

COMUNE DI ORISTANO
PROVINCIA DI ORISTANO



*Progetto di una lottizzazione in località "Is Colopius",
nella frazione di Donigala Fenughedu*

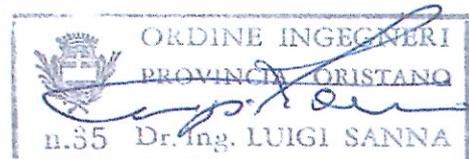


STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA
(ART. 8 C2 NTA PAI)

Responsabili dello studio:

Giovanni Mele – Geologo

Luigi Sanna – Ingegnere



INDICE

1. Introduzione

2. Delimitazione e caratterizzazione dell'area di interesse

2.1 Inquadramento territoriale e urbanistico

2.2 Inquadramento geografico e cartografico

3. Inquadramento geologico

4. Inquadramento geomorfologico

5. Inquadramento idrogeologico

6. Inquadramento climatologico

6.1 Temperatura e precipitazioni

6.2 Vento

6.3 Precipitazioni

7. Conoscenze sulla pericolosità idraulica delle aree in studio

7.1 Il Piano di Assetto Idrogeologico

7.2 Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

7.3 Previsioni del PAI e del PSFF per l'area di interesse del progetto.

8. Analisi idraulica

8.1 Metodologia di calcolo delle portate di piena

8.2 L'altezza di pioggia calcolata con la distribuzione TCEV

8.3 Il coefficiente di afflusso

8.4 Il tempo di corrivazione

8.5 Il coefficiente di deflusso nell'area di progetto

8.6 Calcolo della portata di deflusso collettore

8.7 Calcolo della portata eccedente (confronto attuale/progetto)

9. Invarianza idraulica

9.1 Calcolo del collettore

10. Conclusioni

1. Introduzione

Il territorio del Comune di Oristano, è parte del sistema della Piana del Campidano Settentrionale ed occupa un rilevante settore dell'arco del Golfo omonimo.

Nel presente studio sono stati esaminati gli aspetti di maggiore interesse ai fini del processo di progettazione di una lottizzazione da edificarsi nella frazione di Donigala Fenughedu in Oristano.

I sottoscritti professionisti sono stati incaricati di effettuare l'analisi del settore di territorio interessato dal progetto per la verifica della Pericolosità Idraulica sulla base delle NTA. del PAI

Il presente lavoro, steso in forma coerente con le N.T.A. del P.A.I., Art. 8, comma 2, riguarda l'analisi del territorio ospitante l'area di progetto ed in particolare:

- a. valuta la puntuale definizione della pericolosità idraulica nota ad una scala di dettaglio;
- b. analizza le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dei dissesti attivi o potenziali dell'area interessata;
- c. prevede eventuali misure di mitigazione e compensazione del pericolo e del rischio riscontrato;

2. Delimitazione e caratterizzazione dell'area di interesse

2.1 Inquadramento territoriale e urbanistico

L'area oggetto del presente Piano di Lottizzazione di iniziativa privata è posta in località denominata "Is Colopius" nella frazione di Donigala Fenughedu in Oristano.

I terreni interessati dal Piano di Lottizzazione hanno complessivamente una superficie di 11.385,00 mq. e vengono suddivisi in un comparto denominato 1 di 9.078,00 mq. ed in un comparto denominato 2 di 2.307,00 mq.



Figura 1 – Stralcio estratto da Google Earth della zona di intervento.

Dal punto di vista urbanistico l'area è inquadrata nel Piano Urbanistico Comunale vigente tra le zone di nuova espansione nelle frazioni denominate C3f, considerate come aree da destinare a nuovi insediamenti residenziali.

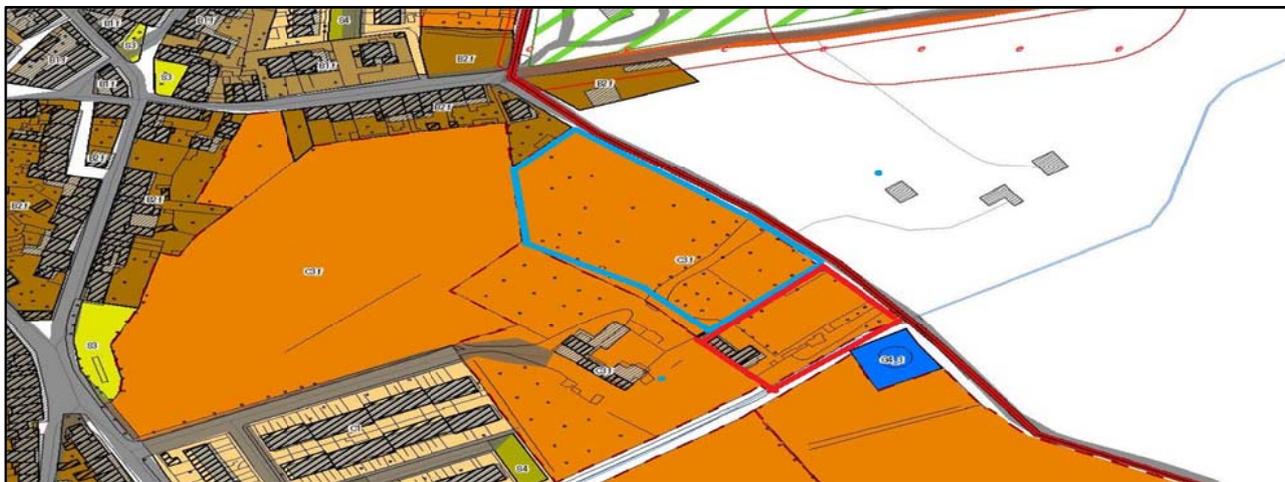


Figura 2 – Stralcio zonizzazione Piano Urbanistico Comunale.



Figura 3 – Stralcio planimetria catastale

L'area individuata dal comparto 1, che di fatto è uno stralcio attuativo della lottizzazione complessiva, risulta distinta in Catasto al F. 6 mapp.li 1930, 1931, 1925, 1571.

Il comparto 2, che in questo momento non è attuativo, risulta distinto in Catasto al F. 6 mapp.le 1814

I dati principali della lottizzazione sono:

COMPARTO 1

- Superficie totale comparto mq. 9078;
- Superficie totale edificata mq. 1509;
- Strade e parcheggi e marciapiedi mq. 1976;

- Verde attrezzato mq. 909;
- Sistemazione private lotti mq. 4684;
 - Opere a verde, camminamenti, piazzuole etc.

COMPARTO 2

- Superficie totale comparto mq. 2307;
- Superficie totale edificata mq. 272;
- Verde attrezzato mq. 255;
- Sistemazione private lotti mq. 1780;
 - Opere a verde, camminamenti, piazzuole etc.



2.2 Inquadramento geografico e cartografico

Nella presente relazione sono state utilizzate diverse fonti di informazioni che riguardano la cartografia, la geologia, la climatologia, la pluviometria dell'area oggetto.

Come strumento cartografico principale è stata adottata la carta tecnica ufficiale della Regione Sardegna già pubblicata in formato GIS (2008), oltre quella numerica già esistente (1989), nella quale sono riportate in scala adeguata le informazioni cartografiche di interesse e rappresenta il documento cartografico ufficiale di base per le elaborazioni che seguiranno.

Come detto precedentemente l'area ricade in una zona di nuova espansione situata nella frazione di Donigala di Oristano, individuata nel foglio n° 528 - B4-III della cartografia I.G.M. (scala 1:5000)

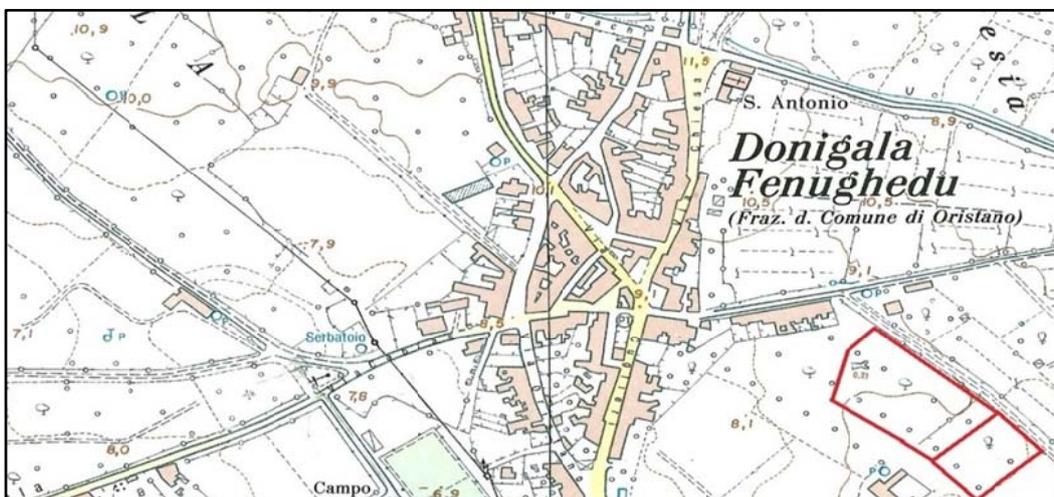


Figura 4 – Stralcio della cartografia IGM scala 1:5000.

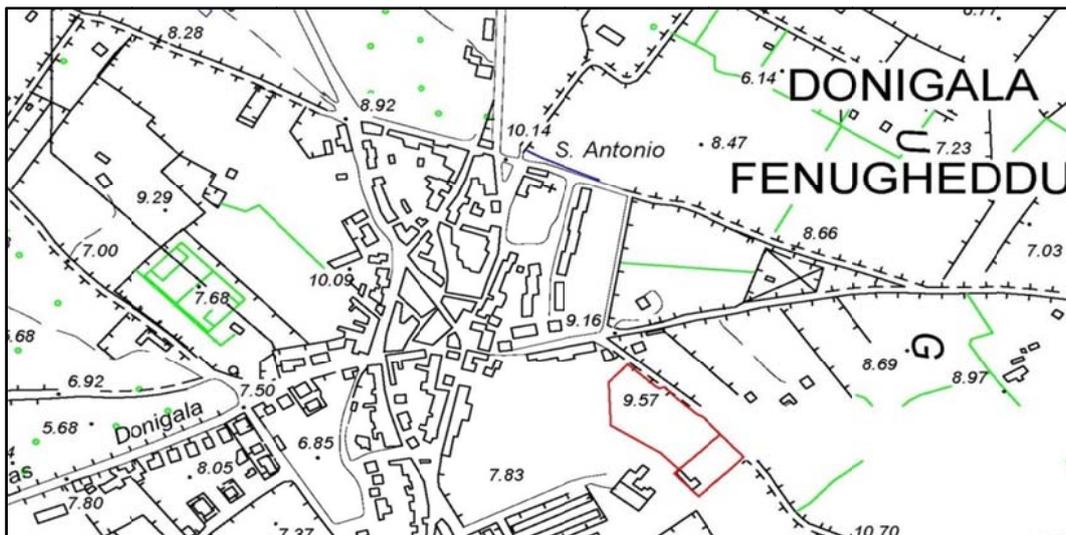
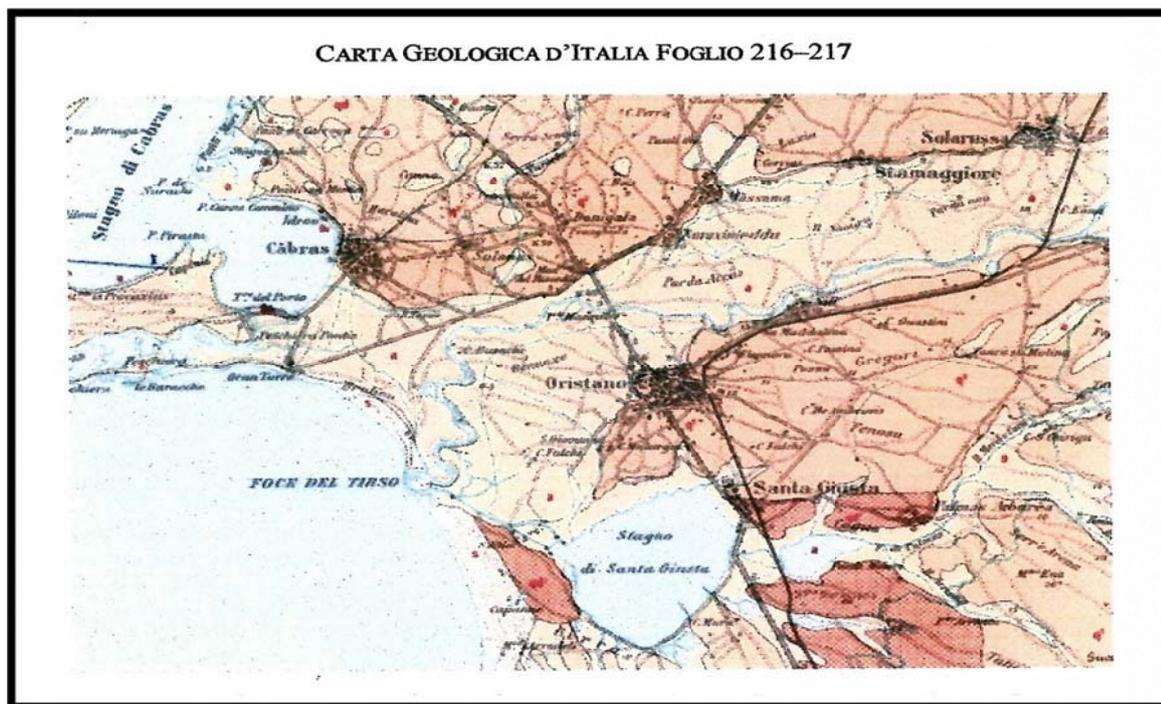


Figura 5 – Stralcio della cartografia CTR scala 1:10000. – in rosso l'area d'intervento

3. Inquadramento geologico

Quali strumenti di base per lo studio geologico dell'area sono state utilizzate: la Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000 resa disponibile dalla RAS (Regione Autonoma della Sardegna); e il Foglio n° 217 ORISTANO della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia).



A nord la pianura è delimitata dal massiccio vulcanico del Montiferru.

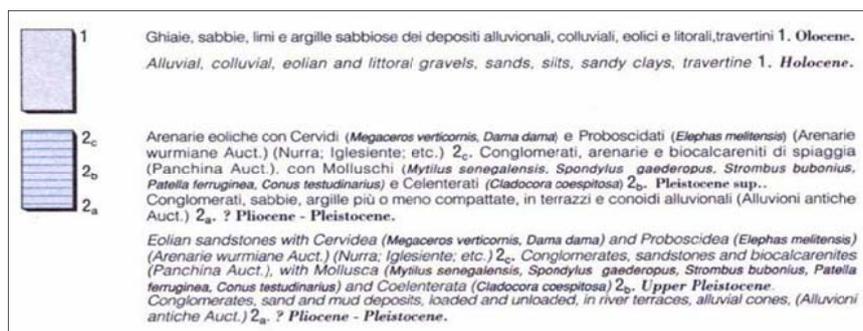
La pianura oristanese costituisce l'estremità occidentale della fossa tettonica plio-quadernaria più nota come "graben campidanese", risultato del ringiovanimento, lungo i bordi paleozoici, delle direttrici tettoniche, responsabili della parte mediana e meridionale della struttura oligo-miocenica, che si sviluppava dal golfo di Cagliari a quello dell'Asinara, nota come "Fossa Sarda".

La fossa oligo-miocenica è stata colmata da oltre 1.500 m di sedimenti marini quali marne, calcari, calcareniti spesso fossiliferi, alternati ad episodi vulcanici del ciclo calco-alcalino, che spesso affiorano lungo i bordi della fossa.

Durante il Plio-Quaternario nel Campidano sono stati ulteriormente depositi circa 800 m fra sedimenti e vulcaniti alcaline, che poggiano sulle formazioni più antiche del ciclo sedimentario e vulcanico oligo-miocenico.



Figura 7: Carta Geologica della Sardegna- Servizio Geologico Nazionale



La serie sedimentaria plio-quadernaria, di spessore variabile fra qualche decina e qualche centinaia di metri, è il risultato della colmata operata da parte del fiume Tirso e dei suoi affluenti nel Pleistocene ed Olocene.

Questa successione è costituita da sedimenti continentali, per lo più appartenenti alla Formazione di Samassi, sui quali poggiano potenti depositi alluvionali, lacustri e lagunari pleistocenici, seguiti da

depositi marini e lagunari flandriani-versiliani con intercalate le lave basaltiche.

I depositi marini quaternari, rappresentati da depositi di ambiente freddo, e da depositi tirreniani tipici, sono presenti nelle sole fasce costiere.

Il sottosuolo campidanese è quindi caratterizzato dall'alternarsi di strati più o meno potenti, talora lentiformi, di ghiaie ciottoloso-sabbiose, di argille, argille limose e sabbie argillo-limose, localmente sono presenti anche dei livelli torbosi, depositi a più riprese dal Tirso e dei suoi affluenti, che grande importanza hanno avuto nella formazione della piana e nel suo successivo modellamento.

I singoli orizzonti, spesso lentiformi, presentano spessori molto variabili da luogo a luogo, rendendo difficili le correlazioni stratigrafiche.

La successione stratigrafica ha uno spessore complessivo di alcune centinaia di metri ed è costituita di facies fluviali, deltizie, lacustri, palustri e marine.

La sequenza stratigrafica del Campidano di Oristano è stata ricostruita sulla base dei risultati di due perforazioni profonde eseguite nei primi anni '60 per una ricerca di idrocarburi promossa dalla Regione Autonoma della Sardegna.

In affioramento il termine più antico dei depositi detritici quaternari è rappresentato dalle alluvioni antiche terrazzate. Questi depositi, costituiti da alternanze di livelli ciottolosi, ghiaiosi e sabbiosi, in matrice argillo-limosa, con locali lenti di argilla e di torba, caratterizzati da una elevata eterometria della frazione più grossolana, non si rinvengono in affioramento nel territorio comunale.

Seguono i depositi delle alluvioni medie, rappresentati da livelli ciottoloso-ghiaiosi, ma con una maggiore frazione sabbiosa, le così dette alluvioni rimaneggiate, formatesi evidentemente, nel Pleistocene medio e superiore, dall'erosione e successiva sedimentazione di parte dei depositi alluvionali antichi, ad opera dei fiumi presenti.

Generalmente questi depositi alluvionali sono costituiti da materiali detritici provenienti dal bacino del Tirso.

Questi depositi alluvionali, per la loro origine, presentano caratteri macroscopici molto simili a quelli delle alluvioni antiche, dalle quali derivano, pertanto i limiti fra le due formazioni non sono sempre netti e facilmente riconoscibili in campagna. L'unico aiuto per la delimitazione degli affioramenti di questa formazione è dato dalla morfologia, più uniforme, rispetto a quella dei depositi antichi.

Nella sequenza stratigrafica seguono i depositi alluvionali ciottoloso-sabbiosi sciolti, subattuali ed attuali, che si rinvengono lungo l'alveo del Tirso.

Questi depositi ciottoloso-sabbiosi, decisamente sciolti, mostrano una maggiore granulometria decisamente più minuta dei depositi alluvionali medi, con prevalenza delle frazioni argillo-limose e sabbiose. Essi derivano in parte dal rimaneggiamento dei depositi più antichi, ma è consistente

anche il materiale derivante dalla deposizione del carico solido delle piene del Tirso.

Di seguito si riporta la carta Geo-Litologica (scala 1:10000) del Piano Urbanistico del Comune di Oristano dalla quale risulta come il sottosuolo del sito appartiene all'Unità quaternaria, Olocene, costituita in prevalenza da depositi ghiaioso-sabbioso di conoide alluvionale eterogenei

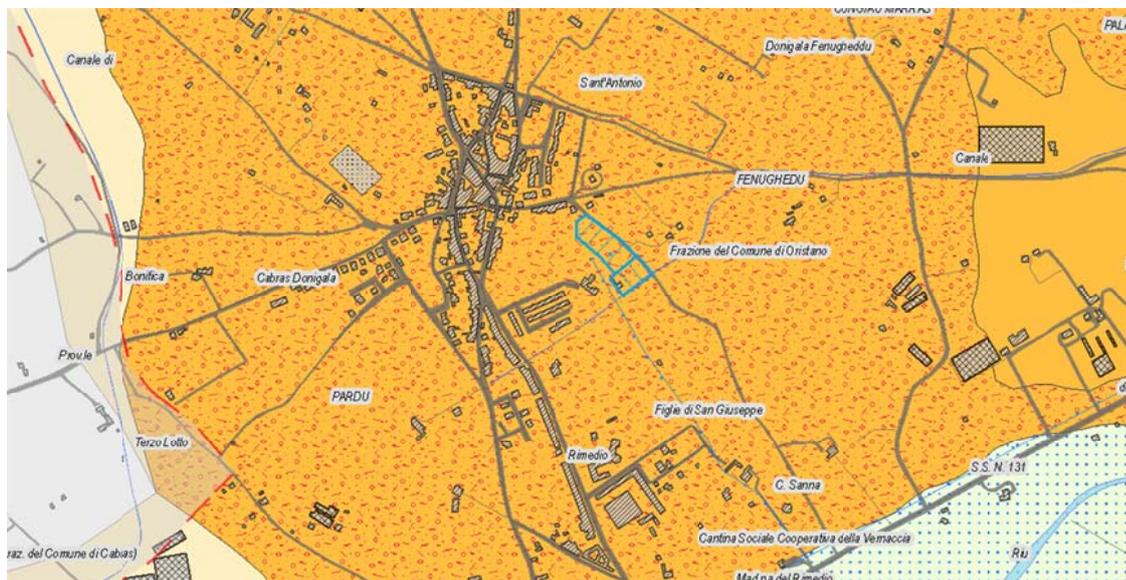


Figura 8 - Carta Geo Litologica

OLOCENE

	Materiali di riporto e aree bonificate		Depositi ghiaioso-sabbiosi di conoide alluvionale
	Depositi alluvionali eterogenei		Depositi lacustri e palustri limoso-argillosi
	Depositi di spiaggia		Depositi palustri argillosi

4. Inquadramento geomorfologico

L'assetto geomorfologico dell'area direttamente interessata dalla realizzazione delle opere in progetto, in accordo con le caratteristiche delle aree di piana alluvionale, è caratterizzato dalla dominanza di un morfotipo sub-pianeggiante e con acclività molto ridotte e altezza media che varia tra i sette e i dieci metri s.l.m.m. dovuti alle alluvioni terrazzate.

Gli unici profili di una certa importanza si trovano a distanza. Ricordiamo a nord il M.te Ferru con i suoi 1050 m, il M.te Arci a sud a quota 812 m ed infine ad est i monti del sarcidano con il M.te Grighini.(m 678). L'orizzonte che si presenta a ovest e pressoché piatto, passando per dai pochi metri del perimetro della laguna alla distesa del Mar Mediterraneo.

I processi geomorfologici prevalenti che interessano l'area vasta sono comunque riconducibili a fenomeni erosivi areali, di modesta intensità dovuti prevalentemente alle acque di ruscellamento.

Per quanto riguarda l'inquadramento idrogeologico l'aspetto principale da considerare è quello di sintetizzare i dati disponibili riguardanti la permeabilità dei terreni, cercando di individuare la

presenza o meno di falde libere, in pressione e circolazioni idriche sotterranee lungo direzioni preferenziali.

La permeabilità è una proprietà ed esprime la capacità di un corpo di assorbire più o meno l'acqua piovana e di immagazzinarla o farla defluire.

Così come in precedenza evidenziato, la zona di Donigala è caratterizzato per la quasi totalità dall'affioramento dell'Unità delle alluvioni plio-quadernarie. Tali depositi alluvionali, costituiti da conglomerati e sabbie, sono caratterizzati da una permeabilità per porosità variabile da molto alta a media ($10^{-1} < K < 10^{-4}$), con punti in cui la stratigrafia viene interessata da strati argillosi in cui la permeabilità si riduce strati impermeabili con conseguente permeabilità nulla.

La permeabilità, come tipico delle alluvioni antiche, è maggiore in senso orizzontale rispetto a quello verticale. Si ha quindi la presenza di numerose falde sospese separate da livelli argillosi. Le falde più profonde hanno un marcato artesianismo.

La potenzialità delle falde, sin dai primi livelli, è piuttosto elevata e le acque sono in genere a basso contenuto salino, almeno nei livelli superficiali meno sfruttati. Nella zona in esame la falda si trova attualmente a circa 9 metri di profondità.

5. Inquadramento idrogeologico

L'unità idrologica più importante a nord dell'abitato di Oristano è il fiume Tirso.

Il Tirso, principale fiume della Sardegna, nasce circa una decina di chilometri ad est di Buddusò, dalla dorsale posta a circa 900 m di altitudine compresa tra i monti Madras d'Ingannu e sa Ianna Bassa. Il fiume presenta in generale un corso con andamento prevalente da NE verso SW attraversando per gran parte del suo sviluppo un'ampia fascia della Sardegna centrale per giungere alla foce posta a circa 4 km ad ovest di Oristano, nel golfo omonimo.

L'ultimo tratto del fiume Tirso, a differenza dei tratti di monte, è caratterizzato dalla presenza di un sistema difensivo molto esteso, con arginature sostanzialmente continue dallo sbocco nella piana costiera alla duna litorale, per uno sviluppo complessivo di circa 20 Km.

In sponda destra il rilevato arginale è continuo, ha inizio in corrispondenza della spalla del ponte stradale presso Zerfaliu e termina immorsandosi sulla duna costiera presso la località Azienda Brabau, circa 700 m a monte della foce.

In sinistra, sfruttando il ripiano terrazzato, sopraelevato di circa una decina di metri rispetto al fondovalle alluvionale, su cui sono edificati il centro storico di Oristano e l'abitato di Simaxis, il rilevato arginale è diviso in 3 tronconi: il primo è compreso tra la diga di S. Vittoria e la confluenza del riu S. Elena; il secondo è posto a protezione dell'abitato di Sili; il terzo corre tra il rilievo in località "La Maddalena" presso Sili ed il canale di Pesaria.

Gli argini, realizzati nei primi anni cinquanta, sono costituiti da rilevati in terra, che di norma hanno

un'altezza di 3-4 m e un coronamento largo circa 3 m. Sul lato interno degli argini, in genere per brevi tratti, vi sono protezioni in lastre di calcestruzzo o più raramente in gabbioni. Tali rinforzi sono presenti in modo sistematico in corrispondenza delle rampe di accesso alle aree golenali e, saltuariamente, nei punti potenzialmente a rischio di erosione, dove sono stati integrati con sistemi di pennelli in gabbioni.

La rete idrografica dell'area oristanese oltre al Fiume Tirso è caratterizzata da un articolato sistema di canalizzazioni e opere di drenaggio realizzate per l'irrigazione e miglioramento fondiario. Sono inoltre presenti piccoli rii, a carattere torrentizio e generalmente in secca che hanno origine da sorgenti poste tra i rilievi collinari.

In prossimità dell'area della lottizzazione la circolazione naturale superficiale è assente, trattandosi di un sito compreso nel centro abitato. Essa è quindi sostituita da quella artificiale generalmente incanalata e intubata.

6. Inquadramento climatologico

6.1 Temperatura e precipitazioni

Come noto, il principale fattore di influenza sul clima della Sardegna è costituito dalla posizione geografica. L'isola si trova in piena area climatica mediterranea, tra il dominio dei venti occidentali e quello delle masse d'aria calda tropicali. Dal punto di vista climatico il bacino occidentale mediterraneo presenta condizioni particolari sia per la posizione, per la cintura di terre e rilievi che lo circondano ed infine per il contatto che esso ha con l'Oceano e col deserto. La Sardegna, la Corsica e le Baleari lo dividono in tre aree distinte, ciascuna delle quali possiede un proprio sistema di correnti marine, il cui ritmo d'insieme è regolato dal flusso delle acque oceaniche che si spostano da Gibilterra verso il Mediterraneo orientale, con spessore peraltro limitato dall'esigua profondità dello stretto.

Nel quadro climatico generale, l'andamento annuo della temperatura dell'aria non presenta caratteri originali rispetto a quello di altri paesi mediterranei. In estate la temperatura è elevata e nei mesi di luglio e agosto tutta la Sardegna meridionale si trova compresa entro l'isoterma di 25 °C. Le temperature estive, nelle contrade costiere della Sardegna, eguagliano quelle si registrano nella Penisola lungo il tratto del litorale tirrenico compreso tra l'Argentario e il Golfo di Salerno. L'azione moderatrice del mare è ben manifestata nell'andamento delle temperature medie. Si verifica infatti il perdurare delle basse temperature invernali, ancora nei mesi di marzo e aprile nelle stazioni interne e montane, mentre in quelle costiere la media di questi mesi si approssima già ai 15 °C. Alla fine della primavera (giugno) si ha invece un incremento verso gli alti valori estivi, più spiccato nelle zone interne e più moderato lungo le coste.

La media primaverile è di 10-12 °C per le stazioni interne e per quelle montane, che scende di 5

gradi per quelle della costa. La vera stagione calda ha inizio col mese di giugno, in cui la temperatura media si eleva fino ed oltre i 20 °C, restando inferiore a tale valore solo nelle zone di montagna. Il mese più caldo può essere luglio o agosto: il verificarsi del massimo in agosto è un fatto frequente nella costa occidentale, altra prova che l'influenza del mare è più marcata in questo versante. Infine, per i valori medi mensili si può notare che le variazioni tra un mese ed il successivo permettono di individuare due precisi periodi di marcate transizioni: marzo-aprile e settembre-novembre, che delimitano le due stagioni climatiche tipiche delle regioni mediterranee, così come due periodi (luglio e agosto, dicembre e febbraio) con temperature medie sostanzialmente costanti.

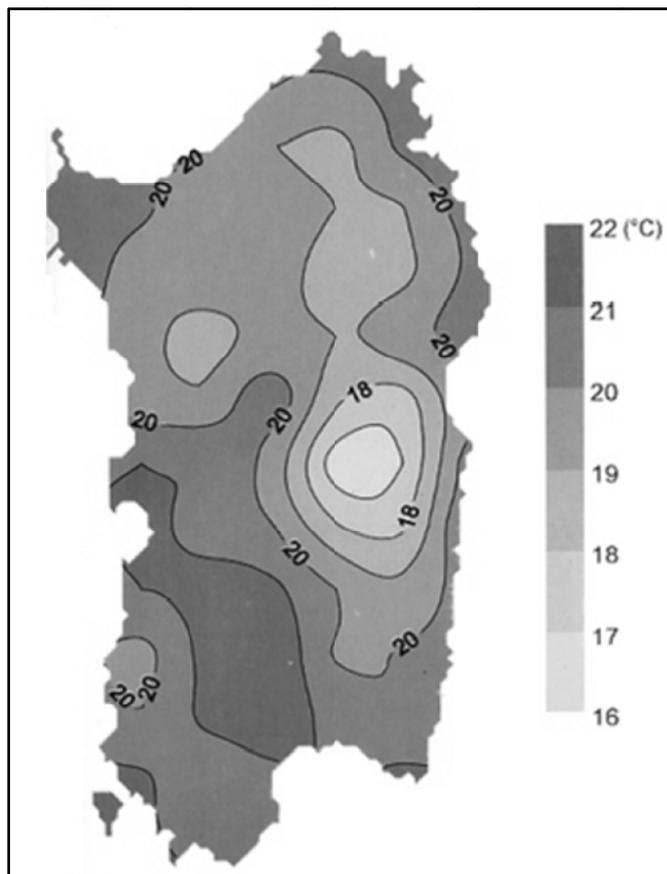


Figura 9 – Valore medio annuale della temperatura massima (ARPAS)

6.2 Vento

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

predominanza dei venti occidentali in tutte le stagioni, la velocità media del vento quasi eguale in tutti i mesi, l'affermarsi del sistema di brezza lungo le coste regolarmente alla fine della primavera sono i fatti salienti di questo uniforme regime anemometrico

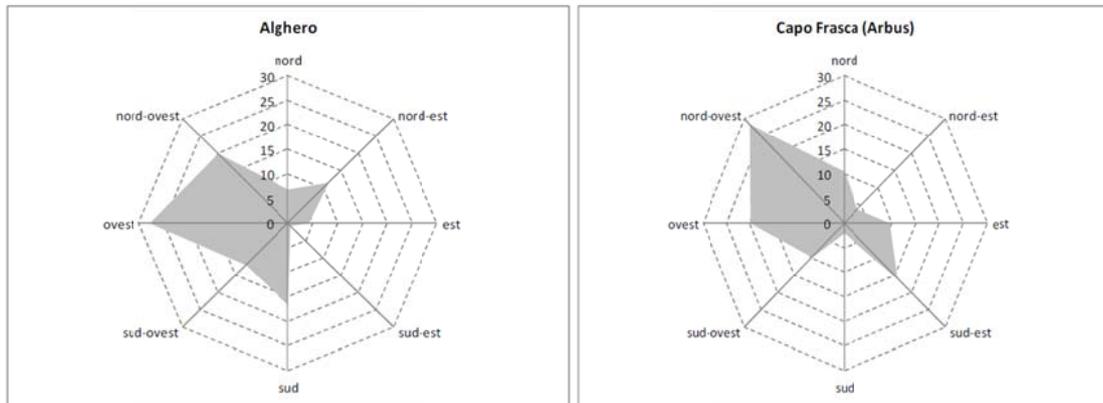


Figura 10 – Direzione di provenienza del vento massimo per Alghero e Capo Frasca (fonte ARPAS)

Anche lo studio dell'umidità relativa si presenta di notevole interesse in quanto essa è determinata da un rapporto tra quantità di vapore e temperatura. Essa presenta dei valori notevolmente diversi nelle varie regioni e in periodi più brevi ha delle forti oscillazioni a seconda della natura e della provenienza delle masse d'aria che interessano l'isola

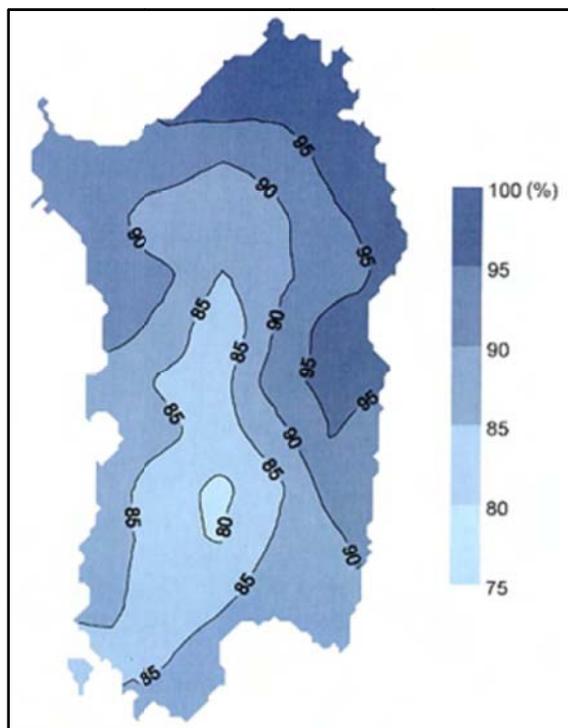


Figura 11– Valore medio annuo umidità relativa massima

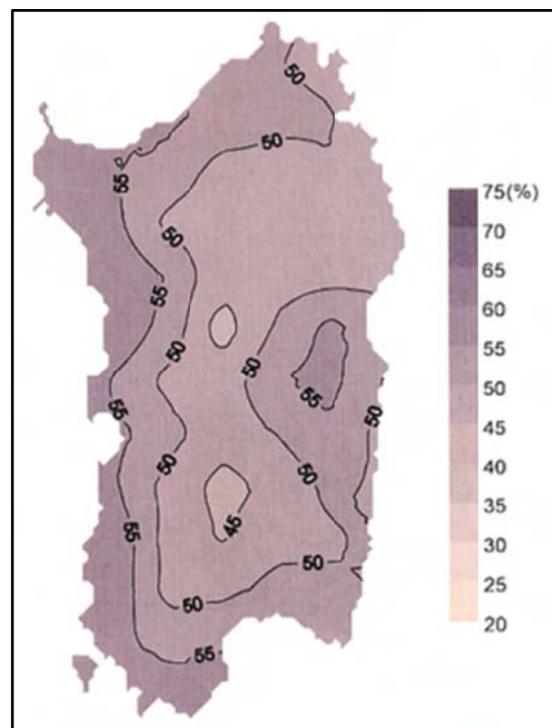


Figura 12– Valore medio annuo umidità relativa minima

Per il basso indice di umidità e la notevole frequenza del vento, rare sono nell'isola le nebbie. Nelle stagioni piovose tuttavia si hanno delle nebbie nelle ore notturne in alcune zone di pianura, data la notevole irradiazione termica del terreno e lungo le coste, specie in prossimità degli stagni e dei fiumi.

La formazione di queste nebbie è dovuta all'incontro di aria fredda incanalata dalle foci fluviali con aria calda stazionante sul mare. Al grado di umidità è collegato poi il valore dell'evaporazione. Sulla evaporazione dal terreno e dagli specchi d'acqua, come sulla traspirazione delle piante, ha inoltre grande influenza il vento, in quanto esso è assai frequente e in misura tanto maggiore quanto più è secco e violento. L'indice di nebulosità è notevole e ciò si deve al fatto che le masse d'aria giungono generalmente umide per aver attraversato ampi tratti di mare, con forti variazioni mensili. La nebulosità determina una diminuzione della radiazione diretta a vantaggio di quella diffusa e che fa diminuire l'insolazione che per l'isola si può valutare in 6,2 ore al giorno, pari a 2260 ore all'anno. Sempre con riferimento al quadro climatico generale, le precipitazioni sono costituite quasi esclusivamente dalle piogge cicloniche che le depressioni barometriche apportano al loro passaggio; si verificano pertanto quando l'isola è interessata da tali perturbazioni, con punte massime nei periodi in cui le traiettorie cicloniche presentano la maggior frequenza lungo il 40° parallelo. Le caratteristiche generali delle precipitazioni possono riassumersi con le seguenti caratteristiche:

- dei notevoli scarti dalla media nei singoli totali annui,
- un elevato indice di intensità
- una irregolare distribuzione stagionale.

Gli scostamenti dalla media sono tali che la quantità di pioggia di qualche anno può superare il doppio della media o esserne inferiore della metà. Se scostamenti di tale entità non sono frequenti, scarti del 25% e del 30% si verificano in tutte le località e devono essere considerati come normali per il regime pluviometrico della Sardegna. Nella figura seguente, che riporta la serie storica delle cumulate annue, mostra come il cumulato 2010-2011 è stato più elevato di molti di quelli che lo hanno preceduto, con valori comparabili a quelli del 1990-1991, 1995-1996, 2003-2004 e 2004-2005. Dallo studio della piovosità in rapporto all'altitudine risulta che nell'isola l'aumento delle precipitazioni con l'altezza del rilievo non obbedisce ad alcuna legge definita. Dall'esame dei dati appare che la piovosità media annua segna un aumento costante ma non regolare dal livello del mare, dove le stazioni costiere registrano una media di 565 mm, fino ai 400 metri; nella fascia di 3-400 m la media è di 807 mm e tra le due zone di 2-300 m e 3-400 m si verifica l'incremento maggiore: 129 mm in 100 m.

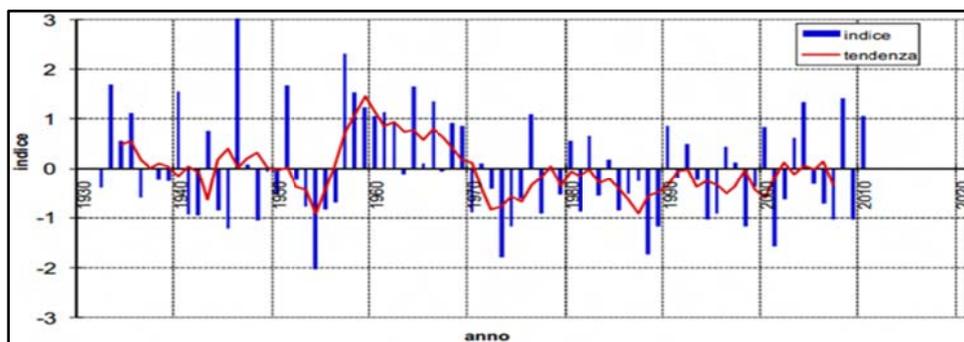


Figura 13 - Precipitazione cumulata in Sardegna nel trimestre da ottobre a dicembre, dal 1900 al 2011 (ARPAS)

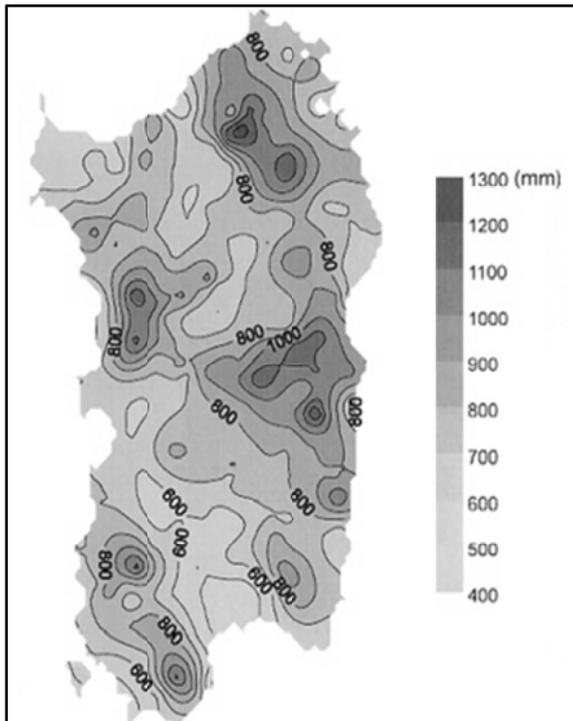


Figura 14– Distribuzione spaziale delle precipitazioni

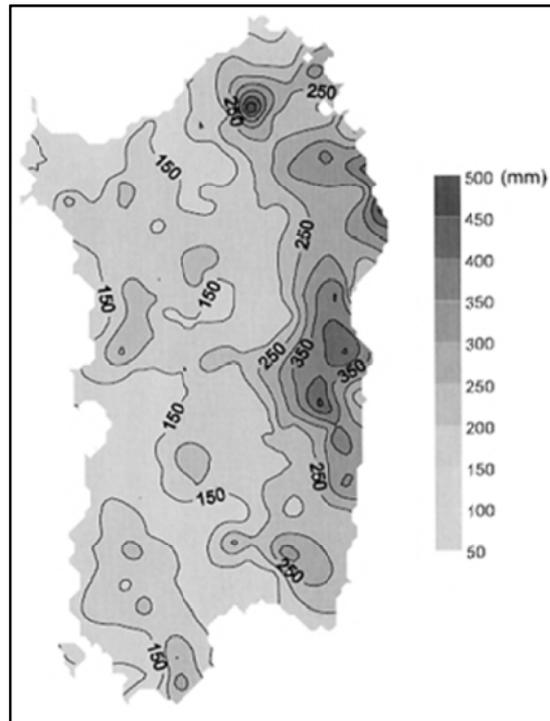


Figura 15 – Deviazione standard dalla media annuale

Pertanto l'aumento complessivo dal livello del mare fino a 400 m è di ben 242 mm, con un gradiente medio di 0,6 mm per metro. Più in alto, nella fascia di 4-500 m si nota una diminuzione nei totali stagionali ed annui rispetto alla zona sottostante, poiché la somma delle precipitazioni è di 767 mm, la più vicina alla media generale calcolata per tutta la Sardegna (775 mm). L'esame della distribuzione altimetrica delle piogge sulle varie zone della Sardegna porta ancora ad un'interessante constatazione: si osserva infatti che in autunno, come in primavera, le zone di pianura presentano una diversa percentuale di precipitazione rispetto alle località montane. Nelle regioni poste tra il livello del mare e i 400 m le piogge autunnali superano sempre quelle primaverili. A maggior altitudine invece queste ultime possono presentare una leggera prevalenza.

7. Conoscenze sulla pericolosità idraulica delle aree in studio.

7.1 Il Piano di Assetto Idrogeologico

L'Approvazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) avvenuta con deliberazione della Giunta Regionale n. 54/33 del 30/12/2004 ha conseguito l'esecutività delle perimetrazioni delle aree a rischio e delle aree pericolose individuate a livello regionale ai fini della salvaguardia del territorio da eventuali danni e dissesti dovuti a fenomeni di piena o di frana. Dopo la pubblicazione nel Bollettino Ufficiale della Regione avvenuta nel marzo 2005 si è avuta l'esecutività

della suddetta delibera. Come previsto dal D.P.C.M. del 29 settembre 1998 e come riportato nelle "Linee Guida" delle Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (RAS, 2000), la procedura per l'individuazione delle aree a rischio idraulico prevede, per ogni bacino idrografico, una prima identificazione dei tronchi critici del reticolo idrografico. La Normativa individua quattro classi di probabilità di evento o classi di pericolosità in relazione alle quali è prescritta la perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica. Per la loro determinazione si effettua il calcolo delle portate di piena in sezioni idrografiche sufficientemente significative, relativamente a tempi ritorno di 50 anni, 100 anni, 200 anni e 500 anni, determinate attraverso i metodi correntemente adottati dall'idrologia per la Sardegna. Il PAI del 2004 ha individuato le aree inondabili e quindi quelle a pericolosità per ciascuna delle classi previste nel DPCM del 29/09/1998 recepite nelle Nda del Piano di Assetto Idrogeologico.

In particolare sono rappresentati:

- *Il perimetro delle aree di esondazione con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni (pericolosità idraulica molto elevata Hi4)*
- *La fascia di elevata pericolosità idraulica, relativa ad esondazioni aventi tempi di ritorno compresi tra i 50 e 100 anni (Hi3)*
- *La fascia di media pericolosità idraulica, relativa ad esondazioni aventi tempi di ritorno compresi tra i 100 e 200 anni (Hi2)*
- *La fascia di moderata pericolosità idraulica, relativa ad esondazioni aventi tempi di ritorno compresi tra i 200 e 500 anni (Hi1).*

La metodologia seguita ha consentito la quantificazione numerica del rischio totale "R" e degli elementi a rischio interessati "E", associando alla classificazione qualitativa definita nel DPCM 29/09/98 opportuni valori numerici.

Si è anche differenziata la definizione di rischio a seconda del tipo di evento cui si riferisce (piena o frana). In particolare, il rischio idraulico Ri è stato definito, secondo la notazione usualmente utilizzata, come il prodotto di tre fattori:

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

- Ri = rischio idraulico totale, quantificato secondo 4 livelli; nella Figura 05 estratta dal PAI seguente sono evidenziati gli estremi superiori delle classi.
- Hi = pericolosità (natural Hazard) ossia la probabilità di superamento della portata al colmo di Piena. In accordo al DPCM 29/09/98 anche questa grandezza è ripartita secondo 4 livelli, pari a 0,02, 0,01, 0,005, 0,002, che corrispondono, rispettivamente, ai periodi di ritorno (T) di 50, 100, 200 e 500 anni. nella Figura 06 seguente estratta dal PAI sono evidenziati i valori attribuiti alle classi di pericolosità.

- E = elementi a rischio: ai sensi del citato DPCM 29/09/98 sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi e vengono classificati come riportato nella Figura 07 seguente estratta dal PAI, nella quale ad ogni classe è stato attribuito un peso secondo una scala compresa fra 0 e 1.
- V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso del manifestarsi del fenomeno. Ogni qualvolta si ritenga a rischio la vita umana, ovvero per gli elementi di tipo E4, E3 e parte di E2, la vulnerabilità, in linea con il DPCM 29/09/98 è stata assunta pari all'unità; per quanto concerne gli elementi di altro tipo occorrerebbe provvedere a delle analisi di dettaglio.

La classificazione delle aree a Rischio Idraulico è stata quindi ricavata come intersezione tra aree pericolose (aree allagabili) ed elementi a rischio, secondo la scala riportata nella tabella seguente estratta dal PAI

Tabella XIII Classificazione delle aree a rischio idraulico

Classe	Intensità	valore	Elementi a rischio	Pericolosità / Tr (anni)			
				Hi1	Hi2	Hi3	Hi4
				500	200	100	50
R _{i1}	Moderato	≤ 0.002	E1	R _{i1}	R _{i1}	R _{i2}	R _{i2}
R _{i2}	Medio	≤ 0.005	E2	R _{i1}	R _{i2}	R _{i2}	R _{i3}
R _{i3}	Elevato	≤ 0.01	E3	R _{i1}	R _{i2}	R _{i3}	R _{i4}
R _{i4}	Molto elevato	≤ 0.02	E4	R _{i1}	R _{i2}	R _{i3}	R _{i4}

7.2 Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale.

Il PSFF trova specificazione nella direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni e nel Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 che recepisce tale direttiva.

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

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Per quanto riguarda le procedure di approvazione, si fa riferimento alla delibera n. 1 del 23 giugno 2011 del Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino della Sardegna recante "Predisposizione del complesso di "Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione

dello Studio denominato Progetto di Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)". Revoca della deliberazione del C.I. n. 1 del 31.03.2011, di adozione preliminare del P.S.F.F., e definizione di una nuova procedura per l'adozione e l'approvazione finale che prevede alcuni incontri e momenti di confronto con gli attori del territorio.

IL Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, contenente nuove misure di salvaguardia del territorio regionale con l'individuazione di nuove aree di pericolosità idraulica e la modifica di altre precedente identificate dal PAI .

Nel PSFF l'analisi idraulica è stata condotta utilizzando il modello numerico HEC-RAS che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto permanente gradualmente variato od in moto vario, sia in alvei naturali, sia in canali artificiali, includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.. Per quanto riguarda gli aspetti normativi, il PSFF rimanda alle norme di attuazione del PAI. Per quanto concerne gli elementi areali il Piano individua le cosiddette fasce fluviali, dette anche aree di pertinenza fluviale, che identificano quelle aree limitrofe all'alveo inciso occupate nel tempo dalla naturale espansione delle piene, dallo sviluppo morfologico del corso d'acqua, dalla presenza di ecosistemi caratteristici degli ambienti fluviali.

Nel caso del Fiume Tirso il codice di calcolo HEC-RAS è stato utilizzato in condizioni di moto permanente e sono stati simulati eventi di piena con tempo di ritorno crescente compresi tra 2 e 500 anni.

Nella figura seguente estratta dal PSFF sono riportate le sezioni rilevate nel tratto terminale del Fiume Tirso, che ricomprende anche le aree di interesse dell'infrastruttura in progetto.

Relativamente all'estensione delle fasce di esondazione, lungo il tratto a monte di Oristano si rileva un andamento abbastanza regolare, con valori compresi tra i 2,5 ed i 3 km per tutti i tempi di ritorno; un significativo ampliamento si ha a valle di Oristano, dove si superano i 4 km con l'interessamento di tutto il territorio compreso tra lo Stagno di Santa Giusta e lo Stagno di Cabras.

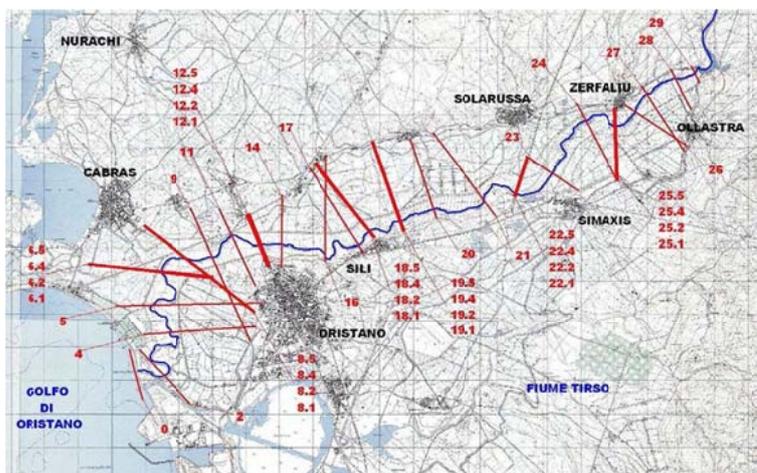


Figura 16 – Ubicazione delle sezioni del modello numerico nel tratto terminale.

7.3 Previsioni del PAI e del PSFF per l'area di interesse del progetto

Per inquadrare il problema dello studio di compatibilità dal punto di vista normativo si richiama il contenuto dell'articolo 8 che reca gli Indirizzi per la pianificazione urbanistica e per l'uso di aree di costa e che al comma 2 recita:

*"indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrare dal PAI, in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici **anche di livello attuativo** e di varianti generali agli strumenti urbanistici vigenti i Comuni - tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico - assumono e valutano le indicazioni di appositi studi di compatibilità idraulica e geologica e geotecnica, predisposti in osservanza degli art. 24 e 25 delle N.d.A. medesime, riferiti a tutto il territorio comunale o alle sole aree interessate dagli atti proposti all'adozione".*

La porzione del territorio che comprende l'area di interesse del progetto è individuata nella tavola 8 del PAI nel Sub-bacino Tirso. Nella tavola si individuano le zone perimetrare con pericolosità idraulica Hi4 ed Hi1; le prime (zone Hi4) sono localizzate all'interno delle aree golenali del fiume Tirso, mentre le altre, in aree adiacenti alle prime ed al di fuori della golenale. In generale le zone a pericolosità Hi4 possono essere zone a Rischio Ri2, Ri3 e Ri4, mentre le zone pericolosità Hi1 risultano sempre a Rischio Ri1.

L'area interessata dalla nuova lottizzazione, come si evince dagli elaborati grafici di seguito riportati, non rientra tra le aree a rischio esondazione perimetrare dal PAI e dal PSFF.

Di seguito si riportano gli elaborati cartografici del PAI e del PSFF che comprendono l'area oggetto di intervento.

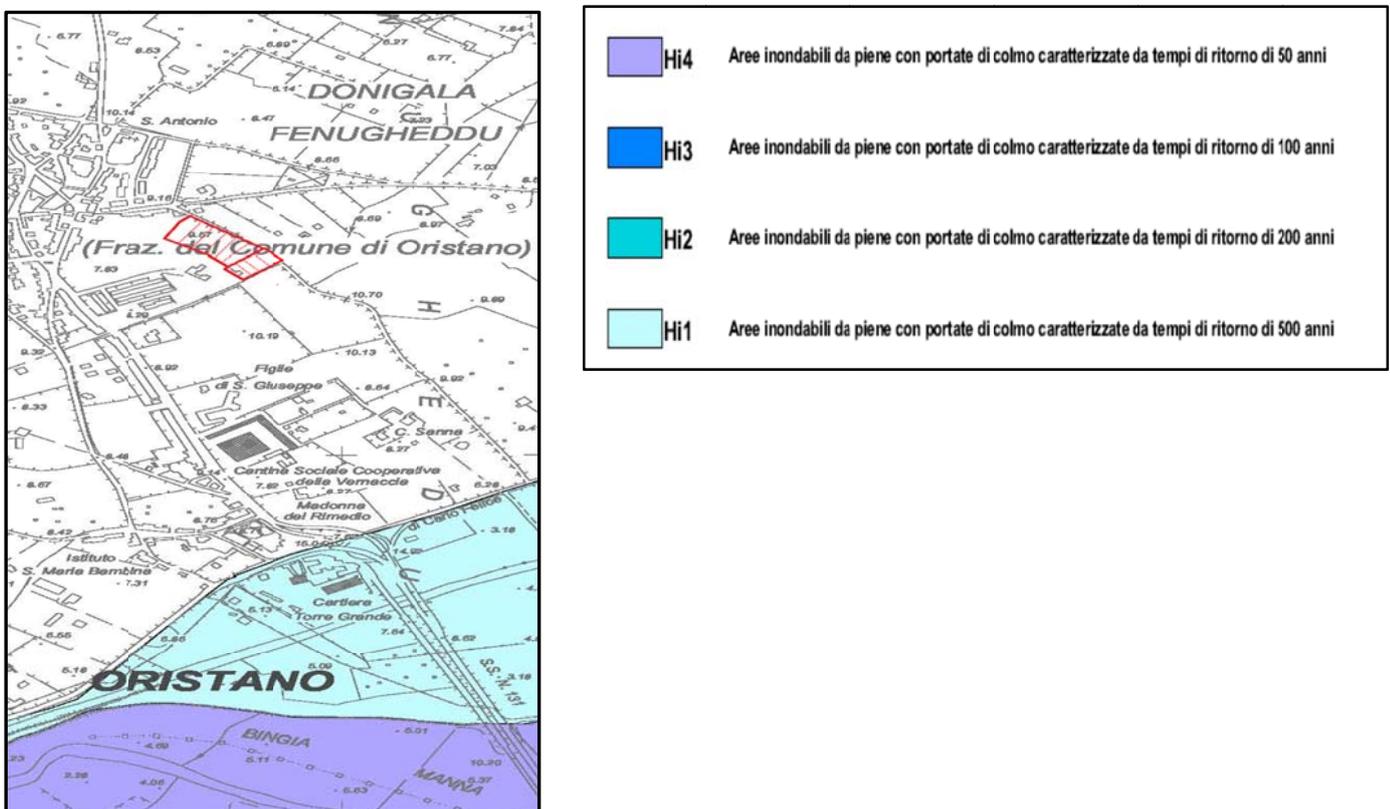


Figura 17 – Stralcio della Tavola 8 del PAI. – Sub_bacino Tirso

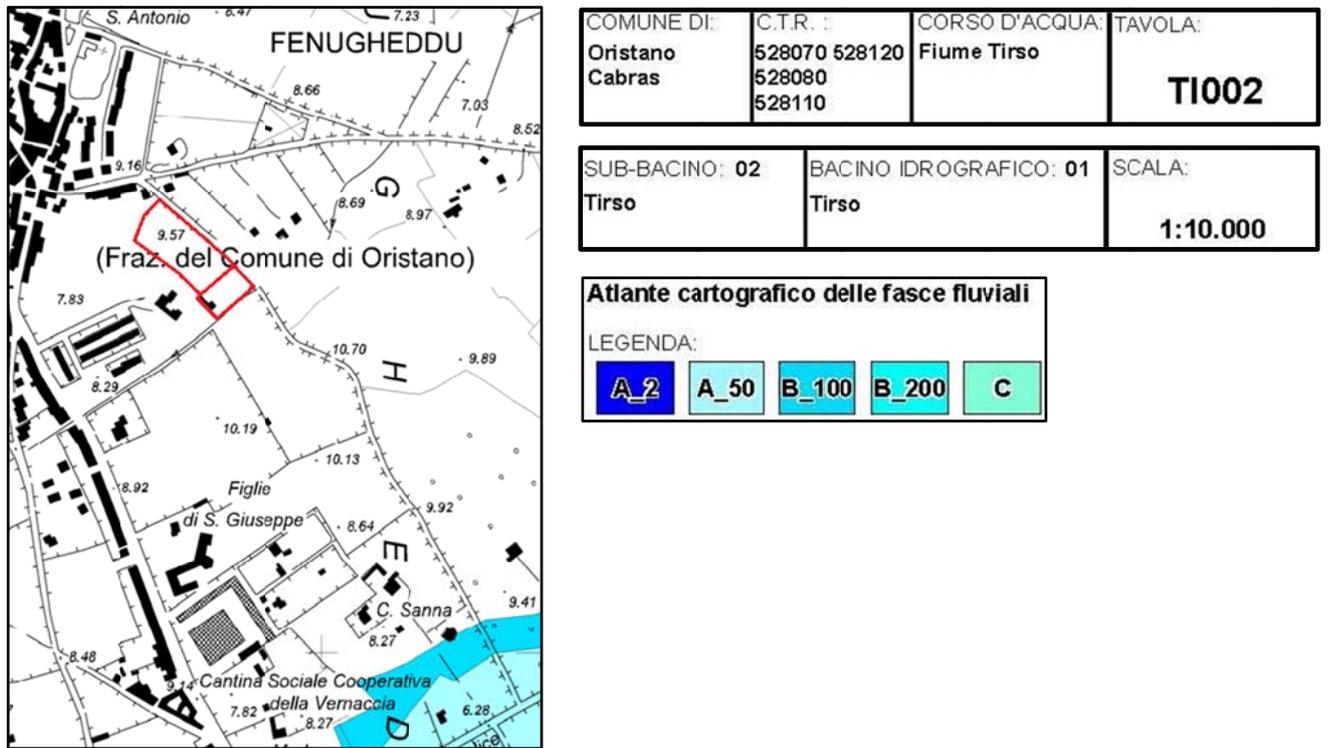


Figura 18 – Stralcio della Tavola TI002 del PSFF

Di seguito si riporta anche la Tavola 11 del Piano Urbanistico Comunale di Oristano, relativa alle aree a pericolosità idraulica, con l'individuazione della lottizzazione.

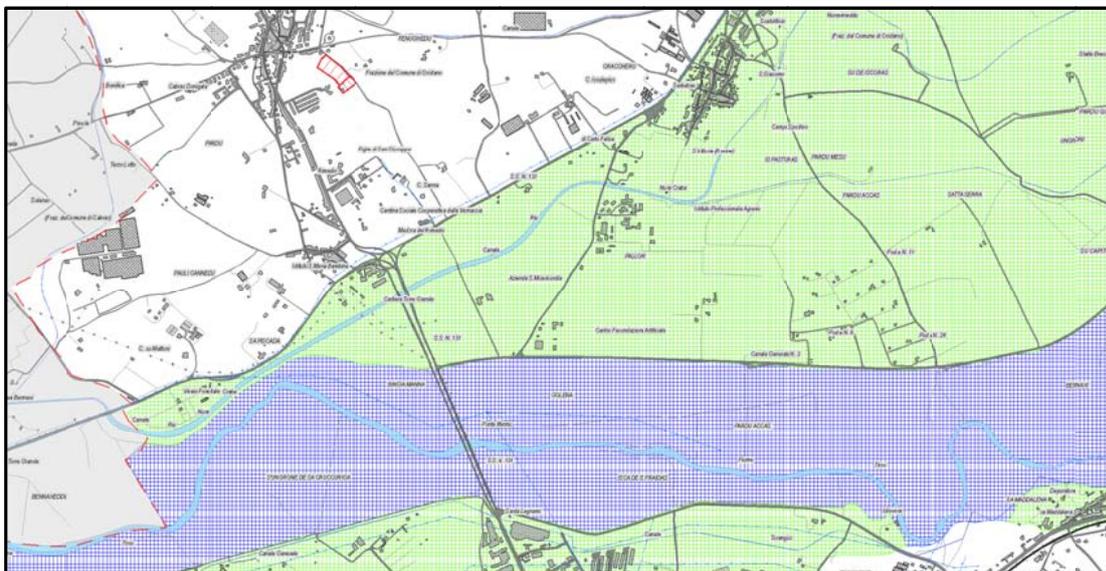


Figura 19 – Stralcio della carta relativa alla compatibilità idraulica del PUC di Oristano.

AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA

-  Area di pericolosità idraulica Hi 4
-  Area di pericolosità idraulica Hi 1

La rete idrografica dell'area oristanese oltre al Fiume Tirso, nell'area di studio è caratterizzata da un articolato sistema di canalizzazioni e opere di drenaggio realizzate per l'irrigazione e miglioramento fondiario, la cui gestione è affidata al Consorzio di bonifica dell'Oristanese.

Inoltre nell'ambito dell'area interessata non grava nessun reticolo idrografico locale e minore che possa dare adito a qualsiasi rischio idraulico anche di minima entità.

8. Analisi idraulica

La realizzazione di una lottizzazione comporta, ovviamente l'impermeabilizzazione di una parte della superficie del terreno in seguito alle nuove opere, con conseguente diminuzione del tempo di risposta del bacino interessato ed aumento della portata defluente nella rete d'evacuazione, con il rischio di aumentare la frequenza degli eventi critici su tutta l'area, a meno di interventi compensativi di tipo idraulico.

Si dovrà pertanto individuare quale sia la portata massima che attualmente defluisce da quest'area, per poi stabilire quali devono essere gli interventi compensativi, in modo che la portata defluente possa essere pari a quella massima riscontrabile attualmente.

Dal punto di vista idraulico, visto le caratteristiche geomorfologiche e visto la mancanza di un significativo reticolo idrografico locale e minore che grava sull'area di studio, la superficie della lottizzazione può essere considerata come un unico bacino drenante.

8.1 Metodologie di calcolo delle portate di piena

La determinazione delle portate di massima piena in Sardegna, data la necessità di stimare i valori in sezioni non osservate e come nel caso in esame, riferite al reticolo idrografico superficiale secondario, si deve basare sulla comparazione critica dei risultati ottenuti dalle diverse metodologie di calcolo disponibili e dal raffronto con i dati osservati, qualora disponibili.

Le metodologie di calcolo possono essere inquadrare in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti, la seconda come Metodi Indiretti, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate calcolati, ovvero indirettamente tramite trasformazione afflussi– deflussi.

I metodi diretti hanno applicabilità per bacini di estensione superiore a 60 Km².

Nel caso in esame, viste le piccolissime dimensioni del bacino, l'unico metodo che appare utilizzabile è il metodo indiretto basato sulla formula razionale.

Nel Metodo Razionale la portata di piena è espressa nella sua forma generale come prodotto tra l'intensità di precipitazione, i , di assegnata durata d e periodo di ritorno T , il coefficiente di assorbimento Φ , la superficie del bacino A il coefficiente di laminazione $\varepsilon(t)$:

$$Q = i[t, T, r(t, A)] \cdot \Phi \cdot A \cdot \varepsilon(t)$$

dove con t si è indicato il valore di durata critica, mentre $r(t, A)$, rappresenta il fattore di ragguglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata, t , e della superficie del bacino A .

In base a tale metodo, la portata massima che affluisce alla sezione di chiusura di un bacino, nell'ipotesi che la durata della pioggia critica sul bacino sia pari al tempo di corrivazione, è data dalla seguente espressione

$$Q = \frac{\varphi \cdot h \cdot A}{3,6 \cdot tc}$$

- Q = portata di piena [mc/s]
- φ = coefficiente di afflusso,
- hc = altezza di pioggia [mm];
- tc = tempo di corrivazione [ore].

Per l'applicazione corretta del metodo è necessario pertanto valutare accuratamente tutte le grandezze descritte ed in primo luogo l'altezza di pioggia, attraverso le curva di possibilità pluviometrica.

8.2 L'altezza di pioggia calcolata con la distribuzione TCEV

L'intensità di precipitazione, $i[t, T]$, che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che, com'è noto, esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T . Tale curva ha solitamente la seguente notazione:

$$h(T) = a \cdot d^n$$

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica, in questo studio di compatibilità, si è utilizzato il modello probabilistico TCEV, infatti recenti studi per la Sardegna mostrano che il modello probabilistico ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche.

La metodologia regionale di calcolo si basa sull'inferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria dimensionale così definita:

$$h' = \frac{h(d)}{\bar{h}(d)}$$

che è il massimo annuale di pioggia per assegnata durata, d , normalizzato rispetto alla media \bar{h} e successivamente sul calcolo della $\bar{h}(d)$ per le diverse durate.

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata è per ciascun tempo di ritorno T :

$$h'(T) = a \cdot d^n$$

dove i parametri della curva, $a(T)$ ed $n(T)$, vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO), per durate minori e maggiori di 1 ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni.

L'altezza di pioggia giornaliera h_T con assegnato tempo di ritorno T in anni è data da :

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.69319 + 0.72015 \text{Log}_{10}T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \\ \text{SZO 2} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.60937 + 0.91699 \text{Log}_{10}T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \\ \text{SZO 3} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.47839 + 1.22460 \text{Log}_{10}T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \end{aligned}$$

Il territorio di Oristano rientra nella sottozona 1 (SZO 1). (Fig. a)

La pioggia indice giornaliera μ_g è la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera.

K_T è il coefficiente (adimensionale) di crescita espresso in funzione del tempo di ritorno T.

Il valore della pioggia indice giornaliera μ_g (espressa in mm), si ricava dalla carta delle isoiete sotto riportata. (Fig. b)

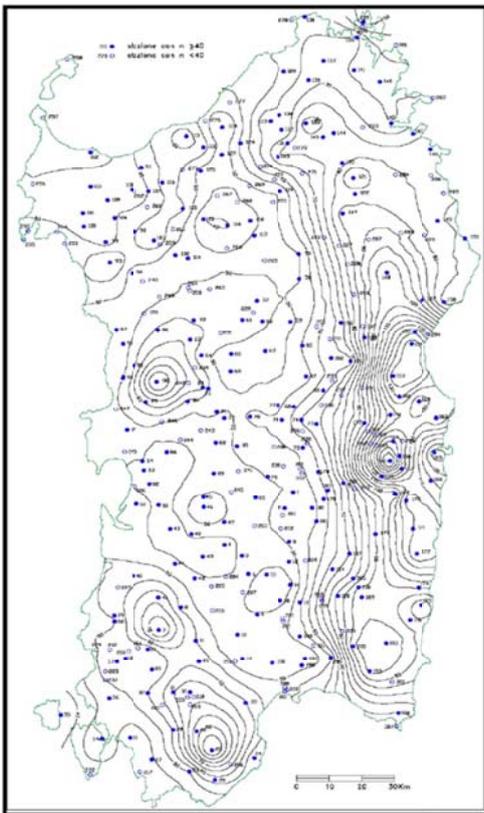


Figura b: Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera



Figura a: Carta delle Sottozone Omogenee per le piogge brevi e intense

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

$$h_T(\tau) = \mu(\tau) K_T(\tau) = (a_1 a_2) \tau^{(n_1 + n_2)}$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti T e τ

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.69319 + 0.72015 \text{Log}_{10}T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \\ \text{SZO 2} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.60937 + 0.91699 \text{Log}_{10}T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \\ \text{SZO 3} \quad h(T) &= \mu_g K_T = \mu_g [0.47839 + 1.22460 \text{Log}_{10}T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10}T)^2] \end{aligned}$$

a) per tempi di ritorno $T \leq 10$ ANNI

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad a_2 &= 0.66105 + 0.85994 \text{ Log}_{10} T & ; \quad n_2 &= -1.3558 \cdot 10^{-4} - 1.3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T \\ \text{SZO 2} \quad a_2 &= 0.64767 + 0.89360 \text{ Log}_{10} T & ; \quad n_2 &= -6.0189 \cdot 10^{-3} + 3.2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T \\ \text{SZO 3} \quad a_2 &= 0.62408 + 0.95234 \text{ Log}_{10} T & ; \quad n_2 &= -2.5392 \cdot 10^{-2} + 4.7188 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T \end{aligned}$$

b) per tempi di ritorno $T > 10$ ANNI

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad a_2 &= 0.46378 + 1.0386 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0.18449 + 0.23032 \text{ Log}_{10} T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 & (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T & (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \\ \text{SZO 2} \quad a_2 &= 0.44182 + 1.0817 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0.18676 + 0.24310 \text{ Log}_{10} T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 & (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T & (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \\ \text{SZO 3} \quad a_2 &= 0.41273 + 1.1370 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0.19055 + 0.25937 \text{ Log}_{10} T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 & (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T & (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \end{aligned}$$

Per quanto riguarda la pioggia indice di breve durata è stata definita una legge monomia i cui parametri dipendono unicamente dalla pioggia indice giornaliera del medesimo sito, ed in particolare: la pioggia media per diverse durate, detta anche pioggia indice, $\bar{h}(d)$, è funzione dalla pioggia media giornaliera, \bar{h}_g , secondo le espressioni:

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

dove \bar{h}_g si ricava dalla distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera sull'intera Sardegna.

8.3 Il coefficiente di afflusso

Il valore del coefficiente di afflusso ϕ presente nella Formula Razionale, può essere calcolato con il metodo del SCS-Curve Number. Detto metodo, messo a punto dal Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture, permette di ricavare la pioggia netta in base all'espressione:

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

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

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

I = è l'assorbimento iniziale

CN = è un indice con valori compresi tra [0 - 100]:

- CN = 0 indica superficie totalmente permeabile;
- CN = 100 indica superficie completamente impermeabile.

Per quanto riguarda la tipologia litologica del suolo, l'SCS ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi, riportati nella tabella seguente, sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di un prolungato adacquamento.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Figura 20: Gruppi di suolo in base alla capacità di assorbimento.

8.4 Il tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione t_c rappresenta il tempo che impiega a raggiungere la sezione di chiusa del bacino l'acqua che cade nelle parti più lontane dello stesso.

La massima concentrazione delle acque di deflusso nella sezione considerata, cioè la massima portata, avviene proprio dopo un tempo $t = t_c$ dall'inizio della precipitazione.

Il tempo di corrivazione è un elemento di valutazione assai difficile in quanto dipende dalla estensione e dalla configurazione del bacino, dalle cadenti, dal grado di sistemazione sia delle campagne che dei canali, dalle colture, ecc., tutti elementi di difficile valutazione.

Le Linee Guida del PAI riportano, in via non esaustiva, varie formule per il calcolo del tempo di corrivazione quali Giandotti, Ventura, Pasini, Kirpich ecc.

Tenuto conto che l'area di intervento è inserita in un contesto totalmente pianeggiante diventa poco realistico utilizzare le formule classiche per superfici di versante, come la formula di Giandotti e le altre suggerite dal PAI anche perché, comunque, l'area è molto piccola se confrontata con le superfici per le quali la formula ha valore.

8.5 Coefficiente di deflusso nell'area di progetto

Come evidenziato precedentemente l'area in cui ricade l'intervento è ricompresa all'interno del Bacino Idrografico del Tirso e non ricade all'interno di aree esondabili a pericolosità idraulica. Va inoltre

precisato che nell'ambito dell'area interessata non grava nessun reticolo idrografico locale e minore che possa dare adito a qualsiasi rischio idraulico anche di minima entità.

Tale studio si limita quindi al bacino costituito dalla superficie di lottizzazione e dalle superfici limitrofe a detta lottizzazione che, per gravità, insistono su quest'area, ed è quindi volto a non peggiorare la situazione attuale, e non a migliorare eventuali carenze idrauliche dell'intero bacino.

La determinazione delle frazioni di pioggia "efficace", cioè della parte di volume idrico meteorico che effettivamente affluisce alla rete scolante comporta la determinazione del coefficiente di deflusso dell'area in oggetto.

In pratica il coefficiente di deflusso è il parametro che determina la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi: è infatti il rapporto tra il volume di pioggia defluito attraverso una assegnata sezione in un determinato intervallo di tempo e il volume di pioggia precipitato nello stesso intervallo.

I valori del coefficiente di deflusso Φ cui fare riferimento, sono facilmente reperibili nella bibliografia tecnica, dipendono dal tipo di superficie scolante e dalla durata oraria della pioggia considerata. Per la valutazione dei coefficienti di deflusso delle varie superfici si è fatto riferimento al testo "Fognature" di Datei – Da Deppo di cui si riporta la tabella dei coefficienti di deflusso.

Valori del coefficiente di deflusso relativi a una pioggia avente durata oraria	
Tipi di superficie scolante	ϕ
Tetti metallici	0,95
Tetti a tegole	0,90
Tetti piani con rivestimento in calcestruzzo	0,70÷0,80
Tetti piani ricoperti di terra	0,30÷0,40
Pavimentazioni asfaltate	0,90
Pavimentazioni in pietra	0,80
Massicciata in strade ordinarie	0,40÷0,80
Strade in terra	0,40÷0,60
Zone con ghiaia non compressa	0,15÷0,25
Boschi	0,10÷0,30
Parti centrali di città completamente edificate	0,70÷0,90
Quartieri urbani con pochi spazi liberi	0,50÷0,70
Quartieri urbani con fabbricati radi	0,25÷0,50
Tratti scoperti	0,10÷0,30
Giardini e cimiteri	0,00÷0,25
Terreni coltivati	0,20÷0,60

(Tratto dal volume "Fognature" – Luigi Da Deppo e Claudio Datei)

Nel caso in esame, si sono prese in considerazione le due configurazioni , attuale e di progetto, assegnando ad ogni tipo di superficie della lottizzazione un idoneo coefficiente di deflusso. Si è proceduto quindi calcolando il coefficiente di deflusso equivalente, ovvero un coefficiente di deflusso calcolato come media ponderata sulle aree:

$$\bar{\Phi} = \frac{\sum S_i \cdot \Phi_i}{S}$$

ossia la superficie S attuale è composta da aree S_i caratterizzate da un omogeneo coefficiente di deflusso Φ , mentre quella di progetto sarà formata da diversi coefficienti di deflusso Φ_i . Svolgendo i

calcoli si ottengono quindi due coefficienti, uno valido per lo stato attuale e uno per lo stato di progetto.

Nella suddivisione delle aree della lottizzazione e nell'individuazione dei rispettivi coefficienti di deflusso si sono fatte le seguenti considerazioni:

- Area occupata dagli edifici e dalle superfici asfaltate, o comunque assimilabili è stato attribuito un coefficiente di deflusso pari a 0.8
- Area occupata da superfici semipermeabile è stato attribuito un coefficiente di deflusso pari a 0.5 (accessi privati, pavimentazioni in pietra, camminamenti in genere,etc.)
- Alle aree a verde attrezzato e privato è stato attribuito un coefficiente di deflusso pari a 0.20

con l'edificazione del comparto le superfici saranno ripartite nel modo seguente:

<i>Camminamenti privati</i>	1552,00 mq
<i>Accessi privati, piazzuole, etc</i>	1066,00 mq
<i>Totale superfici semipermeabili</i>	2618,00 mq

<i>Superficie totale edificata</i>	1781,00 mq
<i>Superficie strade e marciapiedi e parcheggi</i>	1976,00 mq
<i>Totale superfici impermeabili</i>	3757,00 mq

<i>Verde privato</i>	3846,00 mq
<i>Verde pubblico attrezzato</i>	1164,00 mq
<i>Totale superfici permeabili</i>	5010,00 mq

La zona interessata dal progetto è attualmente adibita in parte ad uso agrario. Pertanto, nella situazione **ante operam**, il coefficiente di deflusso (Φ) è stato posto pari a 0,20.

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva delle superfici scolanti **post operam** e dei relativi coefficienti di deflusso utilizzati a cui fare riferimento per il calcolo delle portate meteoriche massime.

STATO ANTE OPERAM			
<i>Tipo superficie</i>	<i>Superficie mq</i>	Φ	<i>Si * Φ</i>
<i>permeabile</i>	11385	0,2	2277,00

STATO POST OPERAM			
<i>Tipo superficie</i>	<i>Superficie mq</i>	Φ	<i>Si * Φ</i>
<i>impermeabile</i>	3757,00	0,9	3382,00
<i>semipermeabile</i>	2618,00	0,55	1440,00
<i>permeabile</i>	5010,00	0,16	802,00

8.6 Calcolo della portata di deflusso

Tra i molti modelli di tipo analitico di trasformazione afflussi /deflussi disponibili in letteratura si è optato, come già evidenziato nei paragrafi precedenti, per il metodo Razionale basandosi sulle seguenti assunzioni:

- *la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino,*
- *la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T_r di quello dell'intensità di pioggia,*
- *l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione T_c .*

La portata massima che affluisce alla sezione di chiusura del bacino è data dalla seguente espressione:

$$Q = I \cdot A \cdot \psi$$

A = area del bacino

$I = \frac{h}{t}$ intensità di pioggia con t durata dell'evento piovoso e h altezza della precipitazione

ψ = coefficiente di deflusso

Per l'applicazione corretta del metodo è necessario pertanto valutare accuratamente tutte le grandezze descritte ed in primo luogo l'altezza di pioggia, attraverso le curva di possibilità pluviometrica.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica si è utilizzato il modello probabilistico TCEV precedentemente descritto.

Si sono quindi determinate le altezze di precipitazione più probabili in funzione della durata e del tempo di ritorno dell'evento considerato. Di seguito si riportano i risultati ottenuti per l'area studiata relativi a piogge brevi ed intense, di durata compresa tra 1 ora e 24 ore e con tempi di ritorno di 10, 30, 50, 100 e 200 anni.

T_r		$t = 1 h$	$t = 3h$	$t = 6 h$	$t = 12 h$	$t = 24 h$
10 anni	$h_{max} =$	24,76	31,08	44,58	55,97	70,02
30 anni	$h_{max} =$	31,35	41,33	64,06	84,54	111,33
50 anni	$h_{max} =$	34,31	46,10	73,65	98,97	132,99
100 anni	$h_{max} =$	38,26	52,57	87,01	119,56	164,30
200 anni	$h_{max} =$	42,19	59,04	100,56	140,72	196,91

8.7 Calcolo della portata eccedente (confronto attuale/progetto)

In base a quanto sopra scritto, si esegue il calcolo della portata totale d'acqua di deflusso eccedente rispetto alle condizioni di suolo originario precedenti la realizzazione della lottizzazione, in quanto è questa eccedenza che va a costituire il picco di piena.

Sono stati presi in considerazione i seguenti valori:

Superficie totale $S = 11385,00 \text{ mq}$

Tempo di ritorno $Tr = 50 \text{ anni}$

Coefficiente di deflusso attuale $\Phi = 0.20$

Coefficiente di deflusso progetto $\Phi = 0.54$

PORTATE DI DEFLUSSO ANTE OPERAM

$\Phi = 0.20$	[mm]	[mc]	[mc]	[mc]/[h]
<i>Durata ore</i>	<i>h</i>	<i>Vol.tot di pioggia</i>	<i>Vol. deflussi</i>	<i>Vol. nell'unità di tempo</i>
1	34,31	390,62	78,12	78,12
3	46,10	524,85	104,97	34,99
6	73,65	838,51	167,70	27,95
12	98,97	1126,77	225,35	18,78
24	132,99	1502,82	300,56	12,52

PORTATE DI DEFLUSSO POST OPERAM

$\Phi = 0.54$	[mm]	[mc]	[mc]	[mc]/[h]
<i>Durata ore</i>	<i>h</i>	<i>Vol.tot di pioggia</i>	<i>Vol. deflussi</i>	<i>Vol. nell'unità di tempo</i>
1	34,31	390,62	210,93	210,93
3	46,10	524,85	283,42	94,47
6	73,65	838,51	452,79	75,47
12	98,97	1126,77	608,46	50,70
24	132,99	1502,82	811,52	33,81

Come si può ricavare dalle tabelle le eccedenze attuali in caso di precipitazioni eccezionali con durata oraria sono:

<i>Durata</i>	<i>Differenza con situazione attuale</i>	<i>Differenza con situazione attuale</i>
[h]	[mc]/[h]	[litri]/[sec]
1	132,81	36,89
3	59,48	16,52
6	47,52	13,20
12	31,92	8,87
24	21,29	5,91

La portata critica di eccedenza come si può ricavare dalle tabelle si ha per piogge di un'ora con tempo di ritorno di cinquanta anni, pari a 132,81 mc/h.

Tale valore di portata rappresenta il valore massimo ammissibile, ossia il riferimento oltre il quale non sarà possibile scaricare dal nuovo insediamento e rappresenta un vincolo progettuale tale da imporre l'adozione di volumi di invaso variamente localizzati al fine di contenere le portate meteoriche in esubero.

9. Invarianza idraulica

Come noto uno dei maggiori effetti dell'urbanizzazione è il consumo di territorio. Il consumo di territorio si concretizza, dal punto di vista idrologico, nell'aumento dell'impermeabilizzazione dei suoli; una delle prime conseguenze è la diminuzione complessiva dei volumi dei piccoli invasi, ovvero di tutti i volumi che le precipitazioni devono riempire prima della formazione dei deflussi. I piccoli invasi, in terreni naturali, sono costituiti dalle irregolarità della superficie e da tutti gli spazi delimitati da ostacoli casuali che consentono l'accumulo dell'acqua. Sotto determinate condizioni, la presenza stessa di un battente d'acqua sulla superficie (dell'ordine di pochi millimetri) costituisce un vaso che può avere effetti non trascurabili dal punto di vista idrologico. In senso del tutto generale, si può dire che i volumi di vaso sono la principale causa del fenomeno della laminazione dei deflussi.

L'impermeabilizzazione delle superfici e la loro regolarizzazione contribuiscono in modo determinante all'incremento del coefficiente di afflusso (la percentuale di pioggia netta che giunge in deflusso superficiale) e all'aumento conseguente del coefficiente udometrico (la portata per unità di superficie drenata) delle aree trasformate.

Il principio dell'invarianza idraulica sancisce che la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area deve essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo in quell'area.

La portata in eccesso, derivata dall'impermeabilizzazione dell'area, o la quota parte che non può essere recepita dal collettore, deve essere trattenuta momentaneamente all'interno dell'area oppure va allontanata in altra maniera, tipo dispersione nel sottosuolo.

Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi idrici in eccesso, rispetto alle condizioni pre-trasformazione, o laminando le portate. In quest'ultimo caso si opera praticamente realizzando vasche di accumulo temporaneo, la cui funzione è quella di trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici, per rilasciarla quindi gradualmente con una portata prestabilita, non superiore a quella caratteristica dell'area prima della trasformazione.

Le tipologie d'intervento per ottenere l'invarianza idraulica sono diverse tra cui:

- *creazione di un vaso concentrato a cielo aperto o interrato;*
- *creazione di un vaso diffuso sotterraneo (sovradimensionamento rete fognaria);*
- *dispersione nel sottosuolo (pozzi drenanti)*

Nel caso in esame, considerato la presenza di volumi idrici da smaltire non eccessivi, si ritiene che si possa intervenire mediante la realizzazione di condotte sovradimensionate, in modo che, quando la portata entrante supera quella uscente, si abbia un progressivo riempimento della rete che funge da serbatoio diffuso nell'area.

L'adozione di tale tecnica privilegia principalmente le situazioni nelle quali gli spazi per altre opere compensative risultano limitati come appunto nella lottizzazione in progetto e ben si presta ad utilizzare come sede di vaso quella sottostante alla rete stradale ed ai piazzali.

Si ipotizza di concentrare i volumi d'acqua da invasare in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino corrispondente all'area in esame.

9.1 Calcolo del collettore

Il dimensionamento del collettore di scarico in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino viene determinato ponendoci nell'ipotesi di moto uniforme.

In condizioni di moto uniforme la velocità media all'interno della condotta è legata alle caratteristiche della stessa (pendenza, scabrezza, dimensioni) e dalla corrente (raggio idraulico, area della sezione bagnata) dalla legge del moto uniforme che si esprime tramite la ben nota formula di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R} \cdot i$$

dove:

χ = è il coefficiente di scabrezza

A = area del bacino

R = è il raggio idraulico

i = la pendenza di fondo

Il coefficiente di scabrezza viene calcolato con la formula di Bazin

$$\chi = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

γ = indice di scabrezza

Fissata la pendenza i , il problema si riduce alla definizione della dimensione della sezione in modo che il tirante idrico h connesso con la portata Q di progetto, assicuri un prefissato franco minimo di sicurezza.

Nel caso di condotti chiusi la portata massima di un collettore non corrisponde al grado di riempimento massimo della condotta. Infatti la presenza di un franco, deve consentire una completa ed efficace aerazione della canalizzazione ed evitare che i fenomeni ondosi, che possono innescarsi sulla superficie libera, ocludano momentaneamente lo speco provocando fenomeni di battimento pericolosi per la durata e la stabilità della condotta.

Il riempimento massimo deve essere inferiore a quello a cui corrisponde la massima velocità di moto uniforme (per condotte circolari quindi $h_{max} < 0,8 D$).

La velocità massima in condotta non dovrà superare di norma i 2 m/s, in casi eccezionali i 4 m/s;

Considerando una tubazione a sezione circolare in PVC (UNI EN 1401-1), tipo Classe SN 4, diametro \varnothing 300 con pendenza longitudinale del 0.02%, la portata in corrispondenza della sezione di chiusura risulta essere di 83.61 lt/sec.

A tale valore corrisponde un' altezza idrica $h = 18$ cm, con una velocità in condotta di 1.8 m/sec e un grado di riempimento pari al 60%.

Il valore ottenuto verifica la portata massima in condizioni di pioggia critica di progetto con un tempo di ritorno di 50 anni.

10. Conclusioni

Alla luce di quanto esposto, la realizzazione delle opere in progetto porterà quindi ad un aumento della quantità d'acqua defluita, in quanto aumenta il coefficiente di deflusso delle superfici rispetto alla situazione attuale.

Per questo motivo si ritiene indispensabile la realizzazione di sistemi di accumulo che permettano la laminazione degli eventi di piena.

Nel caso specifico aumentando la capacità d'invaso, mediante il sovradimensionamento delle tubazioni della linea fognaria della lottizzazione, si riuscirà a ritardare gli eventi di piena conseguenti la precipitazione. In questo modo le acque verranno convogliate verso il corpo ricettore finale (sistema fognario comunale) solo quando questo sia in grado di riceverle, evitando di mandare in crisi il sistema idraulico.

Gli interventi previsti, una volta attuate le misure compensative d'invarianza idraulica, non comporteranno quindi un aggravio delle condizioni di deflusso idrico rispetto allo stato esistente.

Per quanto sopra spiegato e dimostrato l'intervento in progetto non comporta alcun aggravio dell'esistente livello di rischio idraulico pertanto non si ravvedono ostative alla realizzazione dello stesso.