIA	PENDENZA MEDIA	LUNGHEZZA	PENDENZA	CN AMC III	S	Pa' Sirchia	T C E V hg media	T C E V sotto zona	LOG NORM gruppo			
(Km ²)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)		(Km)		(mm)								
6.150	12.61	64.1	0.0345	7.46	0.0279	83.0	52.024	0.7	50	2	3			
TEMPI DI CORRIVAZIONE						TCEV LOG NORMALE								
(ore)		T. RITORNO			Tf (*)		Tc+Tf (**)		Ψ		h(Tc+Tf)		hn	
SCS	3.34	(anni)	(ore)	(ore)	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)			
Glandotti	3.68	50	0.5264	3.2454	0.43		64.2		27.3		0.00		0	
Pasini	2.31	100	0.4542	3.1733	0.47		72.7		33.9		0.00		0	
Viparelli	2.07	200	0.3996	3.1187	0.50		81.2		40.8		0.00		0	
Ventura	1.89	500	0.3449	3.0639	0.54		92.4		50.2		0.00		0	
V A P I	3.02													
Kirpich	1.24													
VALORE STIMATO	2.72													
(*) tempo di formazione del deflusso superficiale														
(**) durata di pioggia critica somma dei tempi di corrivazione e di formazione del deflusso sup.														
PORTATE DI PIENA														
TEMPI DI RITORNO (anni):	50	100	200	500										
METODI DIRETTI (analisi regionale)					LIMITI DI VALIDITA'									
LOG NORMALE	11.53	15.21	19.89	26.64	(m ³ /s)	S*Hm= 3.9E+08		(deve essere > 5E+09)						
METODI INDIRETTI														
T C E V	14.38	18.27	22.36	27.99	(m ³ /s)									
SIRCHIA	162.64	162.64	162.64	162.64	(m ³ /s)									
SIRCHIA MODIFICATO	125.23	144.75	164.26	190.28	(m ³ /s)									
LOG NORMALE	0.00	0.00	0.00	0.00	(m ³ /s)									
PORTATA DI PROGETTO	14.38	18.27	22.36	27.99	(m ³ /s)									

8.2 BACINO 092090_FIUME_18710

Relativamente ai sottobacini, per brevità, verrà riportata la tabella rappresentante i parametri di interesse senza l'ausilio della trattazione teorica vista prima.



TABELLA 4		Bacino_Fiume_18710				F					
CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE											
BACINO				ASTA FLUVIALE		PARAMETRI					
AREA	ALTEZZA CHIUSURA	ALTEZZA MEDIA	PENDENZA MEDIA	LUNGHEZZA	PENDENZA	CN AMC III	S	Pa' Sirchia	T C E V hg media	T C E V sotto zona	LOG NORM gruppo
(Kmq)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)		(Km)					(mm)		
3.000	25	66	0.0320	5.5	0.0300	83.0	52.024	0.7	55	2	3
TEMPI DI CORRIVAZIONE											
(ore)		T. RITORNO			TCEV			LOG NORMALE			
SCS	2.72	(anni)	Tf (*)	Tc+Tf (**)	Ψ	h(Tc+Tf)	hn	Ψ	h(Tc+Tf)	hn	
Giandotti	2.96	(ore)	(ore)	(ore)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	
Pasini	1.59	50	0.4158	2.5151	0.42	62.9	26.4	0.00	0	0	
Viparelli	1.53	100	0.3588	2.4581	0.46	71.3	32.8	0.00	0	0	
Ventura	1.27	200	0.3155	2.4148	0.50	79.6	39.5	0.00	0	0	
V A P I	2.53	500	0.2722	2.3715	0.54	90.6	48.7	0.00	0	0	
Kirpich	0.95										
VALORE STIMATO	2.10										
(*) tempo di formazione del deflusso superficiale											
(**) durata di pioggia critica somma dei tempi di corrivazione e di formazione del deflusso sup.											
PORTATE DI PIENA											
TEMPI DI RITORNO (anni):	50	100	200	500							
METODI DIRETTI (analisi regionale)								LIMITI DI VALIDITA'			
LOG NORMALE	6.90	9.10	11.72	15.94	S*Hm= 2.0E+08		(deve essere > 5E+09)				
METODI INDIRETTI											
T C E V	8.74	11.13	13.64	17.11							
SIRCHIA	85.61	85.61	85.61	85.61							
SIRCHIA MODIFICATO	65.92	76.19	86.46	100.16							
LOG NORMALE	0.00	0.00	0.00	0.00							
PORTATA DI PROGETTO	8.74	11.13	13.64	17.11							

8.3 BACINO CANALE 144

Relativamente ai sottobacini, per brevità, verrà riportata la tabella rappresentante i parametri di interesse

senza l'ausilio della trattazione teorica vista prima.

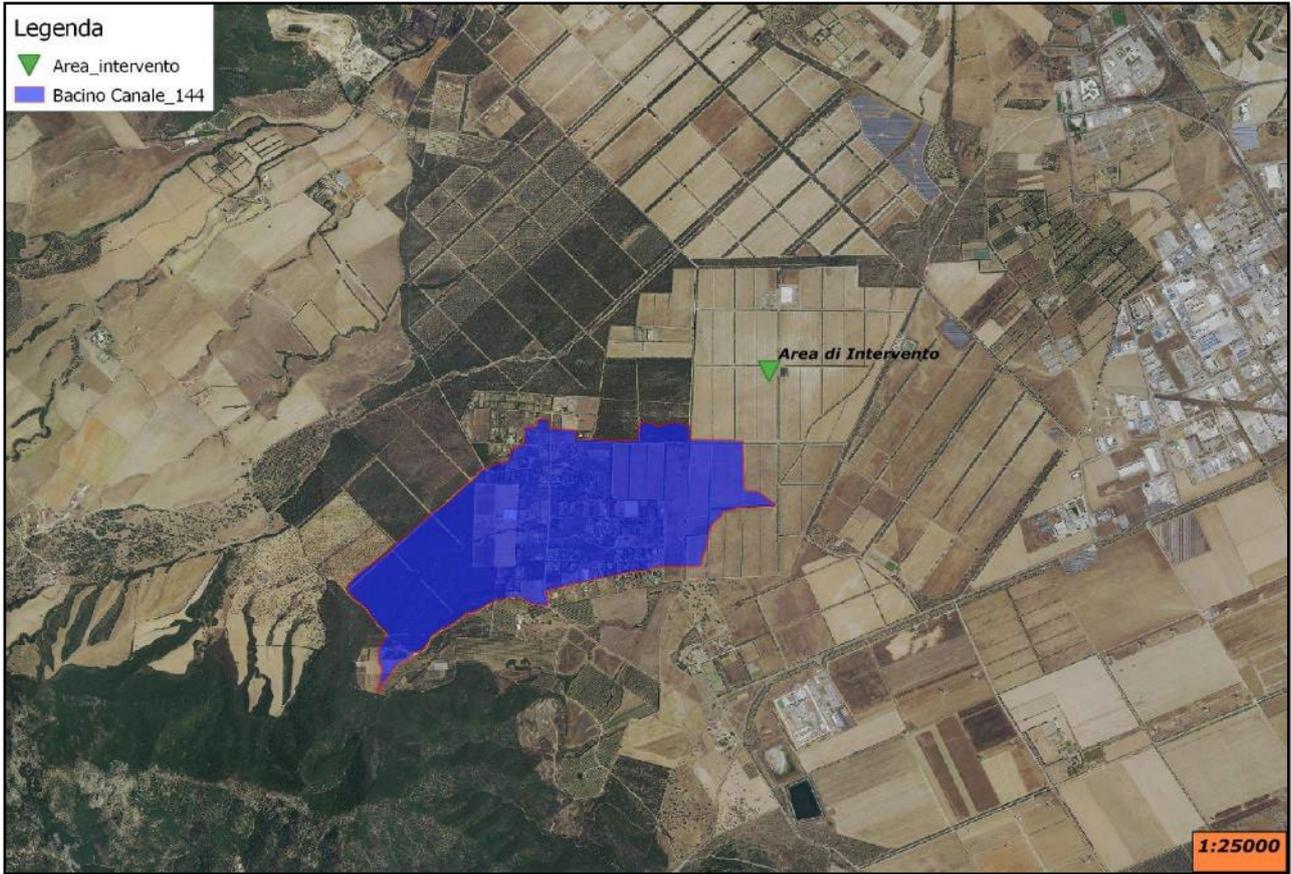


TABELLA 3		Bacino_Canale144				C					
CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE											
BACINO				ASTA FLUVIALE		PARAMETRI					
AREA	ALTEZZA CHIUSURA	ALTEZZA MEDIA	PENDENZA MEDIA	LUNGHEZZA	PENDENZA	CN AMC III	S	Pa' Sirchia	TCEV hg media	TCEV sotto zona	LOG NORM gruppo
(Km ²)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)		(Km)					(mm)		
1.750	37.16	58.5	0.0410	2.42	0.0380	83.0	52.024	0.7	55	2	3
TEMPI DI CORRIVAZIONE											
(ore)		T. RITORNO	Tf (*)	Tc+Tf (**)	TCEV			LOG NORMALE			
SCS	1.25	(anni)	(ore)	(ore)	Ψ	h(Tc+Tf)	hn	Ψ	h(Tc+Tf)	hn	
Giandotti	2.41				(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Pasini	0.90	50	0.3130	1.6636	0.38	55.2	20.7	0.00	0	0	
Viparelli	0.67	100	0.2692	1.6198	0.42	62.4	26.0	0.00	0	0	
Ventura	0.86	200	0.2362	1.5867	0.45	69.7	31.6	0.00	0	0	
V A P I	2.01	500	0.2032	1.5538	0.50	79.3	39.3	0.00	0	0	
Kirpich	0.46										
VALORE STIMATO	1.35										
(*) tempo di formazione del deflusso superficiale											
(**) durata di pioggia critica somma dei tempi di corrivazione e di formazione del deflusso sup.											
PORTATE DI PIENA											
TEMPI DI RITORNO (anni):	50	100	200	500							
METODI DIRETTI (analisi regionale)								LIMITI DI VALIDITA'			
LOG NORMALE	4.22	5.56	7.17	9.74	S*Hm= 1.0E+08 (deve essere > 5E+09)						
METODI INDIRECTI											
TCEV	6.05	7.81	9.68	12.29	(m/s)						
SIRCHIA	52.87	52.87	52.87	52.87	(m/s)						
SIRCHIA MODIFICATO	40.71	47.06	53.40	61.86	(m/s)						
LOG NORMALE	0.00	0.00	0.00	0.00	(m/s)						
PORTATA DI PROGETTO	6.05	7.81	9.68	12.29	(m/s)						

8.4 BACINO FIUME 15502

senza l'ausilio della trattazione teorica vista prima.

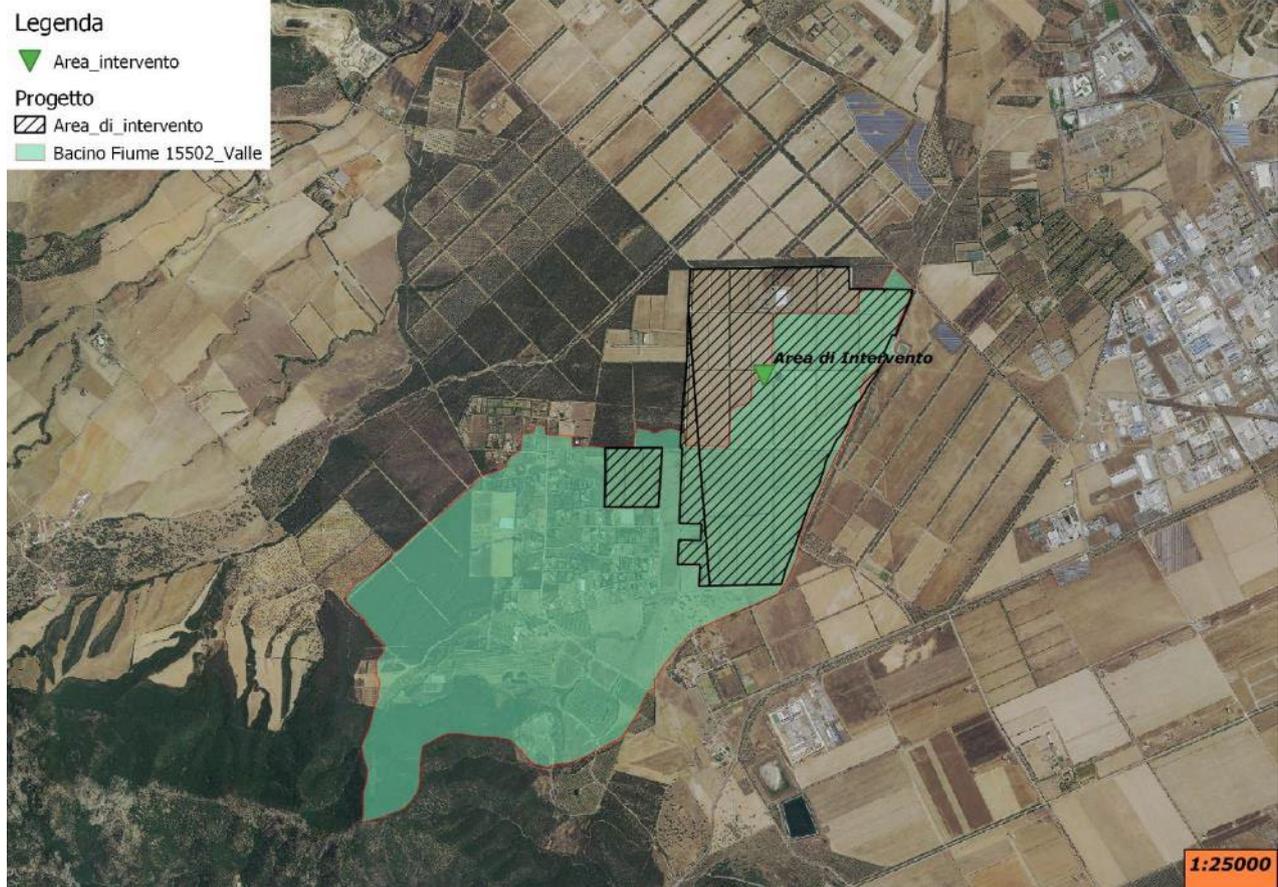


TABELLA 1 Bacino_Fiume15502_Valle F

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE

BACINO				ASTA FLUVIALE		PARAMETRI					
AREA	ALTEZZA CHIUSURA	ALTEZZA MEDIA	PENDENZA MEDIA	LUNGHEZZA	PENDENZA	CN AMC III	S	Pa' Sirchia	TCEV hg media	TCEV sotto zona	LOG NORM gruppo
(Kmq)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)		(Km)					(mm)		
4.300	21.83	71.67	0.0397	6.11	0.0336	83.0	52.024	0.7	55	2	3

TEMPI DI CORRIVAZIONE

(ore)		T. RITORNO	Tf (*)	Tc+Tf (**)
SCS		(anni)	(ore)	(ore)
Glandotti	3.09	50	0.4339	2.6599
Pasini	1.75	100	0.3745	2.6005
Viparelli	1.70	200	0.3295	2.5554
Ventura	1.44	500	0.2843	2.5103
V A P I	2.72			
Kirpich	0.99			
VALORE STIMATO	2.23			

TCEV			LOG NORMALE		
Ψ	h(Tc+Tf)	hn	Ψ	h(Tc+Tf)	hn
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)
0.42	63.8	27.0	0.00	0	0
0.46	72.2	33.6	0.00	0	0
0.50	80.7	40.4	0.00	0	0
0.54	91.9	49.7	0.00	0	0

(*) tempo di formazione del deflusso superficiale
(**) durata di pioggia critica somma dei tempi di corrivazione e di formazione del deflusso sup.

PORTATE DI PIENA

TEMPI DI RITORNO (anni):	50	100	200	500
--------------------------	----	-----	-----	-----

METODI DIRETTI (analisi regionale)

LOG NORMALE	9.59	12.66	16.31	22.17
-------------	------	-------	-------	-------

LIMITI DI VALIDITA'

S*Hm= 3.1E+08 (deve essere > 5E+09)

METODI INDIRETTI

TCEV	12.14	15.43	18.88	23.65
SIRCHIA	118.11	118.11	118.11	118.11
SIRCHIA MODIFICATO	90.94	105.12	119.29	138.19
LOG NORMALE	0.00	0.00	0.00	0.00
PORTATA DI PROGETTO	12.14	15.43	18.88	23.65

9. ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica dell'asta fluviale e dell'area di allagamento compresa tra le sezioni in cui ricade l'intervento, è stata desunta dall'apposito studio idraulico redatto per il **Fiume 17735** e affluenti.

In particolare è stato desunto che tutta l'area oggetto di intervento in destra all'alveo principale, non viene interessata da nessun evento di piena considerato, per cui tale porzione non è soggetta a vincolo di tipo idraulico.

Tuttavia, in particolare in prossimità della confluenza tra reticoli, vi sono porzioni di territorio ricadenti in **Hi_2**, ovvero pericolosità idraulica "media".

La fase di processo delle informazioni morfometriche del sistema, come già anticipato, ha come obiettivo primario quello di individuare i principali dati da utilizzarsi per l'analisi idraulica, e precisamente:

- la definizione dell'asse del corso d'acqua;
- il tracciamento del ciglio destro e sinistro dell'alveo;
- il tracciamento delle sezioni trasversali.

Lo scopo delle analisi idrauliche è consistito nella individuazione delle aree suscettibili di essere inondate da eventi di piena caratterizzati da assegnato tempo di ritorno. Le metodiche utilizzate seguono rigorosamente quanto prescritto nelle Linee Guida del PAI.

In generale, tutte le analisi sono state condotte assumendo lo stato stazionario (moto permanente) sebbene i processi di propagazione delle onde di piena siano fenomeni di moto vario. Questa ipotesi è supportata dal fatto che le variazioni di portata nel tempo in occasione delle piene naturali non sono così rapide da rendere necessaria un'analisi in condizioni di moto vario.

Lo studio si è svolto secondo le seguenti fasi:

1. definizione della configurazione del sistema;
2. ricostruzione della geometria dell'alveo mediante rilievo e analisi dei progetti esistenti;
3. individuazione delle condizioni al contorno e implementazione della idrologia del sistema;
4. ricostruzione dei profili di corrente e calcolo dei livelli di moto permanente;
5. tracciamento delle aree di inondazione;

Ogni fase ha comportato l'analisi di studi, progetti e documenti esistenti, indagini presso enti e rilievi di campagna.

Per la modellazione si è ricostruita la geometria dell'alveo di piena mediante sezioni trasversali estese sufficientemente sino a comprendere la possibile espansione di piena; la congruità delle sezioni nei riguardi della loro effettiva capacità di rappresentare la zona di propagazione è stata analizzata mediante sopralluoghi e raffronti con immagini satellitari.

I dati topografici sono stati processati mediante il codice HEC-RAS per realizzare il modello idraulico descritto dettagliatamente più avanti.

9.1 IL MODELLO IDRAULICO

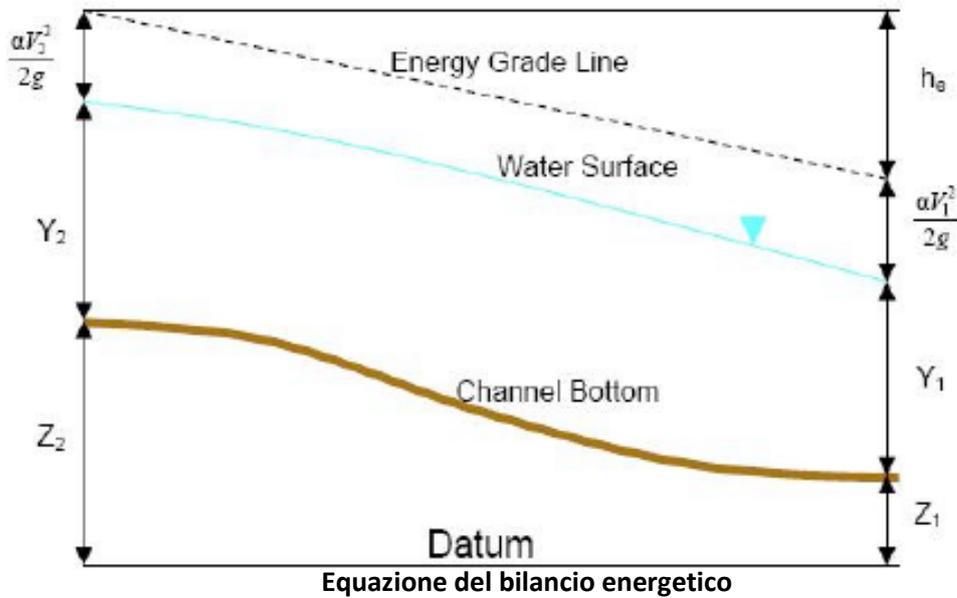
Il codice di calcolo utilizzato in questo studio, per la modellazione idraulica, denominato HEC-RAS, nella sua versione 5.0.3, è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno 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 e utilizzando tale codice. 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 che possano influenzare le caratteristiche della corrente ecc...

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:

Y_1 e Y_2 sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;

Z_1 e Z_2 sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

V_1 e V_2 sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;

α_1 e α_2 sono coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche;

h_e è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.

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

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

dove:

L è la lunghezza del tronco considerato;

\bar{S}_f è la cadente media tra le due sezioni;

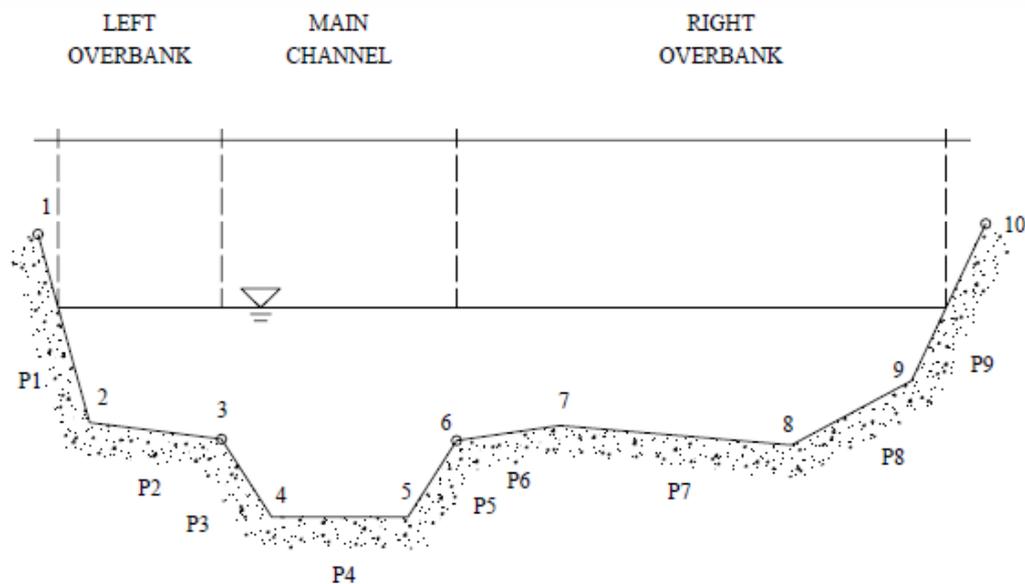
C è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione

Il primo termine rappresenta la perdita di carico totale per attrito, prodotto tra le due sezioni dalla 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 della 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.

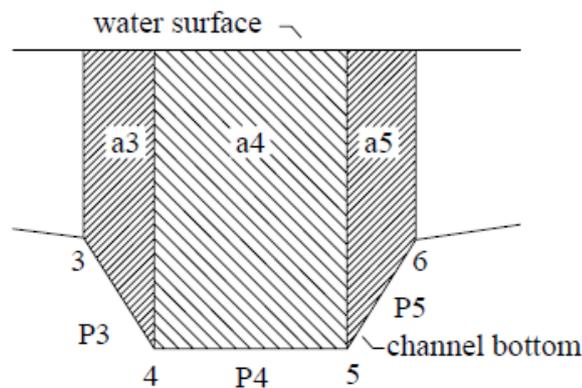
L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta e veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Ogni sezione descritta da un numero N di punti è suddivisa in tre "porzioni" (left overbank, main channel, right overbank), come illustrato in figura.



Suddivisione della sezione in tre componenti

Ogni sezione è ulteriormente suddivisa in *sub-section*, come illustrato nella figura sottostante, ad esempio l'area corrispondente al *main channel* è data dalla sommatoria delle aree delle *sub-section*, che la compongono secondo quanto riportato in figura.



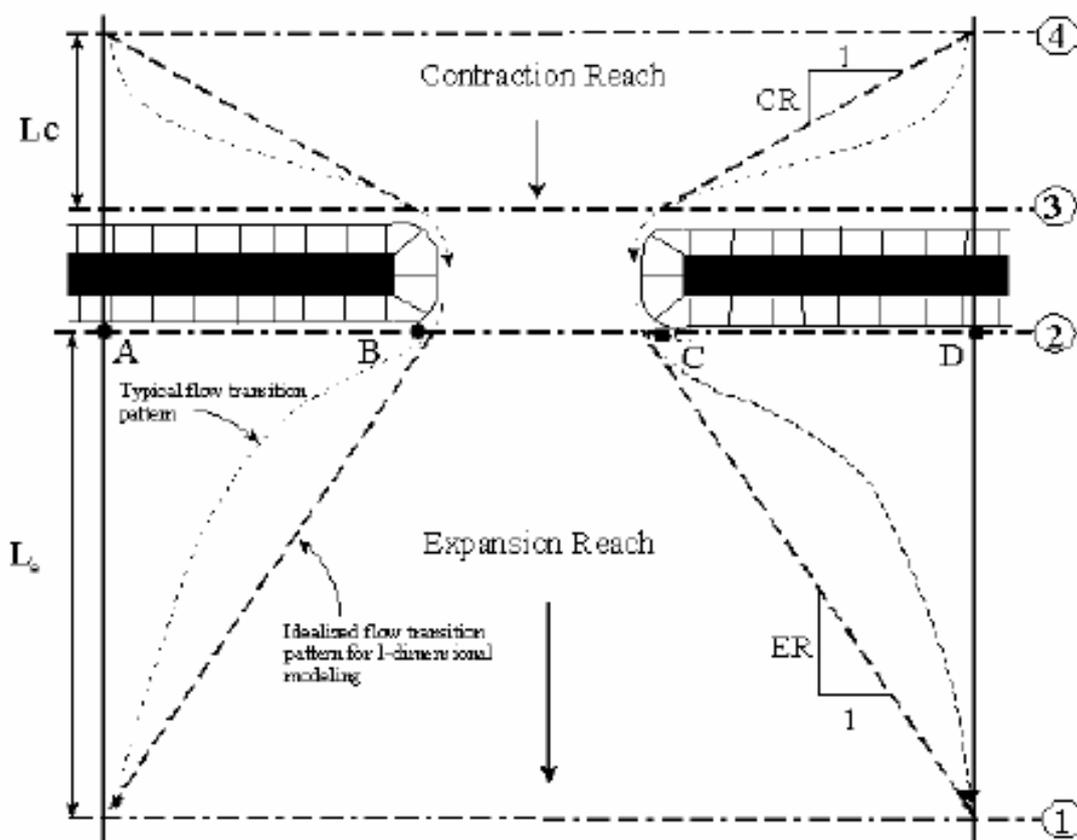
Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che 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.

Per rendere definito il problema occorre fornire 4 sezioni, due delle quali rispettivamente a monte e a valle dell'interferenza in cui siano trascurabili i fenomeni dovuti alla contrazione della corrente (sezioni 4 e 1), le altre due immediatamente a monte e a valle del manufatto (sezioni 2 e 3), in queste è necessario imporre un'area inefficace.

Geometria di un passaggio ristretto

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.



Condizioni al contorno in moto permanente

Assegnato il valore di portata di moto permanente, nel caso di corrente lenta occorre specificare una condizione al contorno di valle; viceversa, per correnti veloci, è richiesta la definizione di una condizione al contorno di monte. Per un regime misto, invece, si rende necessaria la specifica di entrambe le condizioni, ovvero a monte e a valle. HEC-RAS ammette la definizione delle condizioni al contorno attraverso la specifica di un valore di altezza assegnato, oppure imponendo il passaggio del profilo per l'altezza critica, oppure per l'altezza di moto uniforme.

9.2 SCHEMATIZZAZIONE DELLE SEZIONI

Il modello di simulazione richiede che venga definita la geometria di un certo numero di sezioni di calcolo su cui si andranno a calcolare i livelli idrici nelle diverse condizioni di portata.

Nell'apposita tavola sono indicati i tronchi critici con l'individuazione delle relative sezioni idrauliche di calcolo.

A tale scopo si è ricostruito lo sviluppo di diverse sezioni trasversali dei corsi d'acqua in studio utilizzando le informazioni cartografiche e di rilievo seguenti:

- Cartografia tecnica regionale al 10000
- **DTM 1 m**
- Sopralluoghi.

9.3 PARAMETRI DI VERIFICA

Il calcolo così come sopra descritto è stato condotto complessivamente su circa 260 sezioni rilevate o ricostruite.

Per quanto riguarda le **condizioni al contorno** ci si è posti nell'ipotesi di regime misto e pertanto si è imposta una condizione di valle e una di monte,

Precisamente:

- a monte si è imposta l'altezza critica;
- in corrispondenza delle confluenze si imputa l'altezza nota del tirante del corso principale calcolato automaticamente dal software;
- per la condizione al contorno di valle si impone sempre l'altezza critica.

La caratterizzazione delle **resistenze idrauliche** dell'alveo e delle aree limitrofe è stata effettuata assumendo opportuni valori del coefficiente di Manning o di Strickler secondo quanto riportato in letteratura (Open-Channel Hydraulics, V. T. Chow).

I coefficienti di scabrezza sono stati attribuiti a tratti omogenei d'alveo e di golenia riconosciuti attraverso fotografie aeree e ricognizioni sul posto.

In particolare si è adottato un coefficiente di Manning **0.033** per le aree golenali, e **0.022** per l'alveo inciso e le aree urbane.

Infine si è posto pari a **0.1** il **coefficiente di contrazione** e **0.3 quello di espansione**, tipici di transizione graduale fra le sezioni, anche quando in pratica la sezione rimane costante, come nel caso dei tratti regolarizzati.

Come **input idrologico**, si è deciso di assumere le portate indicate nel suddetto studio e precedentemente riportate.

Come **output** la procedura descritta ha consentito il calcolo, per ogni sezione, della quota dei livelli idrici corrispondenti alle portate assegnate, nonché tutti i parametri idraulici relativi al profilo di corrente, riprodotti in forma tabellare nei **report** di analisi che riportano i risultati delle verifiche (Elaborato B2).

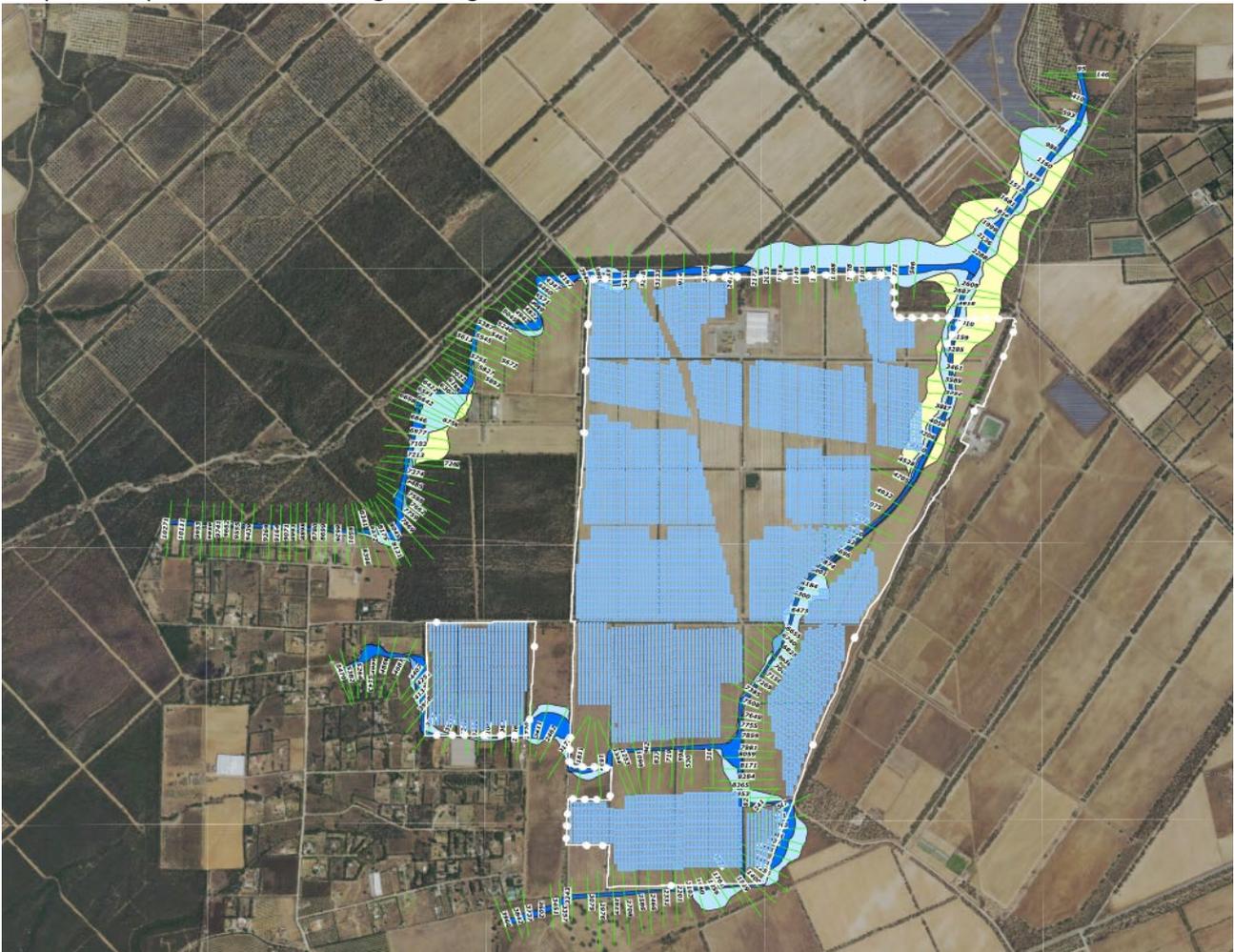
In particolare, i dati numerici forniti dal calcolo sono:

1. la quota minima dell'alveo (linea di thalweg) in m s.l.m. indicata come quota fondo;
2. la quota del pelo libero, in m s.l.m.;
3. la velocità media in alveo in m/s;
4. il numero di Froude.

Sezioni Hec Ras libero, riportate planimetricamente nel transetto esteso delle sezioni significative
Aree_Hi per costruiti sul DTM 1 m hanno consentito di individuare l'involuppo delle superfici
Hi1 e, produce un file dati specifico per la rappresentazione planimetrica, contenente
Hi3 i di quota della corrente nelle sezioni di calcolo nonché le coordinate dei punti
Hi4 ro nel sistema geografico di riferimento che possono essere utilizzate in ambiente GIS
per la mappatura delle aree.

Confrontando i tiranti idrici corrispondenti alle portate relative ai diversi tempi di ritorno, per tutti i corsi d'acqua studiati si vede che per alcuni tratti, vi sono differenze piuttosto irrilevanti passando dalla piena relativa ai 50 a quella dei 200 anni; pertanto, anche in relazione agli aspetti orografici e altimetrici dell'area oggetto di studio, si è optato per estendere (limitatamente alle piene contenute in alveo, le aree a pericolosità Hi4 fino all'Hi2) posto che le altre aree, corrispondenti a eventi meno frequenti e quindi meno pericolosi, avrebbero comunque una analoga estensione.

Si riporta, la planimetria di dettaglio raffigurante le zone ricadenti in area a pericolosità idraulica.



Come sopra esplicitato, vi sono delle porzioni di pannelli, ricadenti in Hi2.

In allegato alla presente relazione (Allegato C) vengono forniti i risultati della modellizzazione idraulica, sotto forma di.

- sezioni dell'asta analizzata che riportano i tiranti idrici di tutti gli eventi di piena studiati;
- profilo longitudinale dell'alveo e della corrente;
- planimetria.

10. VALUTAZIONE COMPLESSIVA DELL'INTERVENTO, COMPATIBILITÀ CON LE NORME DEL P.A.I. E SUA FATTIBILITÀ

La richiesta di autorizzazione alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico rientrava in area sottoposta al vincolo dettato dall'art.30 ter relativo alla fasce di prima salvaguardia.

A seguito dello studio condotto, si è attestato che gran parte dell'area oggetto di intervento non è interessata da pericolosità idraulica e/o da frana. Tuttavia, permangono porzioni di impianto ricadenti in aree a pericolosità idraulica media, Hi2.

L'intervento è quindi regolamentato dall'art. 29 comma 2 lettera "f" che indica *"le nuove costruzioni, le nuove attrezzature e i nuovi impianti previsti dagli strumenti urbanistici"* tra gli interventi permessi.

Contestualmente all'installazione dell'impianto fotovoltaico si prevede la realizzazione di una recinzione, a protezione dei lotti di terreno interessati, in rete metallica di tipo *"a maglia romboidale"* 50 x 50 mm plastificata di colore verde, che ricadrà in parte in Hi4.

L'intervento relativo alla recinzione è regolamentato dall'art.27 comma 2 lettera "l" che include *"le opere di sistemazione e manutenzione di superfici inedificate o scoperte di edifici, compresi rampe di accesso, recinzioni, muri a secco, contenimenti in pietrame, terrazzamenti, siepi, impianti a verde, ergole e coperture;"* tra gli interventi permessi.

La compatibilità idraulica dell'intervento, per le aree soggette a vincolo, è stata valutata confrontando i livelli idrici delle piene di riferimento, con le condizioni al contorno del sito in cui deve realizzarsi l'intervento.

La fascia di prima salvaguardia era determinata dalla presenza dei seguenti corsi d'acqua

➤ **FIUME17753** di ordine di Straheler 4 (ampiezza fascia di prima salvaguardia 75 m)

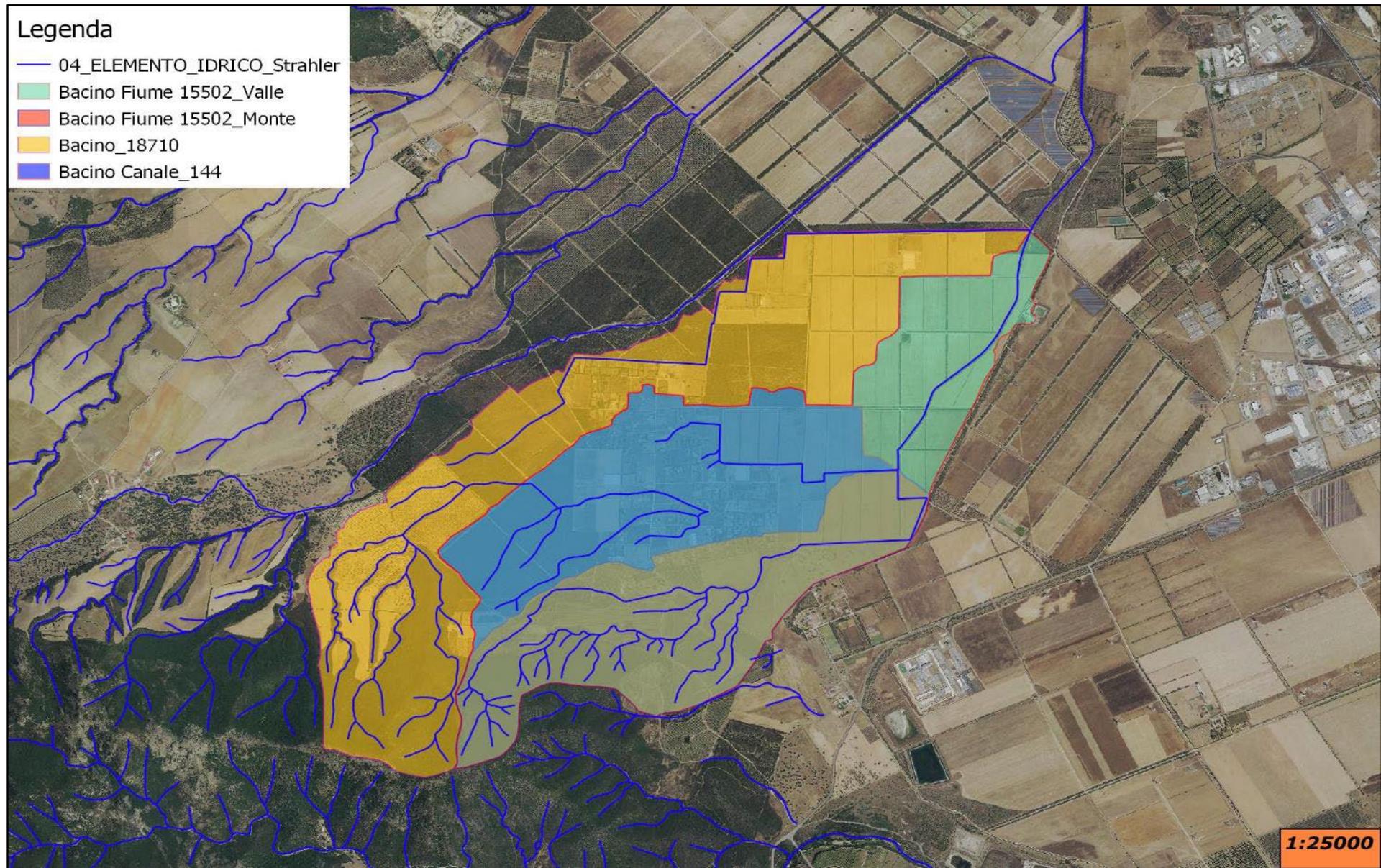
Sulla base dello studio condotto ed in seguito alle verifiche effettuate, considerando la situazione ante e post-intervento, sulla realizzazione dell'opera, si può affermare quanto segue:

- ✓ *non aumenta il livello di pericolosità idraulica e di rischio poiché l'opera non comporta variazioni nell'assetto idraulico e nel dissesto idraulico, senza variare la permeabilità e la risposta idrologica della stessa area;*
- ✓ *non preclude la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio dalle aree limitrofe;*
- ✓ *non presenta una vulnerabilità tale da renderlo inadeguato rispetto alle finalità per il quale è stato progettato;*
- ✓ *garantisce condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, in quanto i lavori si svolgeranno senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;*
- ✓ *l'intervento è coerente con gli strumenti urbanistici vigenti.*

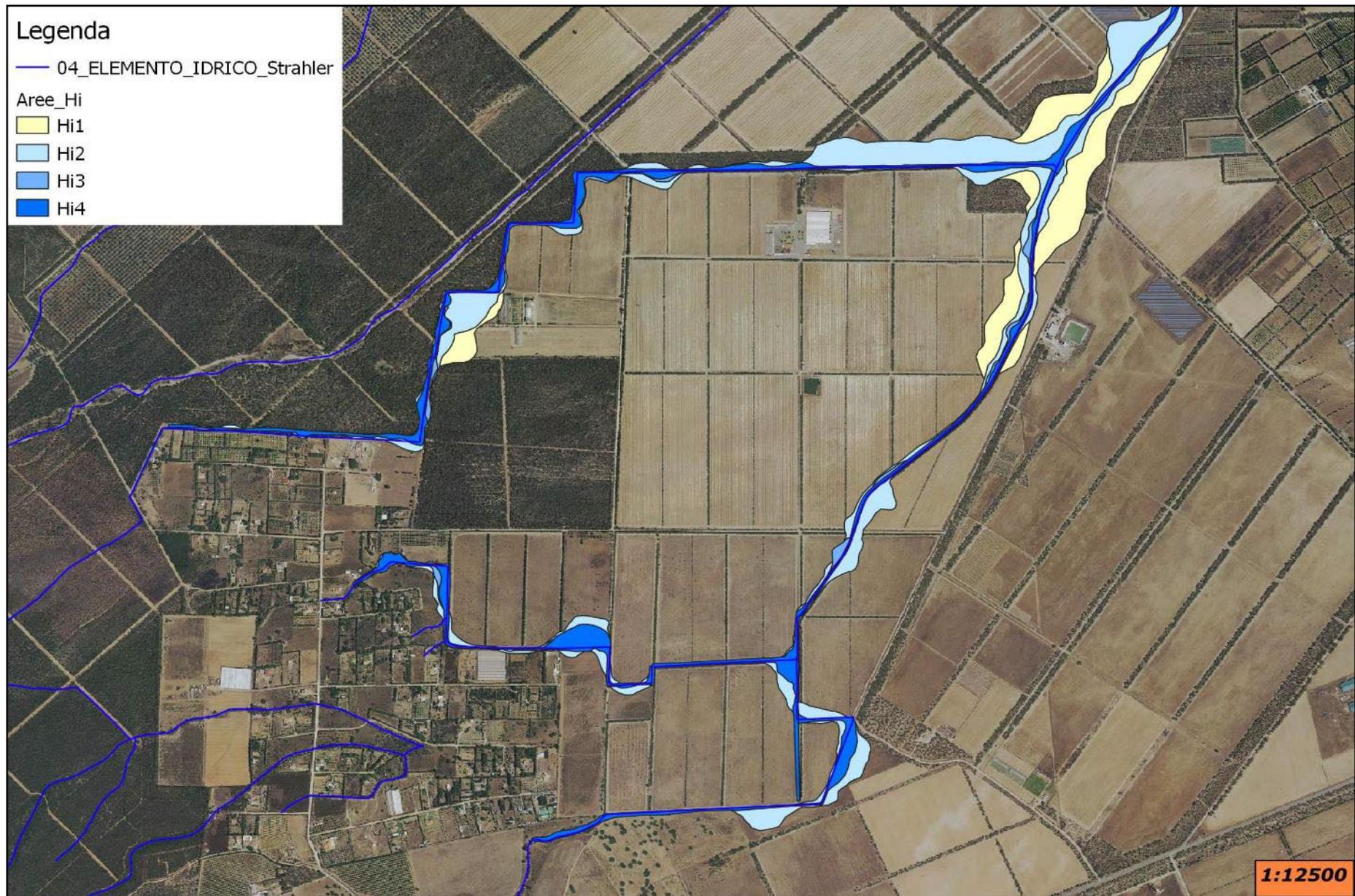
Le opere di che trattasi non determinano alcuna variazione del grado di pericolosità e/o di rischio rispetto alla situazione esistente, per tali ragioni non si prevedono misure di mitigazione e/o compensazione.

Per quanto sopra esposto e sulla base delle risultanze dello studio condotto possiamo affermare che l'intervento in progetto è compatibile con lo stato dei luoghi e con le norme e prescrizioni del PAI Sardegna.

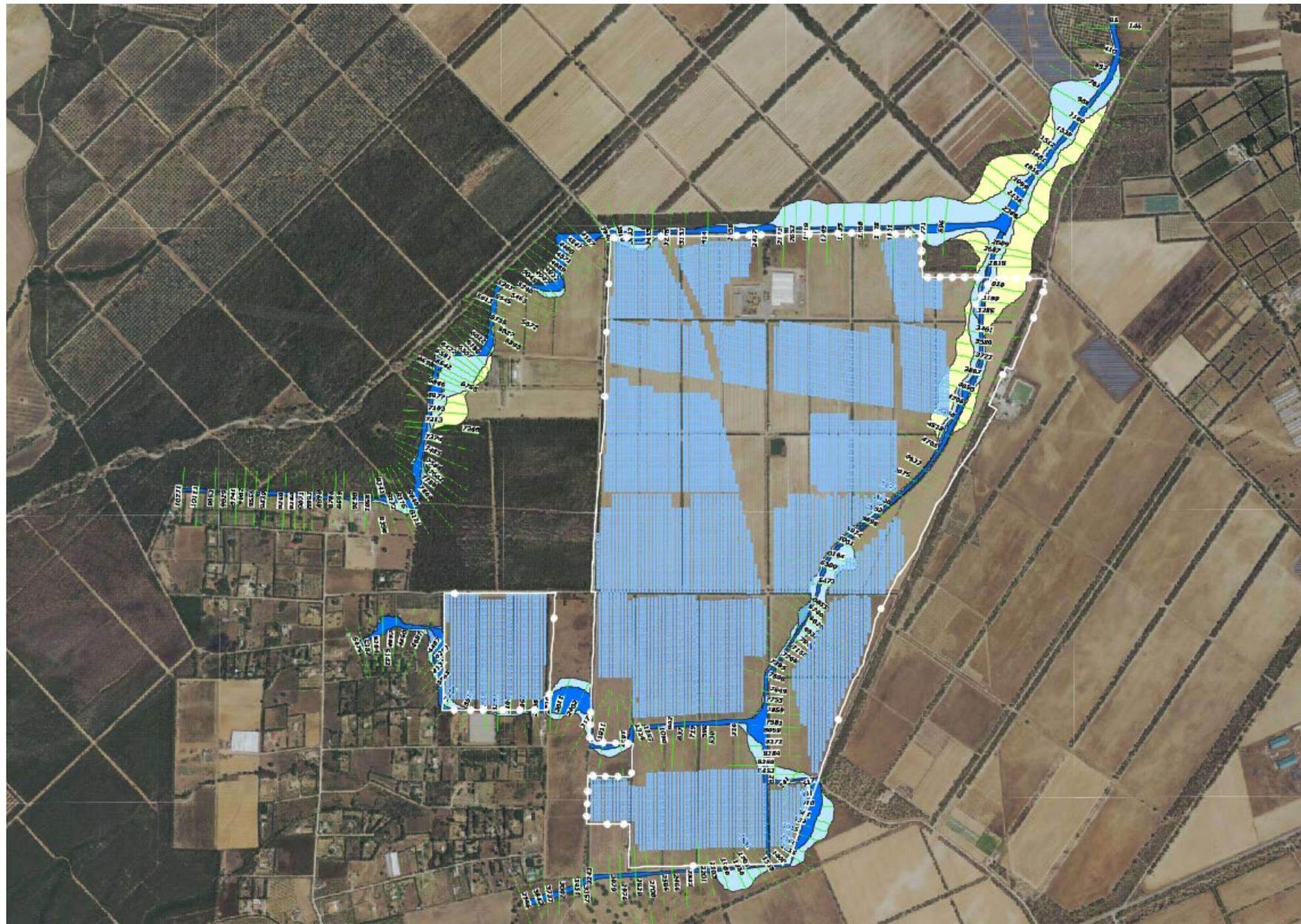
ALLEGATO A – TAVOLA DEI SUB BACINI



ALLEGATO B – TAVOLA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA



ALLEGATO C – LAYOUT PROGETTO E MODELLO IDRAULICO



11. PIANO DI MANUTENZIONE

Il piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti rappresenta il documento complementare al progetto degli interventi che prevede, pianifica e programma le procedure dell'attività di manutenzione al fine di mantenere nel tempo la funzionalità dell'intervento, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico dei vari manufatti.

Poiché l'intervento di che trattasi non influenza il grado di pericolosità e/o di rischio dell'area interessata ai fenomeni di allagabilità, non si ritiene opportuno supportare la progettazione del piano di manutenzione delle opere previsto dall'Allegato E alle NTA del PAI Sardegna.

Sarà cura del committente attuare gli interventi di manutenzione necessari al mantenimento nel tempo della corretta funzionalità dell'edificio e delle sue caratteristiche tecniche, e della efficienza delle sue parti strutturali.

12. PIANO DI MONITORAGGIO

Per le stesse ragioni espresse per il piano di manutenzione, poiché l'intervento di che trattasi non influenza il grado di pericolosità e/o di rischio dell'area interessata ai fenomeni di allagabilità, non si ritiene opportuno supportare la progettazione del piano di monitoraggio degli interventi previsto dall'Allegato E alle NTA del PAI Sardegna.