

Studio Tecnico Ing. Antonio Tamponi

Tel. 079 / 660434 - Via Iosto 4- 07023 Calangianus (SS)

COMUNE DI CALANGIANUS (SS)

PROPRIETA' :

MARCO TAMPONI

Tav

(2S)

PROGETTO :

STUDIO GENERALE DI UN COMPARTO IN ZONA D

PROGETTO STRALCIO

Studio Generale di assetto idrogeologico

-Parte Idraulica-

ai sensi dell'Art.8 comma 2 delle

N.T.A. del P.A.I.

RELAZIONE TECNICO/ILLUSTRATIVA

STIMA DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Data 15/4/2020

IL PROGETTISTA

IL PROPRIETARIO

Rif. 26/2017



RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

Indice

Cap. 1

1.1 - Inquadramento territoriale.....	3
1.2 - Aspetti idrogeologici dell'area.....	4
1.3 - Aree perimetrate a pericolosità e rischio idraulico.....	5
1.4 - Quadro metodologico per lo studio idrogeologico e idraulico.....	6
1.5 - Analisi idrauliche e idrogeologiche.....	7

Cap. 2

2.1 - Individuazione del bacino idrografico dell'area di studio.....	14
2.2 - Modellazione idraulica.....	15
2.3 - Risultati simulazione.....	16

Cap. 3

3.1 - Stima dell'invarianza idraulica.....	20
3.2 - Stato attuale ante operam.....	21
3.3 - Stato di progetto post operam.....	22
3.4 - Stima dell'idrogramma di piena.....	22
3.5 - Risultati dello studio d'invarianza.....	23

Premessa

Il sottoscritto Ing. Antonio U. Tamponi, nell'ambito della redazione del "Piano di lottizzazione convenzionato in zona D1 - località La Sarra - Comune di Calangianus (SS)" è stato incaricato all'esecuzione del presente studio di compatibilità idraulica come prescritto dalle Norme di Attuazione del P.A.I. Infatti, gli indirizzi per la pianificazione urbanistica contenuti nelle N.A. definiscono che, indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal P.A.I., in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici e di varianti agli strumenti urbanistici vigenti, i Comuni assumono e valutano le indicazioni di appositi studi di compatibilità riferiti a tutto il territorio comunale o alle sole aree interessate dagli interventi.

Inoltre, l'art. 4 comma 5 delle medesime N.A. stabilisce che in sede di traslazione delle indicazioni del P.A.I. sugli strumenti urbanistici esistenti vengano evidenziati, attraverso analisi di maggiore dettaglio, ovvero accertamenti tecnici condotti in sede locale, situazioni indefinite per le quali si renda necessaria una definizione di scala non presente negli elaborati del P.A.I., che eventualmente potrà configurarsi come variante al P.A.I. secondo specifiche procedure amministrative (art. 37).

In questa fase lo Studio di compatibilità idraulica approfondisce a scala locale le aree di pericolosità e rischio idrogeologico definite dal P.A.I. e delimita puntualmente le aree di significativa pericolosità non perimetrate dal P.A.I., coerentemente con quanto disposto dall'art. 8 comma 2, comma 3 e comma 5 e dal correlato art. 26 comma 1 lettera a) nella N.A. del P.A.I. Infatti la normativa stabilisce che, in sede di adeguamento o redazione degli strumenti urbanistici, i reticoli idrografici minori gravanti sui centri edificati siano delimitati puntualmente anche se non direttamente perimetrati dal P.A.I., e che i Comuni nel riportare a scala locale le aree di pericolosità e rischio idrogeologico dovranno verificare le previsioni urbanistiche con le condizioni di dissesto idrogeologico presenti o potenziali evidenziati dal PAI stesso (art. 4 comma 6).

Capitolo 1

1.1 - Inquadramento territoriale

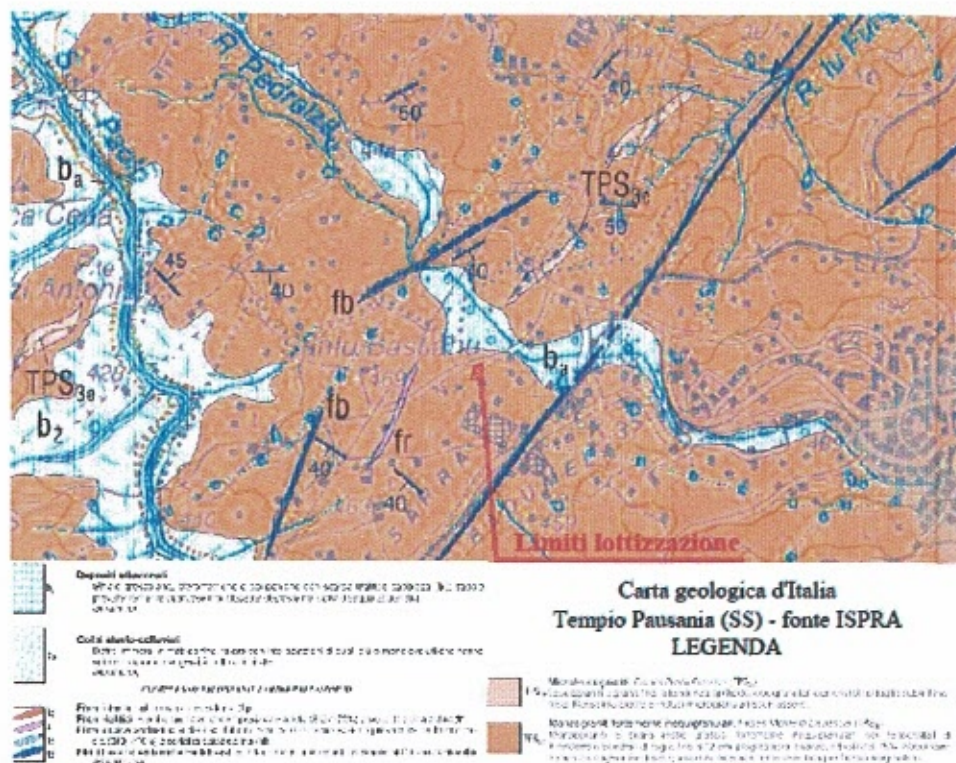


L'intervento oggetto del presente studio riguarda un'area sita nel territorio di Calangianus, in località La Sarra, zona classificata nel P.U.C. come D1 "Comparti produttivi artigianali con P.d.L. approvati", distinta in catasto al Foglio 43 e Mappale 671 (linea verde) del Comune di Calangianus (SS). L'area in esame si presenta con forma planimetrica abbastanza regolare su quattro lati, di cui, quello a nord, rappresenta il confine con la strada provinciale mentre i restanti tre lati costituiscono il confine con altre proprietà. L'area di cui al Piano di lottizzazione succitato è proprietà del Signor Marco Tamponi, nonché committente del presente studio. Il lotto considerato ha un'estensione complessiva di circa 2230 mq, di cui circa 223 mq destinati a spazi per attrezzature di interesse comune come aree verdi e parcheggio.

1.2 - Aspetti idrogeologici dell'area

L'acqua meteorica relativa al bacino idrico del fiume Pedralza trova già predisposte linee preferenziali di scorrimento in ordine gerarchico dal livello capillare fino alle linee di drenaggio principali. Il deflusso dai solchi a quota più alta a quelli inferiori avviene secondo una microcattura del solco più grande a spese di quello più piccolo.

L'alveo del fiume Pedralza si estende a NNE del lotto interessato, a una distanza minima di 98 m. L'acqua che l'attraversa proviene dal centro abitato di Calangianus e prosegue, dopo l'area di interesse, per altri 450 m prima di confluire nel fiume Santu Paulu diretto verso il lago del Liscia.



Il suolo interessato dall'intervento risulta caratterizzato da formazioni di monzograniti fortemente inequigranulari per la presenza di fenocristalli di K-feldspato fino a 12 cm, risalenti al Permiano, ultimo dei sei periodi che costituiscono l'era paleozoica. La superficie pianeggiante risulta orientata a nord a una quota media di 457 m. s.l.m.

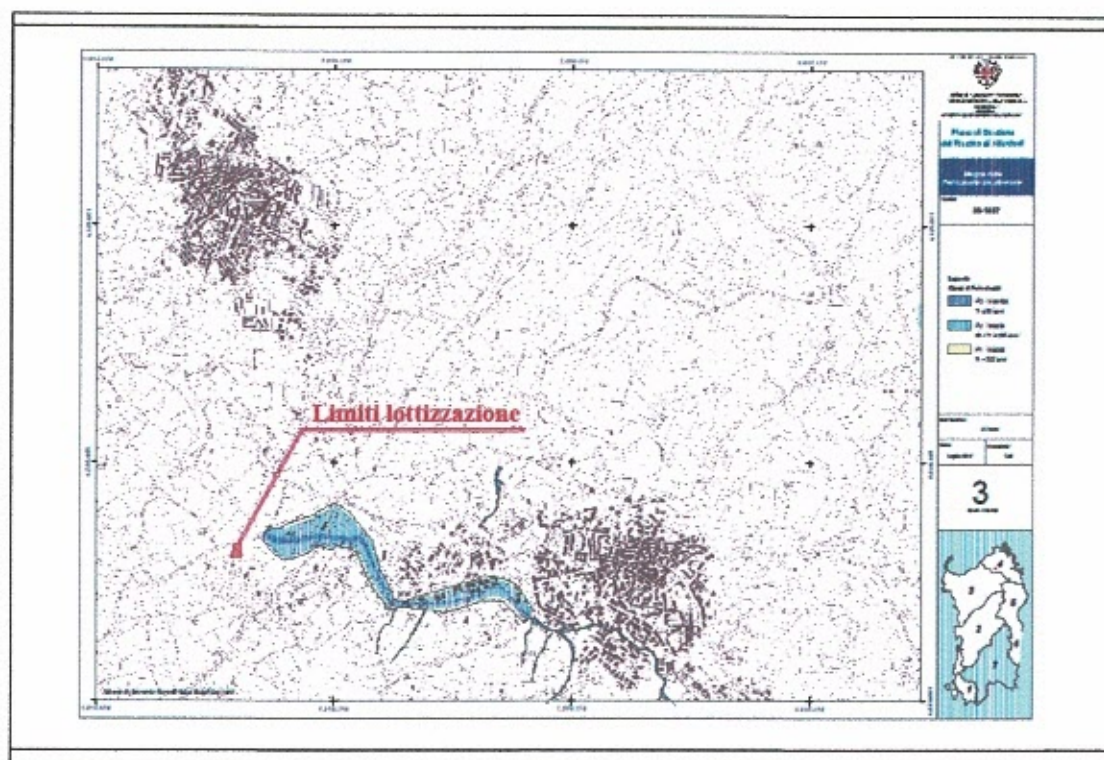
Il suolo attraversato dall'elemento idrico Pedralza presenta una struttura più recente, formata da depositi alluvionali risalenti all'Olocene, caratterizzata dalla presenza di ghiaie grossolane con scarsa matrice sabbiosa. La quota media s.l.m. del corso d'acqua nelle vicinanze dell'area interessata, considerata sul fondo, è di 455 m. Il percorso del fiume alla distanza minima dalla lottizzazione risulta essere regolare, in quanto a inviluppo e geometria delle sezioni, non tortuoso e in stato ottimale di manutenzione per pulizia dell'alveo e del suolo circostante.

Il lotto di terreno interessato dallo studio si trova a monte della strada di La Sarra, rispetto al centro abitato di Calangianus, mentre il fiume Pedralza prosegue il suo corso attraversando la strada al di sotto di un ponte costituente una luce circolare di 5,5 m di diametro e interamente rivestita da una superficie metallica, corrugata, zincata e in buono stato di conservazione.

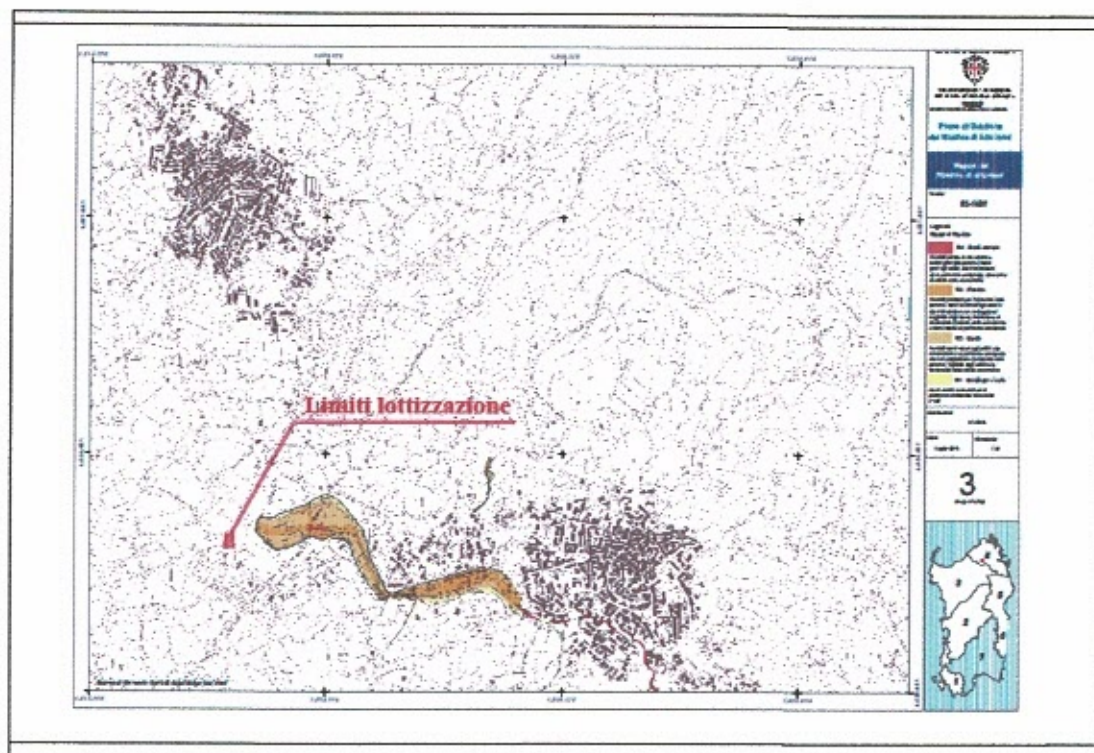
1.3 - Aree perimetrate a pericolosità e rischio idraulico

Nell'ambito dello "Studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica ai sensi delle N.A. del P.A.I." relativo al procedimento di adozione del PUC di Calangianus, approvato con deliberazioni del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino Regionale n. 2 del 15.03.2016, sono state perimetrate nuove aree a pericolosità idraulica, e in virtù della medesima delibera di approvazione, conformemente a quanto previsto nell'art. 65 comma 7 del Decreto Legislativo 152/2006, le aree di pericolosità idraulica e da frana, così come individuate, saranno soggette alle misure di salvaguardia di cui agli articoli 4, 8 commi 8, 9, 10, 11 e 12 articoli 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 e 34 delle Norme di Attuazione del P.A.I.

In particolare lo studio individua delle aree in prossimità della lottizzazione oggetto del presente studio lungo l'asta del fiume Pedralza, rif. SS_B378_001, che comunque non interessano nemmeno in parte le aree oggetto degli interventi di progetto.



Aree a pericolosità idraulica individuate dallo "Studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica ai sensi delle N.A. del P.A.I." relativo al procedimento di adozione del PUC di Calangianus, rispetto all'area oggetto della lottizzazione.



Aree a rischio alluvione individuate dallo "Studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica ai sensi delle N.A. del P.A.I." relativo al procedimento di adozione del PUC di Calangianus, rispetto all'area oggetto della lottizzazione.

1.4 - Quadro metodologico per lo studio idrogeologico e idraulico

La presente relazione è parte integrante dello "Studio di Compatibilità Idraulica" espressamente previsto dall'art. 4 comma 6 delle Norme di Attuazione del PAI approvate con Deliberazione n°54/33 assunta dalla Giunta Regionale in data 30.12.2004 e resa esecutiva in forza del Decreto dell'Assessore ai Lavori Pubblici in data 21.02.2005, n°3. Lo studio idraulico è redatto in conformità con quanto specificato dall'art. 24 delle Norme di Attuazione del PAI, anche per le aree non espressamente perimetrate dal PAI, così come previsto dal comma 1 dell'art. 25 delle stesse Norme di Attuazione.

Lo studio contiene dunque:

- l'analisi idrologica finalizzata alla definizione della piena di riferimento completa di caratterizzazione geopedologica del bacino sotteso dalla sezione di controllo. La stima della piena di riferimento è stata condotta per i tempi di ritorno relativi al livello di pericolosità dell'area interessata dall'intervento indicati dal PAI;
- l'analisi idraulica dell'asta fluviale e dell'area di allagamento compresa tra due sezioni caratterizzate da condizione al contorno definibili;
- l'analisi dei processi erosivi in alveo e nelle aree di allagamento;

Per quanto attiene alle metodologie di analisi idrologica e idraulica sono stati applicati gli stessi criteri indicati nelle Linee Guida allegate alla Relazione del PAI.

Lo studio è quindi corredato da:

- planimetria dell'area di intervento;
- risultati delle elaborazioni numeriche;
- documentazione grafica con apposite sezioni e profili idraulici atti ad identificare i livelli di piena;
- elaborati grafici di dettaglio delle carte delle aree di pericolosità e di rischio idraulico.

Conformemente alle disposizioni impartite dalle Linee Guida del PAI, le valutazioni probabilistiche delle portate di piena sono state condotte con riferimento ai tempi di ritorno di 50, 100, 200, e 500 anni.

1.5 - Analisi idrauliche e idrogeologiche

Nel caso della Sardegna, la consistenza dei dati disponibili, e la necessità di stimare i valori in sezioni non osservate, impone di valutare le portate di piena ad assegnata frequenza mediante il confronto critico dei risultati ottenuti dalle metodologie indirette, particolarmente adatti alla definizione delle portate di piena dei piccoli bacini come quelli che interessano l'area oggetto del presente studio.

La poca disponibilità di osservazioni storiche di portata, fa sì che non si possa prescindere dall'utilizzo di procedure indirette per la valutazione della portata di piena. Tali metodologie stimano la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di questa ultima caratterizza quella della portata di colmo.

Per la stima delle portate di piena si fa riferimento al modello cinematico (o razionale) che si basa sulle seguenti ipotesi fondamentali:

- la pioggia critica è quella che ha durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
- il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica;
- la trasformazione della piena è dovuta esclusivamente ad un fenomeno di trasferimento della massa liquida.

La portata di massima piena che scaturisce dalle suddette ipotesi è fornita dalla relazione:

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot \psi \cdot \frac{h_c}{T_c} \cdot S \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione [ore]

S = superficie del bacino [km^2]

h_c = pioggia critica di durata T_c [mm]

ψ = coefficiente di deflusso

Per la determinazione del tempo di corrivazione T_c è stata utilizzata la seguente relazione detta Formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{(H_m - H_0)}} \quad [\text{ore}]$$

Per quanto riguarda la determinazione dell'altezza di pioggia critica lorda h_c da utilizzare per l'applicazione della formula razionale si fa usualmente ricorso alle curve di possibilità pluviometrica che caratterizzano il regime pluviometrico sardo. Tali curve sono state ricavate utilizzando la **distribuzione TCEV**.

Secondo il modello probabilistico TCEV, che interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche, la pioggia lorda h viene ricavata dalla formula:

$$h(T_p) = a \cdot T_p^n \quad \text{dove:} \quad \begin{cases} a = a_1 \cdot a_2 \\ n = n_1 + n_2 \end{cases} \quad \text{quindi} \quad h(T_p) = a_1 \cdot a_2 \cdot T_p^{n_1+n_2} = \mu(T_p) \cdot k(T_p)$$

dove:

$$\mu(T_p) = a_1 \cdot T_p^{n_1} \quad \text{è la Pioggia Indice}$$

$$k(T_p) = a_2 \cdot T_p^{n_2} \quad \text{è il coefficiente di crescita}$$

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata > 1 ora
Sottozona 1	$a=0.46420-1.0376 \cdot \text{Log}(T)$	$a=0.46420-1.0376 \cdot \text{Log}(T)$
	$n=-0.18488+0.22960 \cdot \text{Log}(T)-3.3216 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n=-1.0469 \cdot 10^{-2}-7.8505 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.43797+1.0890 \cdot \text{Log}(T)$	$a=0.43797+1.0890 \cdot \text{Log}(T)$
	$n=-0.18722+0.24862 \cdot \text{Log}(T)-3.36305 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n=-6.3887 \cdot 10^{-3}-4.5420 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$
Sottozona 3	$a=0.40926+1.1441 \cdot \text{Log}(T)$	$a=0.40926+1.1441 \cdot \text{Log}(T)$
	$n=-0.19060+0.26438 \cdot \text{Log}(T)-3.8969 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n=1.4929 \cdot 10^{-2}+7.1973 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$

Parametri della curva di possibilità climatica per T_r maggiori di 10 anni

I valori di a_1 e n_1 si determinano in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g data dalla media dei massimi annui di precipitazione giornaliera; tali valori sono stati calcolati per diverse zone della Sardegna secondo la Carta delle Isoiete.

$$a_1 = \frac{\mu_g}{0,886 \cdot 24^{n_1}}$$

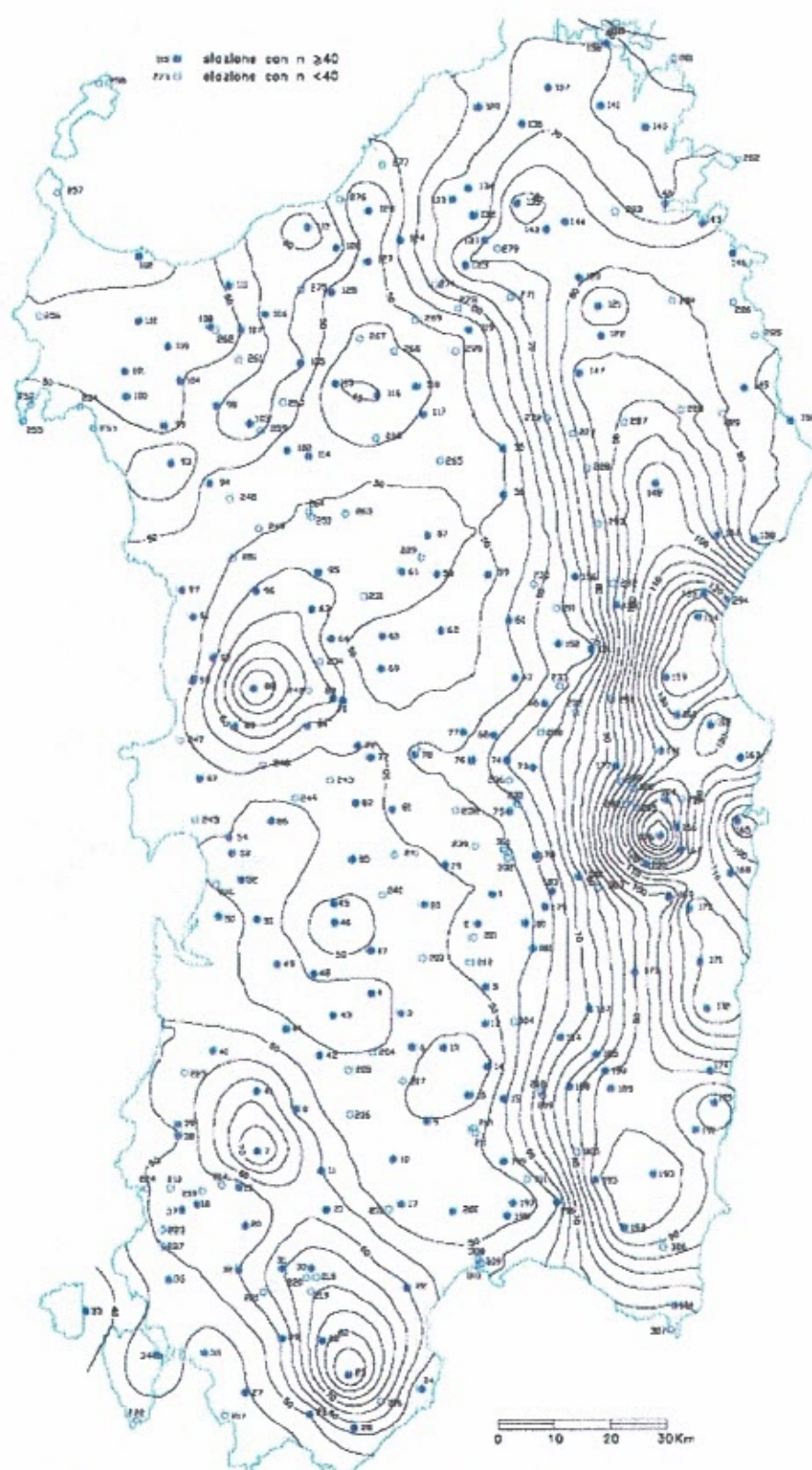
$$n_1 = -0,493 + 0,476 \cdot \log \mu_g$$

Dalla curva delle Isoiete si determina il valore μ_g pari a 75, da cui si ricava a_1 e n_1 e di conseguenza $\mu(T_p)$. Per quanto riguarda a_2 e n_2 si determinano con relazioni differenti per tempi di ritorno T_r maggiori o minori di 10 anni, per durate di pioggia T_p maggiori o minori di 1 ora e a seconda delle 3 sottozone omogenee (SZO) in cui è stata suddivisa la Sardegna.

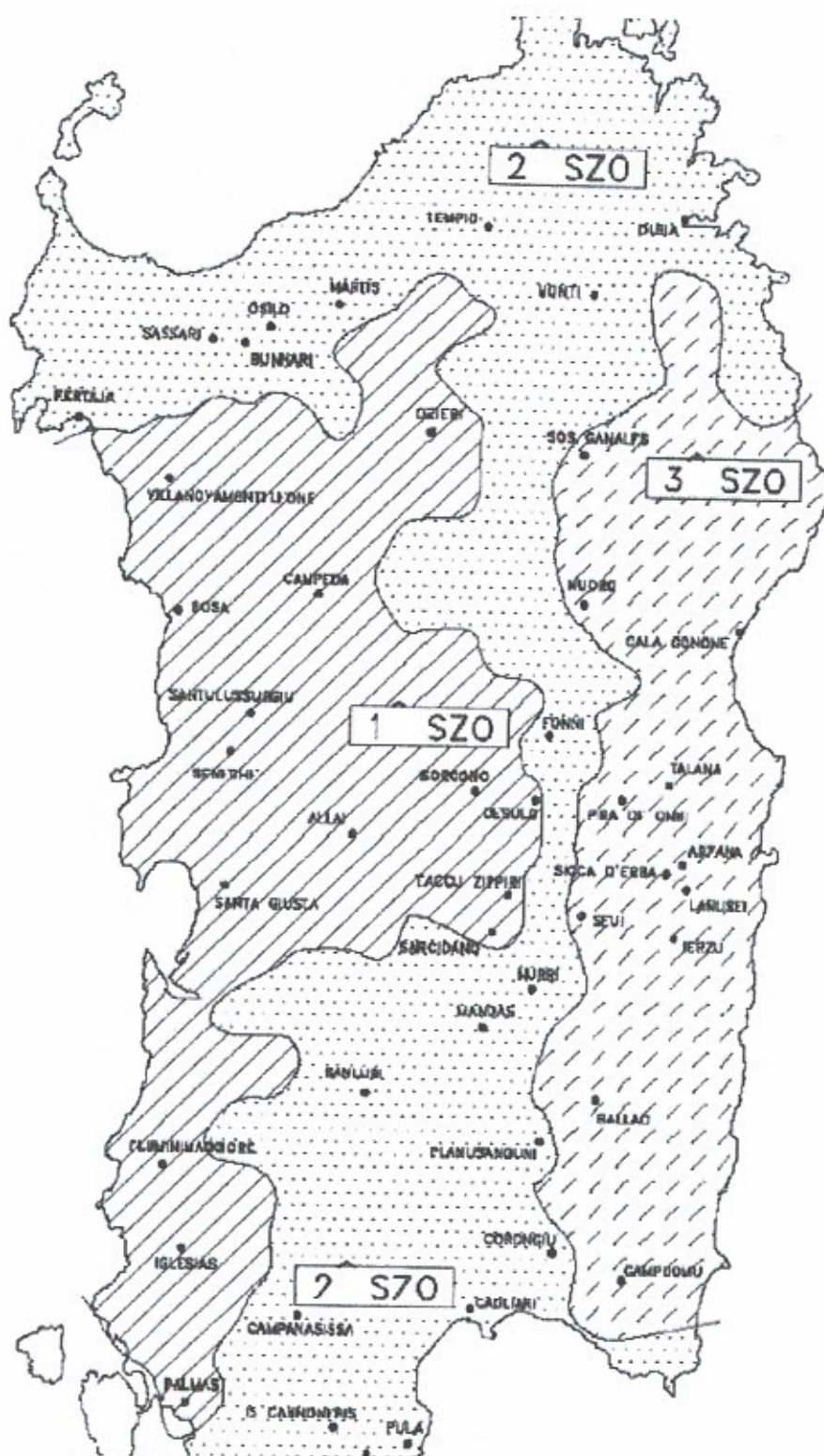
Il bacino dell'impluvio minore che interessa la lottizzazione ricade interamente nella sottozona (SZO 2), quindi per T_p minori di un'ora sono:

$$a_2 = 0,43797 + 1,0890 \log T_r$$

$$n_2 = -0,18722 + 0,24862 \cdot \log T_r - 3,36305 \cdot 10^{-2} \cdot (\log T_r)^2$$



Carta delle Isoiete - distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera-



Carta delle sottozone omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna

Ricavate le altezze di pioggia h dalle curve di possibilità pluviometrica si suppone che tali valori corrispondano al centro di scroscio che viene individuato per ipotesi nel punto in cui vi è la stazione di misura. Si considera poi tale pioggia uniformemente distribuita su tutto il bacino. In realtà la pioggia diminuisce allontanandosi dal centro di scroscio, quindi considerare quella stessa intensità di pioggia costante su tutto il bacino porta ad un errore per eccesso. Per tenere conto di ciò, si è deciso di applicare alle altezze di pioggia ottenute, un coefficiente di riduzione areale che è espresso da diverse relazioni matematiche tra cui quella, utilizzata dal VAPI Sardegna, che fa riferimento al Flood Studies Report del Wallingford Institute (Uk 1977).

$$ARF = 1 - f_1 \cdot T_p^{-f_2}$$

dove:

$$f_1 = 0,0394 \cdot S^{0,354}$$

$$f_2 = 0,4 - 0,0208 \cdot \ln(4,6 - \ln S) \quad \text{per } S < 20 \text{ km}^2$$

Si osserva che il coefficiente ARF:

- diminuisce all'aumentare della area S ;
- aumenta all'aumentare della durata di pioggia T_p .

In base a tale coefficiente verranno ricavate le altezze di pioggia h' pari alle altezze di pioggia lorda h calcolate con le curve di possibilità pluviometrica moltiplicate per il coefficiente ARF di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino.

Di fondamentale importanza per una corretta valutazione delle portate di piena è la stima del coefficiente di deflusso Ψ , che merita articolare attenzione perché può dare luogo a stime errate, anche rilevanti, della portata di piena. Infatti non tutta l'acqua totale (PIOGGIA TOTALE) contribuisce alla portata superficiale, parte si infiltra nel sottosuolo e va ad alimentare le falde, parte viene assorbita dalle piante, parte ritorna in testa al ciclo idrologico sotto forma di vapore, parte viene immagazzinata nelle depressioni superficiali e come umidità del suolo, e infine vi è una parte, in genere più cospicua, che va a formare il deflusso superficiale e scorre verso le zone di compluvio formando prima i rigagnoli quindi i torrenti e i fiumi arricchendosi sempre più in quantità.

La parte di pioggia totale che alimenta il deflusso superficiale è detta PIOGGIA NETTA e il coefficiente di deflusso rappresenta il rapporto tra tale pioggia e la pioggia totale.

Il metodo utilizzato per la determinazione del coefficiente di deflusso è il Metodo Curve Number elaborato dal Soil Conservation Service fin dal 1956. Nel rapporto VAPI per la Regione Sardegna si è scelto di adottare tale metodo, che consente di ricavare il valore della pioggia netta mediante la stima delle perdite di bacino dovute ai fenomeni di infiltrazione:

$$h_N = \frac{(h - I_a)^2}{h - I_a + f_s} \quad (1)$$

dove:

I_a = Fattore di ritenzione iniziale;

f_s = capacità massima di assorbimento del bacino (è la massima quantità invasabile nel terreno dopo l'inizio del deflusso superficiale).

Da riscontri sperimentali si è ricavato:

$$I_a = 0,20 \cdot f_s$$

quindi la (1) diventa:
$$h_N = \frac{(h - 0,20 \cdot f_s)^2}{h + 0,80 \cdot f_s} \quad (2)$$

f_s è collegato alle caratteristiche del suolo dalla seguente relazione:

$$f_s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

Il CN è uno indice numerico che descrive in percentuale la quantità di acqua caduta nel suolo che contribuirà al deflusso superficiale. Può variare da 0 a 100 anche se in pratica oscilla tra 25 e 98; per esempio un'area completamente pavimentata può avere CN=98 e un campo coltivato CN=25. Come è evidente dalla relazione (3) se CN è grande, l'infiltrazione f_s è piccola e quindi avremo elevati coefficienti di deflusso.

I valori del CN si ricavano in funzione dell'uso e della capacità di infiltrazione del suolo dalla tabella seguente:

USO DEL SUOLO	TIPO DI DRENAGGIO	CONDIZIONI IDROLOGICHE	TIPO DI TERRENO			
Terreno Residenziale			A	B	C	D
Zone urbane	85% impermeabile	qualsiasi	89	92	94	95
Zone industriali	72% impermeabile	---	81	88	91	93
Casa a schiera	65% impermeabile	---	77	85	90	92
Ville isolate	25% impermeabile	---	54	70	80	85
Parcheggi	100% impermeabile	---	98	98	98	98
Parchi	75% a verde	---	39	71	74	80
Strade pavimentate	Con cunette e fognatura	---	98	98	98	98
Strade in macadam	---	---	76	85	89	91
Strade sterrate	---	---	72	82	87	89
Terreno Agricolo						
Prato stabile	---	qualsiasi	77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittocchino	Cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittocchino	Buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	Cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	Buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato	Cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato	Buone	59	70	78	81
Pascolo	---	Cattive	68	79	86	89
Pascolo	---	Discrete	49	69	79	84
Pascolo	---	Buone	39	71	64	80
Erbaio	---	qualsiasi	30	58	71	78
Terreno boschivo	---	Cattive	45	66	77	83
Terreno boschivo	---	Discrete	36	60	73	79
Terreno boschivo	---	Buone	25	55	70	77

Tabella dei valori di CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII)

E' necessario tener conto delle condizioni di imbibimento iniziale del terreno attribuendo all'area in esame una classe AMC (Antecedent Moisture Condition):

AMC I	Terreno poco saturo
AMC II	Terreno mediamente saturo
AMC III	Terreno molto saturo
Riferiti a valori di saturazione analizzati in base ai 5 g.g. di pioggia precedenti l'evento.	

Tabella per le classi AMC relativa alle condizioni iniziali di imbibimento del terreno

I valori del parametro CN tabellati in letteratura sono quelli riferiti a condizioni medie di umidità del terreno all'inizio della precipitazione e in funzione del tipo di terreno.

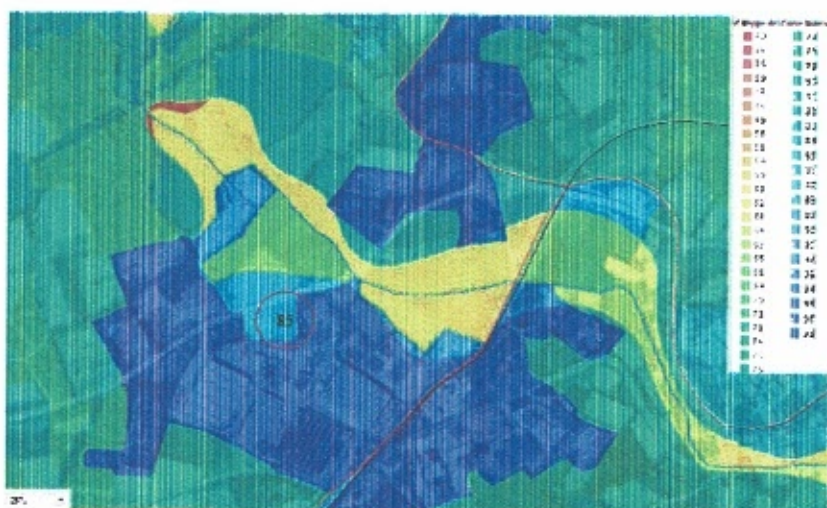
Gruppo	Tipo di terreno
A	Suolo con alta capacità di infiltrazione, anche se già bagnato. Principalmente sabbia e ghiaia, con strati profondi e ben drenati.
B	Suolo con moderata capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Moderato drenaggio profondo. Tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana
C	Suolo con piccola capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Solitamente presentano uno strato che impedisce il drenaggio verticale possiedono una tessitura da moderatamente fina a fina.
D	Suolo con molto piccola capacità di infiltrazione. Principalmente argille con alto potenziale di rigonfiamento; suoli con livello di falda alto e perennete; suoli con strati argillosi in superficie; suoli poco profondi su strati impermeabili o semi-impermeabili.

Tabella di suddivisione in classi del tipo di terreno in funzione della capacità di infiltrazione del suolo

I valori ricavati dalle tabelle sono stati riportati alla terza classe, definita come quella a potenziale di scorrimento superficiale massimo, attraverso la seguente relazione:

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Per il bacino in esame l'uso del suolo è stato elaborato a partire dalla carta d'uso del suolo elaborata per il PUC suddivisa in 47 tipologie contenute in 5 livelli gerarchici secondo l'impostazione del CORINE LAND COVER.

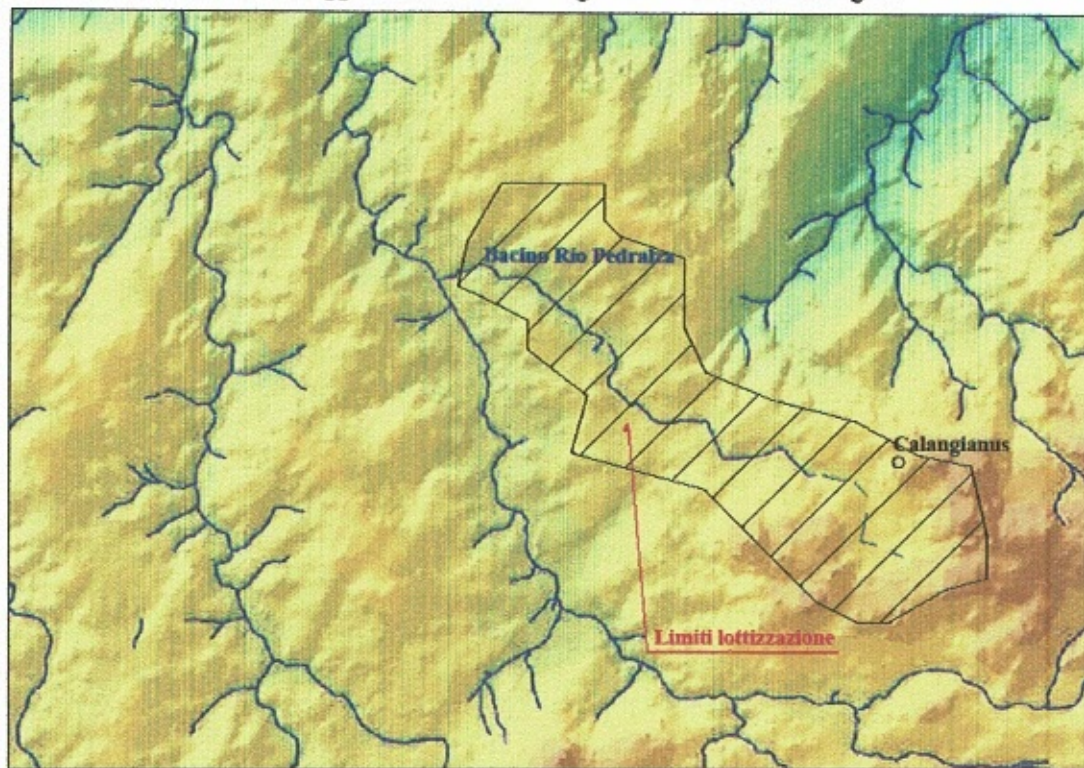


Mapa del Curve Number su scala regionale - Dip. Geologico ARPAS-2008

Capitolo 2

2.1 - Individuazione del bacino idrografico dell'area di studio

L'area interessata dalla lottizzazione si trova a ovest del bacino dell'impluvio censito nel reticolo idrografico di riferimento per le finalità di applicazione delle Norme Tecniche del PAI e delle relative direttive, e tale sarà oggetto di analisi idrologica ed idraulica di dettaglio.



Morfologia e idrografia superficiale del bacino del fiume Pedralza

Il bacino oggetto dell'analisi idrogeologica che interessa l'area in progetto presenta le seguenti caratteristiche geomorfologiche principali:

Parametri	Simbolo	Valore	[U.M.]
Bacino	SS_B378_001 -	-	-
Superficie	S	2,57	Km ²
Perimetro	P	8,19	Km
Altezza massima	Hmax	597	m s.l.m.
Altezza minima	Ho	452	m s.l.m.
Altezza media	Hm	524,5	m s.l.m.
Pendenza media	i versante	11	%
Indice di forma di Horton	Hr	0,25737	-
Indice di circolarità	Rc	0,48128	-
Indice di compattezza di Gravellus	Ru	1,44153	-
Indice di allungamento	Ra	0,57326	-
Asta			
Lunghezza asta principale	L	3,16	Km
Pendenza media	i m	7,2	%

Risultati dall'analisi idrologica di dettaglio:

Metodologia utilizzata	Metodo indiretto TCEV		
Dati di input	Simbolo	Valori	[U.M.]
Tempo di corrivazione	$T_p = T_c$	1,64	Ore (Giandotti)
Superficie del bacino	S	2,57	Kmq
Sottozona omogenea	SZO	2	-
Pioggia indice giornaliera	μg	75	mm
Coefficiente di riduzione areale	ARF	0,95424	-
Curve Number	CN II	85	-
Curve Number	CN III	93	-
Fattore di ritenzione iniziale	fs	44,82	mm
Capacità di massimo assorbimento del bacino	la	8,964	mm

Portata di progetto in funzione del tempo di corrivazione - analisi di sensitività

Tempo di corrivazione [Ore]		Q50 anni	Q 100 anni	Q 200 anni	Q 500 anni
Giandotti	1,64	10,81	12,44	14,40	16,78

Portate adottate per le verifiche idrauliche:

Tempo di ritorno	Coeff. Metodo TCEV				Pioggia lorda	Pioggia lorda'	Pioggia netta	Coeff. di deflusso	Portata di progetto
[anni]	a1	n1	a2	n2	[mm]	[mm]	[mm]	-	[mc/s]
50	23.77888	0.39953	2.28815	0.1381	70,98	67,73	33,34	0,350	10,81
100	23.77888	0.39953	2.61597	0.1755	81,61	77,88	41,76	0,372	12,43
200	23.77888	0.39953	2.9438	0.2068	94,49	90,17	52,33	0,389	14,40
500	23.77888	0.39953	3.3771	0.2388	110,12	105,08	65,55	0,410	16,78

$Pioggia\ lorda' = Pioggia\ lorda \times ARF$

2.2 - Modellazione idraulica

Il calcolo idraulico dell'asta fluviale è stato condotto riferendosi alla condizione di moto permanente che, a differenza del moto uniforme che fornisce risultati per correnti indisturbate, da dei risultati più vicini alla realtà in quanto la corrente idrica nel suo percorso è certamente influenzata da variazioni di sezione, scabrezza, pendenza, andamento planimetrico, etc, di cui le simulazioni di moto permanente tengono conto.

Per effettuare il calcolo di moto permanente più attinente alla realtà, è necessario fare una simulazione completa che comprenda un certo numero di sezioni lungo tutto il tratto critico oggetto di studio. A tal proposito sono state determinate e rilevate:

- le sagome delle sezioni trasversali e relative dimensioni geometriche;
- la pendenza longitudinale del fondo;
- la sequenza planimetrica delle sezioni trasversali;
- il valore della scabrezza del fondo, delle sponde e aree esondabili.

Tutte le informazioni precedentemente esposte sono state utilizzate come dati di input per il software di modellazione idraulica HEC-RAS sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers.

Come si intuisce, le dimensioni e le caratteristiche geomorfologiche del bacino dell'asta oggetto della modellazione idraulica sono relativamente modeste tanto da dar luogo ad un deflusso superficiale di qualche migliaio di litri al secondo anche per tempi di ritorno maggiori.

Cautelativamente si è assegnata la portata complessiva (che dovrebbe competere solo alla sezione più valliva) all'intera asta, e come condizione a contorno di valle, per le simulazioni idrauliche, i

livelli di piena individuati nell'ambito dello "Studio di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica ai sensi delle N.A. del PAI".

Le portate utilizzate per la simulazione idraulica relativa ai diversi tempi di ritorno sono di seguito riportate:

Fiume	Tratto	Superficie totale	Portata Tr 50 anni	Portata Tr 100 anni	Portata Tr 200 anni	Portata Tr 500 anni
SS B378 001	Tratto valle	2,57 kmq	10,81	12,43	14,40	16,78

2.3 - Risultati simulazione

I risultati delle simulazioni idrauliche sono riportati nella tabella seguente e illustrati negli allegati: "Allegato 1A: Risultati delle simulazioni idrauliche", "Allegato 2A: Sezioni idrauliche di moto permanente", "Allegato 3A: Profili idraulici di moto permanente".

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch	EI W.S.	Elev Crit	W.S. E.G.	Elev E.G.	Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude #	Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)		
RAMO1	260	50 ANNI	10.81	454.90	456.38	456.38	456.95	0.007437	3.33	3.25	2.89	1.00		
RAMO1	260	100 ANNI	12.43	454.90	456.50	456.50	457.11	0.007574	3.46	3.59	3.00	1.01		
RAMO1	260	200 ANNI	14.40	454.90	456.67	456.67	457.29	0.006438	3.49	4.20	4.02	0.95		
RAMO1	260	500 ANNI	16.78	454.90	456.89	456.89	457.48	0.005142	3.44	5.21	5.32	0.87		
RAMO1	231.11*	50 ANNI	10.81	454.62	456.10	456.10	456.67	0.007436	3.33	3.25	2.89	1.00		
RAMO1	231.11*	100 ANNI	12.43	454.62	456.22	456.22	456.83	0.007573	3.46	3.59	3.00	1.01		
RAMO1	231.11*	200 ANNI	14.40	454.62	456.39	456.39	457.01	0.006437	3.49	4.20	4.02	0.95		
RAMO1	231.11*	500 ANNI	16.78	454.62	456.61	456.61	457.20	0.005141	3.44	5.21	5.32	0.87		
RAMO1	202.22*	50 ANNI	10.81	454.34	455.83	455.83	456.39	0.007437	3.33	3.25	2.89	1.00		
RAMO1	202.22*	100 ANNI	12.43	454.34	455.94	455.94	456.55	0.007574	3.46	3.59	3.00	1.01		
RAMO1	202.22*	200 ANNI	14.40	454.34	456.11	456.11	456.73	0.006437	3.49	4.20	4.02	0.95		
RAMO1	202.22*	500 ANNI	16.78	454.34	456.33	456.33	456.92	0.005142	3.44	5.21	5.32	0.87		
RAMO1	173.33*	50 ANNI	10.81	454.07	455.65	455.65	456.12	0.005865	3.04	3.56	2.99	0.89		
RAMO1	173.33*	100 ANNI	12.43	454.07	455.77	455.77	456.28	0.005628	3.16	3.96	3.65	0.88		
RAMO1	173.33*	200 ANNI	14.40	454.07	455.91	455.91	456.46	0.005349	3.30	4.51	4.46	0.88		
RAMO1	173.33*	500 ANNI	16.78	454.07	456.05	456.05	456.64	0.005141	3.44	5.21	5.32	0.87		
RAMO1	144.44*	50 ANNI	10.81	453.79	455.66	455.66	455.96	0.002809	2.42	4.64	4.64	0.64		
RAMO1	144.44*	100 ANNI	12.43	453.79	455.81	455.81	456.12	0.002580	2.48	5.41	5.54	0.62		
RAMO1	144.44*	200 ANNI	14.40	453.79	455.98	455.98	456.29	0.002361	2.53	6.44	7.09	0.60		
RAMO1	144.44*	500 ANNI	16.78	453.79	456.15	456.15	456.46	0.002169	2.57	7.82	9.13	0.59		
RAMO1	115.56*	50 ANNI	10.81	453.76	455.24	455.24	455.81	0.007423	3.32	3.25	2.89	1.00		
RAMO1	115.56*	100 ANNI	12.43	453.76	455.36	455.36	455.97	0.007439	3.44	3.61	3.02	1.00		
RAMO1	115.56*	200 ANNI	14.40	453.76	455.53	455.53	456.15	0.006518	3.50	4.18	3.99	0.96		
RAMO1	115.56*	500 ANNI	16.78	453.76	455.74	455.74	456.34	0.005208	3.45	5.18	5.28	0.88		
RAMO1	100	50 ANNI	10.81	453.22	455.48	454.12	455.55	0.000427	1.12	9.65	4.56	0.25		
RAMO1	100	100 ANNI	12.43	453.22	455.66	454.21	455.73	0.000456	1.19	10.46	4.61	0.25		
RAMO1	100	200 ANNI	14.40	453.22	455.85	454.31	455.94	0.000492	1.27	11.36	4.66	0.26		
RAMO1	100	500 ANNI	16.78	453.22	456.06	454.43	456.15	0.000540	1.36	12.33	4.71	0.27		
RAMO1	95	Culvert												
RAMO1	90	50 ANNI	10.81	453.22	455.25		455.33	0.000581	1.26	8.61	4.51	0.29		
RAMO1	90	100 ANNI	12.43	453.22	455.41		455.50	0.000621	1.33	9.32	4.55	0.30		
RAMO1	90	200 ANNI	14.40	453.22	455.58		455.68	0.000675	1.43	10.08	4.59	0.31		
RAMO1	90	500 ANNI	16.78	453.22	455.74		455.86	0.000757	1.55	10.84	4.63	0.32		
RAMO1	86.67*	50 ANNI	10.81	453.23	454.71	454.71	455.28	0.007437	3.33	3.25	2.89	1.00		
RAMO1	86.67*	100 ANNI	12.43	453.23	454.83	454.83	455.44	0.007574	3.46	3.59	3.00	1.01		
RAMO1	86.67*	200 ANNI	14.40	453.23	455.00	455.00	455.62	0.006437	3.49	4.20	4.02	0.95		
RAMO1	86.67*	500 ANNI	16.78	453.23	455.22	455.22	455.81	0.005142	3.44	5.21	5.32	0.87		
RAMO1	57.78*	50 ANNI	10.81	452.96	454.44	454.44	455.00	0.007436	3.33	3.25	2.89	1.00		
RAMO1	57.78*	100 ANNI	12.43	452.96	454.55	454.55	455.16	0.007567	3.46	3.59	3.00	1.01		
RAMO1	57.78*	200 ANNI	14.40	452.96	454.72	454.72	455.35	0.006512	3.50	4.18	3.99	0.96		
RAMO1	57.78*	500 ANNI	16.78	452.96	454.94	454.94	455.53	0.005146	3.44	5.20	5.31	0.87		

RAMO1	28.89*	50 ANNI 10.81	452.68	454.16	454.16	454.72	0.007437	3.33	3.25	2.89	1.00
RAMO1	28.89*	100 ANNI 12.43	452.68	454.27	454.27	454.89	0.007574	3.46	3.59	3.00	1.01
RAMO1	28.89*	200 ANNI 14.40	452.68	454.45	454.45	455.07	0.006438	3.49	4.20	4.02	0.95
RAMO1	28.89*	500 ANNI 16.78	452.68	454.66	454.66	455.25	0.005142	3.44	5.21	5.32	0.87
RAMO1	0	50 ANNI 10.81	452.40	453.88	453.88	454.45	0.007506	3.34	3.24	2.89	1.01
RAMO1	0	100 ANNI 12.43	452.40	454.00	454.00	454.61	0.007573	3.46	3.59	3.00	1.01
RAMO1	0	200 ANNI 14.40	452.40	454.17	454.17	454.79	0.006437	3.49	4.20	4.02	0.95
RAMO1	0	500 ANNI 16.78	452.40	454.39	454.39	454.98					

Tabella dei risultati delle simulazioni idrauliche sull'asta fluviale denominata "SS_B378_001"

Dai risultati delle simulazioni idrauliche si evince che le portate danno origine a delle aree potenzialmente allagabili limitate all'area di stretta pertinenza fluviale con un'ampiezza massima, anche per i tempi di ritorno maggiori, che raramente raggiunge i 7 metri complessivi.

Anche in considerazione delle velocità e dei battenti idraulici minimi, a questa aree di pericolosità può essere associato un rischio praticamente nullo in quanto le portate di piena dell'impluvio previste per tempi di ritorno di 50, 100, 200, e 500 anni, sono praticamente contenute all'interno dell'alveo naturale, per quanto non sia particolarmente inciso.

Aree a pericolosità idraulica individuate dal presente studio rispetto all'area oggetto della lottizzazione in progetto

Aree a pericolosità idraulica individuate dal presente studio su ortofoto del 2016 (Servizi Cartografici della Regione Sardegna)

Capitolo 3

3.1 - Stima dell'invarianza idraulica

Nel presente capitolo, nell'ambito della redazione dello studio di compatibilità idraulica relativo al piano di lottizzazione in località La Sarra, si sviluppa la stima dell'invarianza idraulica ai sensi dell'art. 47 del titolo V delle Norme di Attuazione del PAI, al fine di fornire delle indicazioni operative in merito alla concreta attuazione del principio dell'invarianza idraulica al fine di indirizzare e supportare la redazione degli strumenti attuativi del piano di studio, infatti l'art. 47 ai commi 2 e 3 stabilisce che:

"I comuni in sede di redazione degli strumenti urbanistici generali o di loro varianti generali e in sede di redazione degli strumenti attuativi, stabiliscono che le trasformazioni dell'uso del suolo rispettino il principio dell'invarianza idraulica."

"Gli strumenti urbanistici generali e attuativi individuano e definiscono le infrastrutture necessarie per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica per gli ambiti di nuova trasformazione e disciplinano le modalità per il suo conseguimento, anche mediante la realizzazione di opere di laminazione delle piene come le vasche di laminazione."

Per invarianza idraulica, ai sensi dell'art. 47 e delle successive integrazioni al Titolo V del PAI contenente le "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del rischio Alluvioni (PRGA)", si intende il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricato dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali di valle non siano maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.

E' necessario quindi calcolare l'idrogramma di piena e il corrispondente volume di deflusso, per tempi di ritorno T_r pari a 20 e 50 anni considerando che due diverse configurazioni: stato attuale ante operam e stato di progetto post operam.

Lo scopo dello studio è verificare se la risposta del bacino è stata modificata e in che misura dalla realizzazione delle opere di trasformazione del territorio. Nei paragrafi successivi viene descritta la procedura adottata e i risultati ottenuti.

3.2 - Stato attuale ante operam

La superficie dello stralcio della lottizzazione oggetto dell'intervento è di 2230 e ricade nella classe "b" con livello di impermeabilizzazione potenziale "modesta", così come definito dalle "Linee Guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio di invarianza idraulica", che prevedono per questa classe di intervento di sovradimensionare la rete di dreno rispetto alle sole esigenze di trasporto della portata di picco realizzando nelle condotte e nei canali volumi compensativi cui affidare funzioni di laminazione.

A tal fine, in questi casi, è opportuno che i tiranti idrici massimi assicurino un'adeguata maggiorazione del franco nelle luci della rete di dreno. Il calcolo della portata sia nella situazione attuale che in quella di progetto può essere effettuata considerando l'attribuzione dei coefficienti di afflusso calcolati sulla base delle caratterizzazioni del territorio, nella situazione ante operam e post operam.



Viste panoramiche dell'area oggetto dello studio di invarianza idraulica

In una prima fase si è classificata l'area totale in tipologia permeabile o impermeabile in funzione delle tipologie di suolo. Da tale classificazione si ottiene un valore di coefficiente di afflusso ante operam come mostrato in tabella:

Stato attuale	%	Superficie [mq]	ϕ	$S\phi$
Permeabile	0,85	1895,50	0,5	947,75
Impermeabile	0,15	334,50	0,8	267,60
Coefficiente di afflusso ϕ - Stato attuale			0,545	

Tabella dei valori di ϕ ante operam riferiti all'area oggetto del presente studio

3.3 - Stato di progetto post operam

In funzione degli interventi previsti nel piano di lottizzazione è stato assegnato un differente valore di coefficiente di afflusso in funzione della copertura prevista tra quelli indicati nell'Allegato 1 delle "Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica" o reperiti in letteratura.

Parametro urbanistico	Superficie (mq)	ϕ	$S\phi$
Standard (10%) P10	223	0,8	178,40
Pavimentazioni P2	1107	0,35	387,45
Coperture C6	900	0,85	765,00
Totale lotto	2230		1330,85
Coefficiente di afflusso ϕ - Stato di progetto		0,59679	

Tabella dei valori CN post operam per la lottizzazione oggetto del presente studio

3.4 - Stima dell'idrogramma di piena

Per la valutazione dell'idrogramma di piena è stato considerato uno ietogramma costante di durata pari a 15 minuti. Nella Tabella sono riportati i dati utilizzati e nei grafici i risultati ottenuti rispettivamente per i tempi di ritorno dei 20 e dei 50 anni. La doppia analisi è utile se non indispensabile. Infatti, le opere di dreno e collettamento delle acque meteoriche devono essere dimensionate per eventi meteorici con tempi di ritorno di 10 o 20 anni, mentre le direttive per l'applicazione dell'invarianza idraulica impongono, per la stima dei volumi da compensare, che le analisi siano condotte per eventi meteorici con tempi di ritorno di 50 anni.

L'altezza di pioggia in funzione della durata della pioggia e del tempo di ritorno è stata calcolata in base alle Curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna (Deidda et Al. 2000) per tempi di ritorno pari a 20 e 50 anni.

	T = 20 anni	T = 50 anni
a	44,10487	54,40964
n	0,47885	0,53763
μg	75	75
SZO	2	2
Durata Ietogramma	15 min.	15 min.
Tc (ore)	0,678	0,678
ARF	1	1
h (Tr)	21,43	43,48
Superficie totale	2230	2230

Tabella dei dati utilizzati per l'area interessata dagli interventi in progetto

Nel metodo razionale qui usato per il calcolo della portata di picco il tempo di corrivazione è posto pari al tempo di pioggia e per generare l'idrogramma di piena, risposta del bacino alla pioggia precedentemente definita, si è utilizzato il modello dell'idrogramma triangolare con tempo di base pari al doppio del tempo di pioggia e posizione del picco appunto pari al tempo di pioggia.

Nella determinazione dell'idrogramma si è considerata come sezione di chiusura del bacino totale il punto morfologicamente più depresso, in cui si ipotizza di collegarsi alla rete delle acque meteoriche esistente.

Metodo razionale:

$$Q_p = \frac{\varphi \cdot ARF \cdot S \cdot h}{3.6 \cdot t_c}$$

φ - coefficiente di afflusso precedentemente calcolato

ARF - coefficiente di riduzione areale posto pari a 1

S - superficie del comparto in km²

h - precipitazione espressa in mm che cade nel bacino in una durata di precipitazione pari a t_c e con tempo di ritorno T_r

Nella tabella seguente sono riportati i parametri utilizzati per il calcolo della portata e dell'idrogramma di piena nella situazione attuale e nella situazione post intervento.

	φ
Stato attuale	0,545
Stato di progetto	0,59679

Tabella dei parametri per il calcolo dell'idrogramma di piena

3.5 - Risultati dello studio d'invarianza

Dalle analisi sviluppate secondo le "Linee Guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica", si è constatato, a seguito degli interventi di progetto, una differenza delle portate di picco tra stato attuale e di progetto per l'evento dei 50 anni di appena 2,13 l/s (1,05 l/s nel caso del tempo di ritorno dei 20 anni), con una differenza tra i volumi dell'intero evento di piena di appena 5,18 mc (2,57 mc per il tempo di ritorno dei 20 anni).

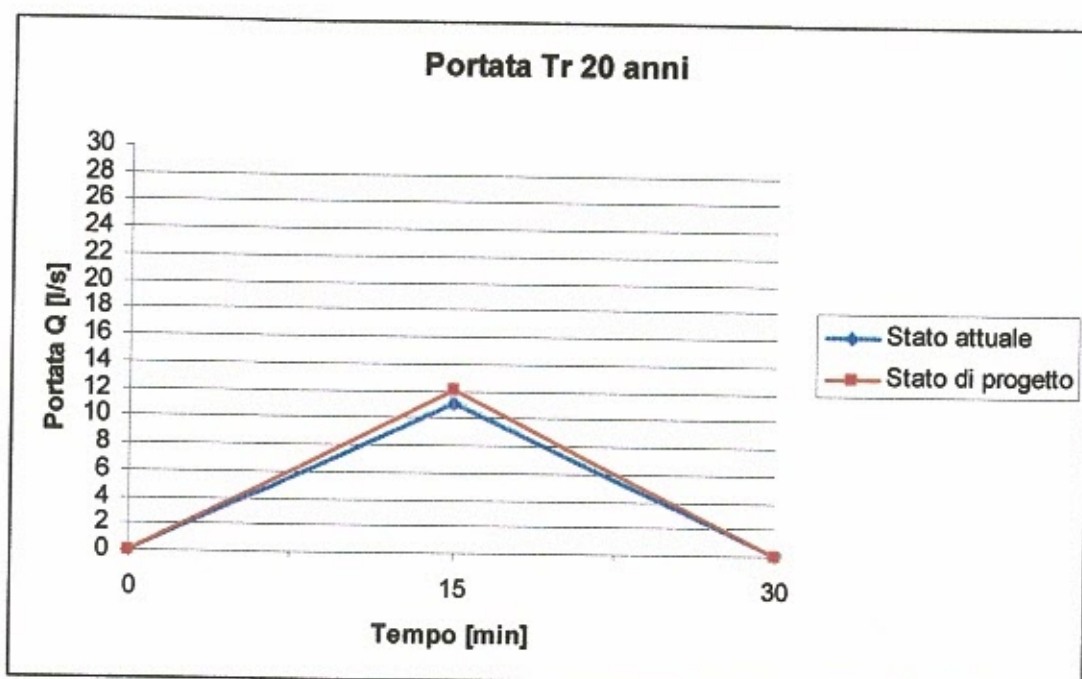
	Portata di picco (mc/s) $T_r=20$	Volume di piena (mc) $T_r=20$
Stato attuale	0,01101	26,87
Stato di progetto	0,01206	29,44
Differenza $\Delta Q, \Delta V$	0,00105	2,57
	Portata di picco (mc/s) $T_r=50$	Volume di piena (mc) $T_r=50$
Stato attuale	0,02234	54,55
Stato di progetto	0,02447	59,73
Differenza $\Delta Q, \Delta V$	0,00213	5,18

Tabella riassuntiva dei risultati

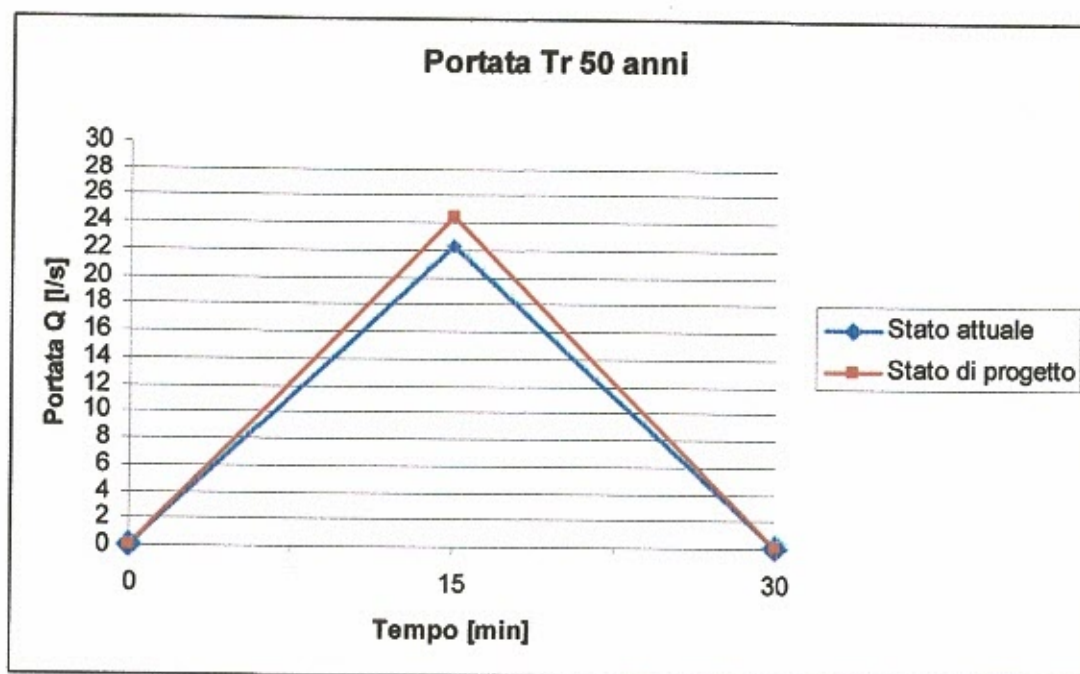
La differenza $\Delta Q = Q_p - Q_a$ indica l'incremento di portata al colmo dovuto all'intervento di trasformazione territoriale; tale valore è corrispondente alla riduzione della portata al colmo scaricata che deve essere assicurata al fine di garantire l'invarianza idraulica.

La differenza $\Delta V = V_p - V_a$ indica il volume minimo di accumulo; le opere compensative devono essere realizzate in modo tale da garantire l'accumulo di tale incremento di volume ΔV .

Come anticipato nei paragrafi precedenti, per le lottizzazioni con classe "b" con modesta impermeabilizzazione potenziale, le "Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica" prevedono solo un sovradimensionamento della rete di drenaggio rispetto alle sole esigenze di trasporto della portata di picco realizzando nelle condotte e nei canali volumi compensativi cui affidare funzioni di laminazione, questo anche in virtù dei volumi da compensare che, per quanto illustrato nei capitoli precedenti, risultano veramente modesti: poco più di 5 mc per l'intero evento con tempo di ritorno pari a 50 anni. Sicuramente con tali valori risultanti dallo studio si dovrebbe, facilmente, garantire il rispetto del principio dell'invarianza idraulica.



Confronto idrogrammi pre e post intervento per un $Tr = 20$ anni



Confronto idrogrammi pre e post intervento per un $Tr = 50$ anni

Conclusioni

Lo studio di compatibilità idraulica condotto nel rispetto delle NA del PAI, ha analizzato nel dettaglio le possibili alterazioni dei regimi idraulici relative all'attuazione del piano di lottizzazione convenzionato in zona D1 Località "La Sarra" in comune di Calangianus (SS) e non ha evidenziato particolari criticità dal punto di vista idraulico.

Come illustrato nei paragrafi precedenti l'area in studio è interessata da un impluvio appartenente al reticolo idrografico di riferimento dell'intero territorio regionale, e come tale, è stato oggetto di studio idrologico e idraulico di dettaglio, senza tuttavia determinare scorrimenti superficiali all'esterno delle aree di stretta pertinenza fluviale e quindi delle nuove aree a rischio idraulico.

Per quanto descritto, gli interventi oggetto della lottizzazione in progetto sono compatibili sia con il quadro vincolante vigente che con le norme di salvaguardia introdotte dallo "Studio di Compatibilità Idraulica, geologica e geotecnica delle N.A. del PAI" relativo al procedimento di adozione del PUC di Calangianus, approvato con deliberazioni del Comitato Istituzionale dell'Autorità dei bacini Regionale n° 2 del 15.03.2016, che con le aree potenzialmente allagabili determinate dalle analisi idrologiche e idrauliche di dettaglio determinate nell'ambito del presente studio di compatibilità.

All'interno dell'area oggetto della lottizzazione convenzionata non sono state individuate aree a pericolosità idraulica per le quali si debbano applicare le prescrizioni riportate al CAPO II delle NA del PAI, come esplicitamente previsto dalle medesime norme. Infatti, anche l'analisi idraulica condotta sull'asta dell'impluvio denominato SS_B378_001, ha dimostrato che le portate di piena, per tutti i tempi di ritorno esaminati sono contenute all'interno delle aree di stretta pertinenza fluviale.

Infine si evidenzia come le tipologie costruttive e le norme di attuazione del Piano di lottizzazione vadano nella direzione delle prescrizioni generali del PAI. Le prescrizioni urbanistiche a corredo degli atti di pianificazione devono garantire il mantenimento o il miglioramento della permeabilità dei suoli esistenti, infatti, adottando delle semplici opere di compensazione, come il sovradimensionamento delle reti di scolo, viene garantito il principio dell'invarianza idraulica ai sensi dell'art. 47 introdotto con il Titolo V del Testo Coordinato delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).