



SOMMARIO

<u>1</u>	<u>PREMESSA</u>	<u>2</u>
1.1	CORSI D'ACQUA PRINCIPALI	2
1.2	METODOLOGIA UTILIZZATA	3
1.3	IL MODELLO DI CALCOLO.....	3
<u>2</u>	<u>RISULTANZE DELLO STUDIO</u>	<u>9</u>
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TORRENTE LENI	9
2.2	MODELLAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE SEDDANUS E GORA DE SA MATTA 14	
2.3	MODELLAZIONE IDRAULICA DEL RIO LOENAXIUS E DELLA GORA PISCINA MANNA	17
2.4	MODELLAZIONE IDRAULICA DELL'ABITATO (GORA S.ANTONIO E GORA BRACADANZA).....	20
<u>3</u>	<u>PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL SISTEMA AFFERENTE AL RIO FLUMINERA MEDIANTE ANALISI BIDIMENSIONALE</u>	<u>29</u>
3.1	QUADRO INFORMATIVO TERRITORIALE	29
3.2	GRANDEZZE IDROLOGICHE	31
3.3	DETERMINAZIONE DELL'AFFLUSSO METEORICO	34
3.4	INDICE DI SCABREZZA DELLE SUPERFICI.....	34
3.5	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE.....	36
<u>4</u>	<u>IDENTIFICAZIONE E DISCIPLINA DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ QUALE MISURA DI PRIMA SALVAGUARDIA.....</u>	<u>46</u>
<u>5</u>	<u>DETERMINAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO.....</u>	<u>49</u>



1 PREMESSA

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

1.1 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

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

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

In questa fase sono svariate le semplificazioni che vengono assunte: in primo luogo di carattere modellistico, assumendo valide le ipotesi di base dell'equazione di de Saint Venant, e quindi ritenendo in prima stesura che l'alveo sia un cilindroide, che il moto sia gradualmente variato, che durante l'evento di piena la sezione si mantenga immutata come forma e come caratteristiche di scabrezza, e infine che il fluido trasportato si comporti come un fluido newtoniano. Il codice di calcolo utilizzato introduce dei parametri correttivi, che in qualche maniera danno ragione alle semplificazioni adottate in fase di calcolo dei livelli idrici durante lo sviluppo longitudinale dell'asta. Il modello idraulico è stato realizzato utilizzando le informazioni desunte dalla cartografia disponibile (dtm 10 m e dtm 1 m) supportata da ulteriori indagini in situ. La simulazione del deflusso idraulico sul modello generato dalle informazioni cartografiche ha definito un profilo di corrente per ogni portata di calcolo.

L'impronta dell'allagamento è definito dal luogo dei punti che in ogni sezione si trovano al di sotto dell'altezza idrica calcolata. In fase di modellazione si è operato valutando l'andamento dei profili idrici su più sezioni attigue effettuando sostanzialmente una media mobile ed eliminando i valori decisamente anomali. Inoltre, si è osservato se le aree esondate potessero o meno rientrare in alveo: laddove non risultasse possibile il rientro in alveo si è confermata un'area di



esondazione anche laddove la sezione risultasse idonea. In ultima analisi, si è cercato di dare una giustificazione globale alle aree coinvolte dagli allagamenti valutando sulla base delle informazioni locali il comportamento delle portate di piena in occasione di eventi di rilievo, consentendo indubbiamente di realizzare una calibrazione dei modelli idraulici prodotti.

1.2 METODOLOGIA UTILIZZATA

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

Nella valutazione delle aree di esondazione si è operato secondo la metodologia di seguito descritta.

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

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

1.3 IL MODELLO DI CALCOLO

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



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

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

Moto permanente

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

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

dove:

Y1 e Y2 sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;

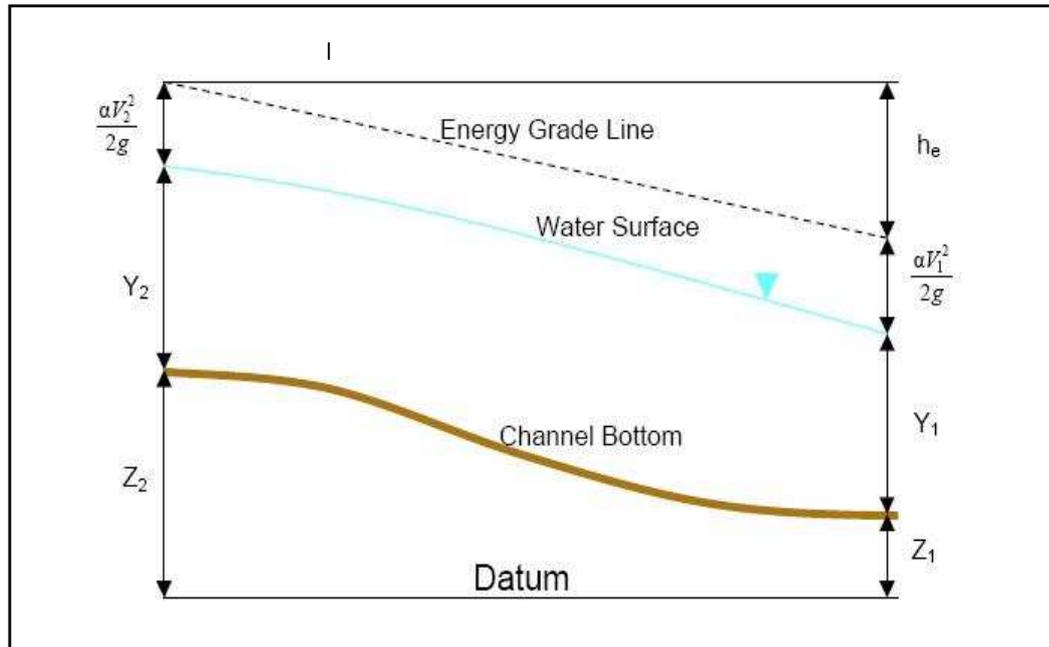
Z1 e Z2 sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

V1 e V2 sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale

considerato;

α_1 e α_2 sono coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche;

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



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

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

dove:

L è la lunghezza del tronco considerato;

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

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

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



Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

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

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

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

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



Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

Nell'ambito della modellazione verranno attribuiti ai tratti indagati le portate di cui alla **Tabella 1**.

	River	Reach	RS	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500
1	Fiume_1	Fiume_1	350	1.09	1.26	1.43	1.66
2	Fiume_13180	Fiume_13180	532	1.09	1.26	1.43	1.66
3	Fiume_27758	Fiume_27758	4793	88.33	73.46	88	107.33
4	Gora_Bracadanza	Gora_Bracadanza	1902	1.09	1.09	1.26	1.43
5	Gora_Bracadanza_	Gora_Bracadanza_	1290	6.54	7.56	8.59	9.94
6	Gora_de_Sa_Matta	Gora_de_Sa_Matta	1593	84.18	87.13	101.39	120.34
7	Gora_Pisc_Manna	Gora_Pisc_Manna	4214	57.03	50.54	60.1	72.83
8	Gora_Sa	Gora_Sa	1333	19.75	23.05	26.36	30.79
9	Gora_S_Antonio	IsCaleris_f_M	773	0.84	0.88	0.93	1.01
10	Gora_S_Antonio	IsCaleris_a	115	0.46	0.49	0.52	0.56
11	Gora_S_Antonio	IsCaleris_b	113	1.61	1.77	1.92	2.15
12	Gora_S_Antonio	IsCaleris_c	91	2.18	2.41	2.65	2.98
13	Gora_S_Antonio	IsCaleris_d	115	1.64	1.81	1.98	2.22
14	Gora_S_Antonio	IsCaleris_e	233	4.26	4.8	5.35	6.1
15	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_e2	179	4.26	4.8	5.35	6.1
16	Gora_S_Antonio	IsCaleris_f_V	185	0.28	0.3	0.32	0.35
17	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_a	396	6.2	7	7.79	8.88
18	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_b	159	0.31	0.32	0.34	0.36
19	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_c	170	1.81	2	2.19	2.45
20	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_d	96	5.65	6.39	7.13	8.14
21	Gora_S_Antonio	Gora_S_Antonio01	771	3.83	4.27	4.72	5.34
22	Gora_S_Antonio	Fiume_32873	427	3.34	3.73	4.13	4.67
23	Gora_S_Antonio	Gora_BingiaOmini	958	6.63	7.45	8.27	9.41
24	Gora_S_Antonio	IsCaleris_g	77	16.87	19.67	22.48	26.25
25	Gora_S_Antonio	Gora_S_Antonio02	267	14.02	16.13	18.23	21.06
26	Rio_Leonaxius	Rio_Leonaxius	6519	76	69.36	82.41	99.82
27	Riu_Fluminera	Riu_Fluminera	5622	31.76	34.88	38.05	42.52
28	Riu_Fluminera	Riu_Fluminera	4919	39.86	41.17	47.15	55.16



	River	Reach	RS	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500
29	Torrente_Leni	Torrente_Leni	8725	321.78	374.13	426.47	495.56
30	Torrente_Leni_c	Torrente_Leni_c	5394	397.09	462.76	528.55	615.54
31	Torrente_Leni_v	Torrente_Leni_v	5998	400.56	394.48	461.12	549.39
32	Torrente_Narti	Torrente_Narti	4296	75.31	88.63	102.08	119.98
33	Torr_Seddanus	Torr_Seddanus	7600	69.38	69.03	80.92	96.76
34	Torr_Sedd_valle	Torr_Sedd_valle	5673	87.78	88.03	102.7	122.19
35	Torr_Sedd_valle	Torr_Sedd_valle	190	87.78	88.03	102.7	122.19

Tabella 1 -Portate di progetto in m³/s



2 RISULTANZE DELLO STUDIO

In analogia a quanto visto relativamente alle valutazioni idrologiche, anche le valutazioni idrauliche sono state svolte individuando un sistema di dreno principale, cinque sistemi secondari e tre sistemi urbani, di seguito riportati:

- il sistema del Torrente Leni;
- il sistema del Torrente Seddanus;
- il sistema del Fiume 13180;
- il sistema del Rio Leonaxius;
- il sistema della Gora Piscina Manna;
- il sistema della Gora de Sa Matta;
- il sistema urbano (Gora Bracadanza, Rio Fluminera e Gora S. Antonio).

Le tavole, unitamente alle elaborazioni grafiche e numeriche allegate alla presente relazione, consegnano in dettaglio le risultanze delle modellazioni; di seguito sono raccolte invece le considerazioni di sintesi che emergono dall'interpretazione delle modellazioni, relative alla sola pericolosità molto elevata H_4 , che risulta essere predominante nello studio. Tuttavia, le differenze rilevanti tra i vari livelli di pericolosità saranno comunque oggetto di analisi puntuale.

2.1 PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL TORRENTE LENI

Prima della descrizione delle risultanze della modellazione, è necessario ricordare come la simulazione stessa non abbia tenuto conto di alcun effetto di laminazione delle piene dovuto alla diga sull'omonimo lago, in quanto l'opera ha come unica funzione quella irrigua per le coltivazioni agricole a valle di essa.

Sono stati modellati in tutto 5 tratti, di lunghezza compresa tra 1.9 km e 5.9 km. I transetti complessivamente tracciati sono 212, con lunghezza compresa tra i 205 e i 1000 metri circa.

La successiva figura e la conseguente Tabella 2 consegnano gli elementi sui quali si è operata la modellazione idraulica.

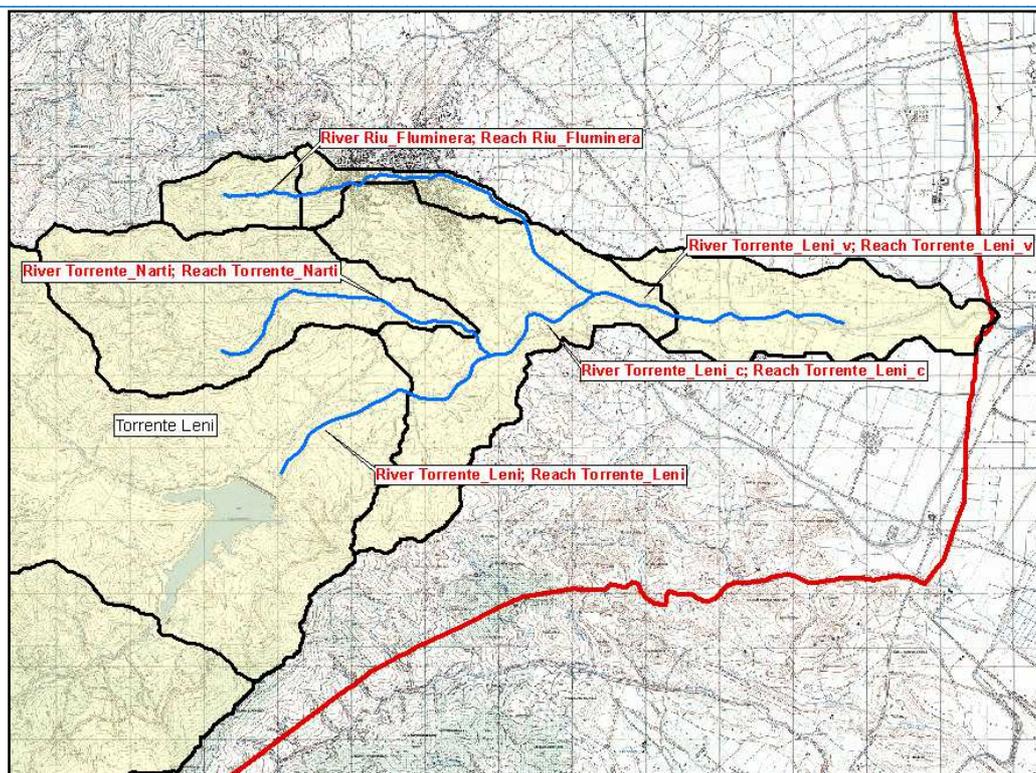


Figura 1 - Schema idraulico comparto del Torrente Leni

Complesso idrografico di riferimento	River	Reach	Lunghezza tratto [m]	N. transetti
Riu_Fluminera	Riu_Fluminera	Riu_Fluminera		
Torrente_Leni	Torrente_Leni	Torrente_Leni	3582.92	
Torrente_Leni_c	Torrente_Leni_c	Torrente_Leni_c	1920.28	
Torrente_Leni_v	Torrente_Leni_v	Torrente_Leni_v	3561.42	
Torrente_Narti	Torrente_Narti	Torrente_Narti	4500.13	

Tabella 2 Aste modellate

Interpretazione del modello idraulico

Il primo tratto analizzato è quello montano, a monte della confluenza del Torrente Narti con il Torrente Leni.

La modellazione idraulica di quest'ultimo rio ha inizio a valle della diga sul lago di Montimannu, e non ha tenuto conto, per ragioni cautelative, dell'effetto di laminazione dell'opera di sbarramento.

Nel tratto iniziale, il torrente Leni si presenta scarsamente inciso e la portata cinquantenaria occupa l'intero alveo di piena, che si mantiene costante per una lunghezza di oltre 1300 m: tale fronte, largo circa 170 m e confinato dalla viabilità rurale limitrofa, si restringe localmente seguendo la morfologia del terreno, prima di aumentare nuovamente a causa della presenza dell'attraversamento sul Ponte Alto Leni che, nonostante risulti ampiamente dimensionato per



il transito della portata di 50 anni, genera un fenomeno di rigurgito a monte di esso, con larghezze dell'ordine di 100 m. L'area di allagamento tende poi ad aprirsi verso valle, raggiungendo larghezze massime pari a 160m: la portata defluisce quasi interamente in condizioni di moto prossime allo stato critico, con velocità medie che si attestano intorno a 4-5 m/s e battenti idrici dell'ordine di 3 m, che raggiungono valori massimi pari a 4 m a monte del ponte suddetto.



Figura 2 – Risultanze idrauliche parte montana del bacino

Il torrente Narti, affluente in sinistra del torrente Leni, presenta un bacino drenate ed una portata decisamente inferiore, e conseguentemente la simulazione idraulica ha rivelato aree di allagamento più contenute.



Esso scorre in una valle molto incisa, e per un tratto di circa 1 km si mantiene quasi all'interno dell'incile dell'alveo, per poi esondare principalmente in sinistra idraulica. In questo caso l'area di allagamento raggiunge al massimo 60 m di larghezza.

In corrispondenza del ponte sulla strada comunale Monti Mannu, peraltro idraulicamente sufficiente, l'area di allagamento si estende a monte della strada a causa della presenza di edificato sparso che si trova ad una quota superiore al piano strada e che, infatti, genera un'isola nella mappatura effettuata.

Nel tratto a valle della suddetta strada, la portata risulta quasi interamente contenuta nell'alveo, mentre immediatamente a monte del ponte in località Coa de Pura la strada genera un effetto diga che, unitamente alla presenza del ponte, peraltro insufficiente, causa un'area di allagamento di larghezza pari a 250 m circa.

Verso valle il fronte si apre anche a causa della confluenza col torrente Leni, raggiungendo larghezze dell'ordine di 100 m circa.

Complessivamente il moto avviene in condizioni di corrente veloce per via dell'elevata pendenza dell'asta, e la corrente tende a rallentare nel tratto a valle dell'ultimo attraversamento, dove raggiunge invece lo stato critico. Le velocità oscillano intorno a 5-6 m/s nel primo tratto e 3-4 m/s nel tratto terminale, con valori massimi intorno a 8 m/s, e tiranti idrici medi pari a 1.5-2 m.

A valle della confluenza col torrente Narti, il torrente Leni esonda tanto in sinistra quanto in destra idraulica, raggiungendo larghezze dell'area di allagamento pari a 230 m circa, anche per effetto della strada che porta alla chiesa di S. Pietro che si presenta in rilevato rispetto al piano di campagna.

Procedendo verso valle il fenomeno di esondazione interessa gran parte della piana agricola che si sviluppa lungo il fiume, raggiungendo larghezze anche di 400 m.

Dopo aver ricevuto l'apporto prima della Gora S. Antonio e poi del Rio Fluminera, entrambi affluenti in sinistra idraulica, il fronte di allagamento tende ad essere più contenuta, con larghezze che nel tratto terminale si attestano intorno ai 220 m circa.

Complessivamente, a valle della confluenza con il torrente Narti, la portata defluisce in condizioni prossime allo stato critico, con velocità dell'ordine di 4-5 m/s e valori massimi in corrispondenza delle ostruzioni dei ponti, pari a 10 m/s circa. I battenti idrici registrati pari a 2-3 m/s e valori massimi pari a 7 m/s circa a monte di alcuni attraversamenti.

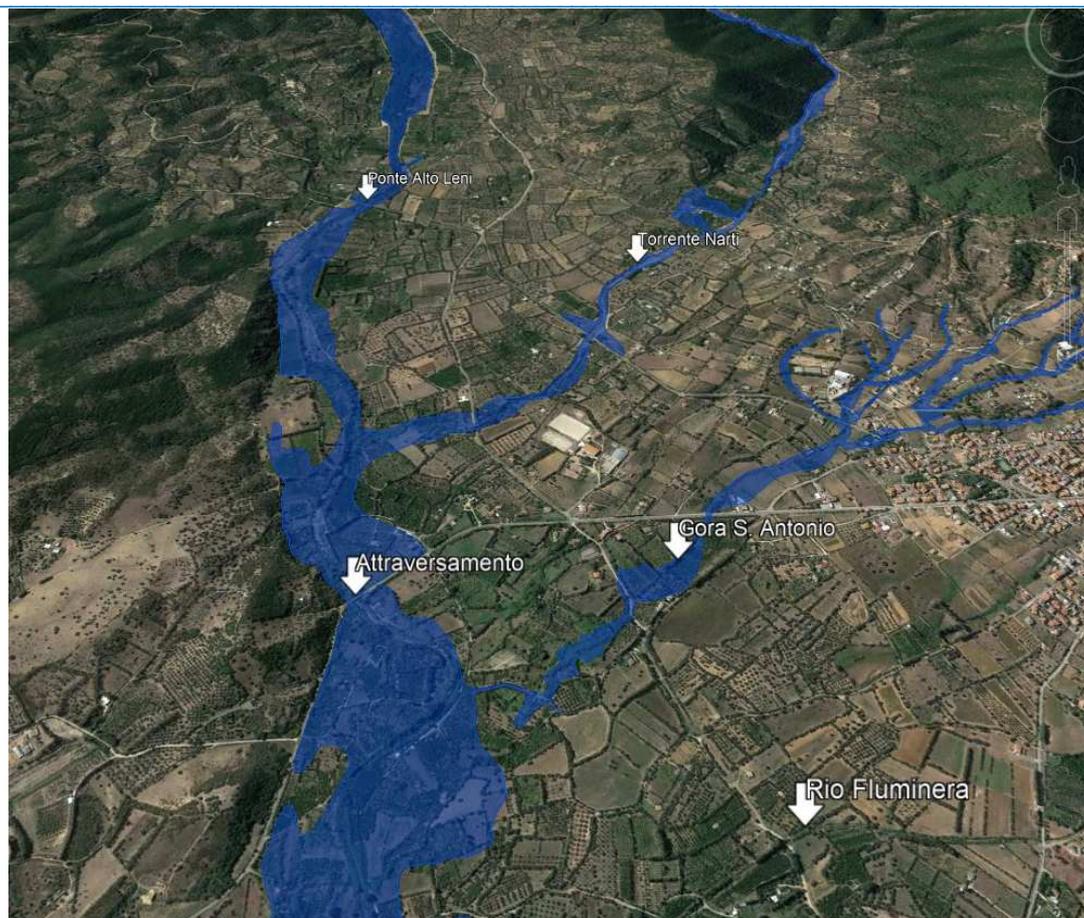


Figura 3 – Risultanze idrauliche parte centrale del bacino

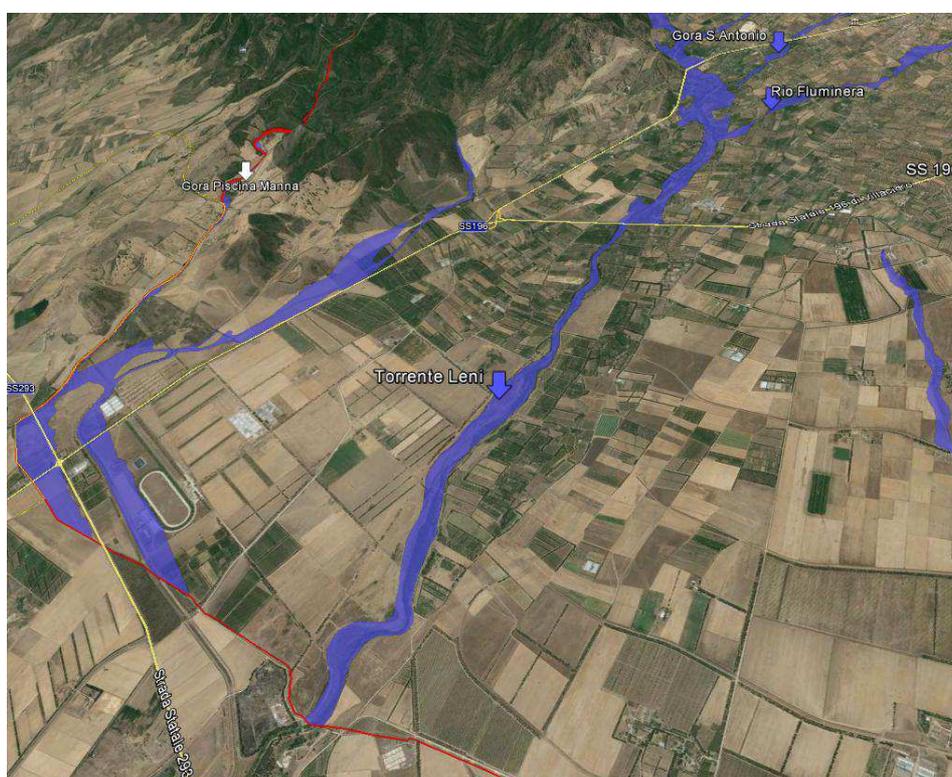


Figura 4 – Risultanze idrauliche parte valliva del bacino



2.2 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE SEDDANUS E GORA DE SA MATTA

Complessivamente sono stati modellati 4 tratti, le cui lunghezze variano da 1.3 km a 5.7 km. I transetti, tracciati come previsto dalle Linee guida del PAI, sono complessivamente 123, con lunghezza compresa tra i 75 e i 900 metri circa.

La successiva figura e la conseguente Tabella 3 consegnano gli elementi sui quali si è operata la modellazione idraulica.

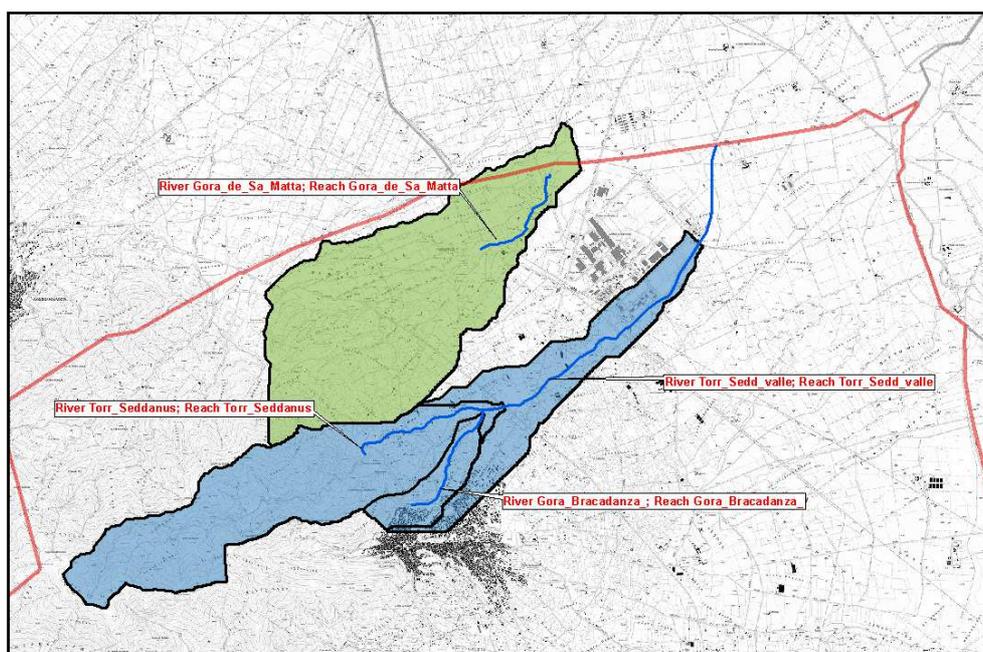


Figura 5 -Schema idraulico comparto del Torrente Seddanus e della Gora de Sa Matta

Complesso idrografico di riferimento	River	Reach	Lunghezza tratto [m]	N. sezioni
Sistema Torrente Seddanus	Gora_Bracadanza_	Gora_Bracadanza_	1360.40	14
Sistema Torrente Seddanus	Torr_Seddanus	Torr_Seddanus	2134.34	20
Sistema Torrente Seddanus	Torr_Sedda_valle	Torr_Sedda_valle	5764.28	72
Sistema della Gora de Sa Matta	Gora_de_Sa_Matta	Gora_de_Sa_Matta	1769.05	17

Tabella 3 -Aste modellate

Interpretazione del modello idraulico

Si tratta, come già visto, di due corsi d'acqua minori che si sviluppano a nord dell'abitato di Villacidro.

La **Figura 6** restituisce le aree di allagamento della parte sommitale del comparto idraulico, che evidenziano situazioni di lieve insufficienza dell'alveo sia in sinistra che in destra idraulica.



Si rileva inoltre un aumento del fronte di allagamento immediatamente a monte dell'intersezione con la SS 196, con larghezze prossime ai 250 m, dovute a fenomeni di rigurgito generati del restringimento della sezione idraulica.

Verso valle la portata esonda in maniera considerevole in sinistra idraulica, dove l'orografia del terreno evidenzia una pendenza verso nord-est: inoltre, la stessa SP 61 funge da argine sia nel tratto a monte che in quello a valle di essa, registrando larghezze dell'ordine di 600 m.

Il deflusso avviene in condizioni di corrente prossima allo stato critico, con velocità dell'ordine di 4 m/s e tiranti idrici pari a 1.5-2 m/s, andando ad interessare aree prive di edificato ed elementi sensibili.

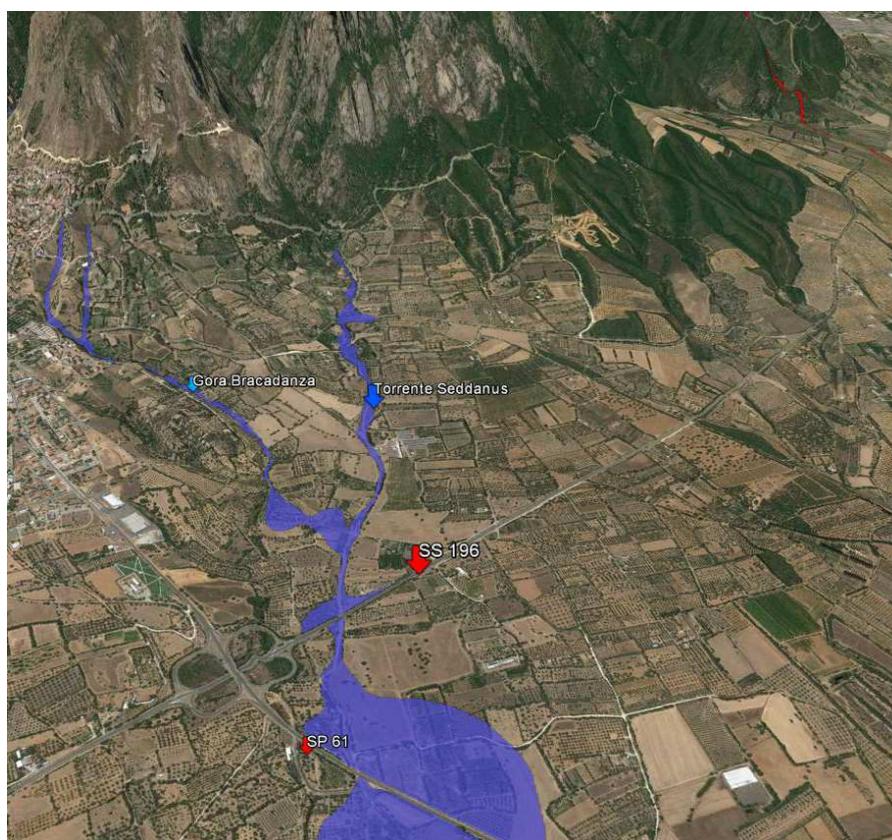


Figura 6 – Risultanze idrauliche della parte sommitale e centrale del bacino del torrente Seddanus

A valle dell'attraversamento sulla SP 61 che conduce a San Gavino Monreale, il torrente è stato oggetto di regolarizzazione tramite canalizzazione a sezione trapezia, che però risulta assai insufficiente già per la portata cinquantenaria. L'esondazione, più marcata in destra che in sinistra idraulica, genera fronti di allagamento che raggiungono i 500 m di larghezza, andando ad interessare la piana agricola che si sviluppa intorno ad esso.

Il canale prosegue poi sul lato destro dell'area industriale di Villacidro, che riceve una parte della portata del torrente, e per la quale si presenta ben dimensionato.



Figura 7 – Canale interno al PIP

Una quota parte della portata effluente dal canale esonda in destra idraulica a monte dell'attraversamento dell'area PIP, seguendo le linee di corrivazione del terreno che evidenziano una pendenza verso sud-est. Essa scorre dunque sulla parte esterna dell'area, andando poi ad interessare gran parte dell'area valliva, con larghezze dell'ordine di 500 m circa.

Nel tratto finale, il canale che scorre all'interno dell'area PIP non risulta più sufficiente a contenere la portata, ed esonda in destra idraulica, andando a confluire nel compluvio esterno all'area.

Il moto avviene in condizioni prossime allo stato critico, con locali rallentamenti della corrente; le velocità media si attestano intorno ai 2-3 m/s, con punte massime di 6 m/s in prossimità degli attraversamenti che comportano una riduzione della sezione idraulica. I tiranti si attestano intorno a 2 m circa, con valori massimi prossimi a 3.5 m circa immediatamente a monte degli attraversamenti.

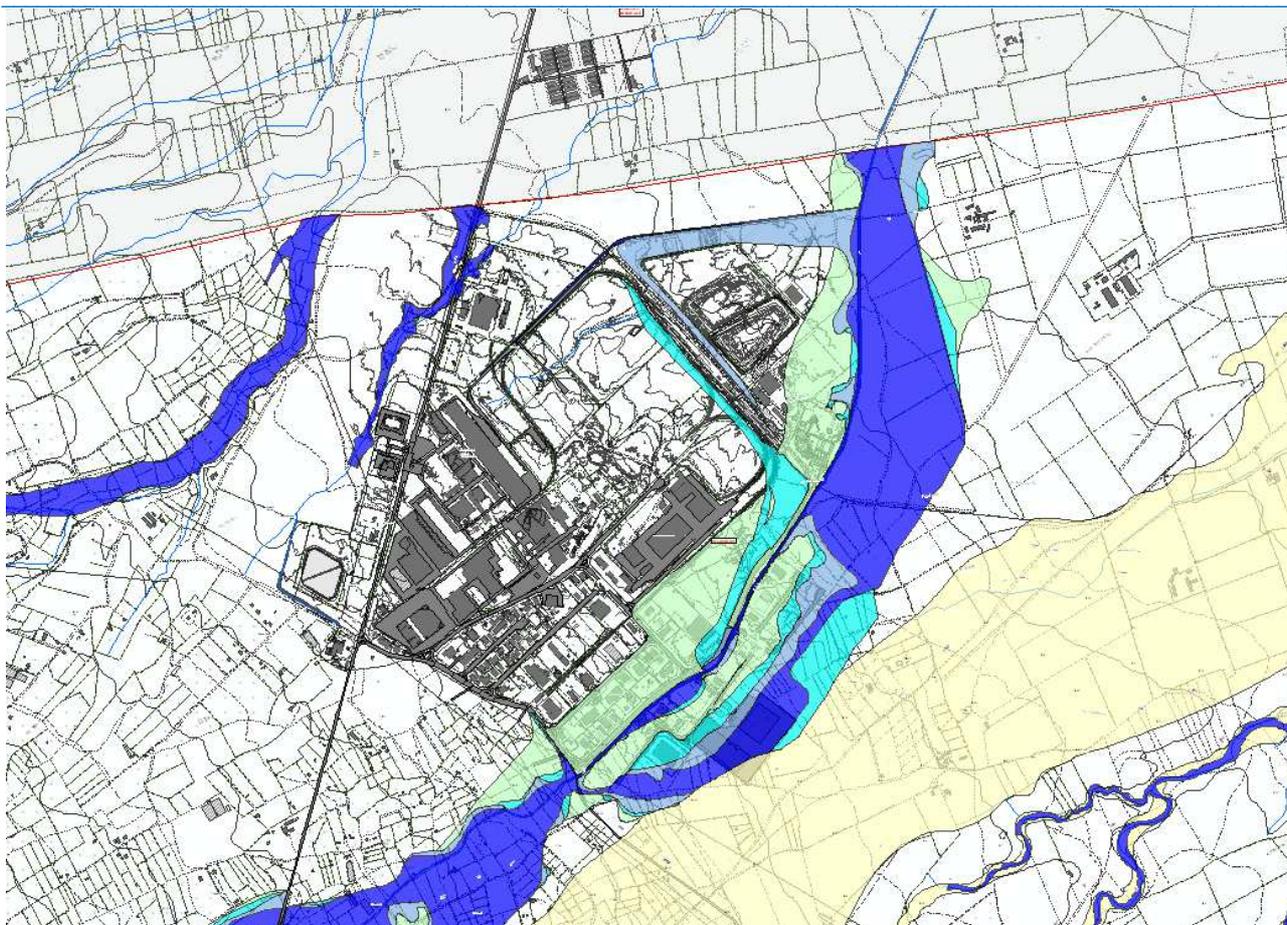


Figura 8 – Risultanze idrauliche della parte terminale del bacino del torrente Seddanus e della Gora de Sa Matta

2.3 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL RIO LOENAXIUS E DELLA GORA PISCINA MANNA

Complessivamente sono state modellati 2 tratti, le cui lunghezze variano tra i 4.6 km e i 6.8 km circa. I transetti, tracciati come previsto dalle Linee guida del PAI, sono complessivamente 108, con lunghezza compresa tra i 125 m e 1 km circa.

La successiva figura e la conseguente Tabella 3 consegnano gli elementi sui quali si è operata la modellazione idraulica.

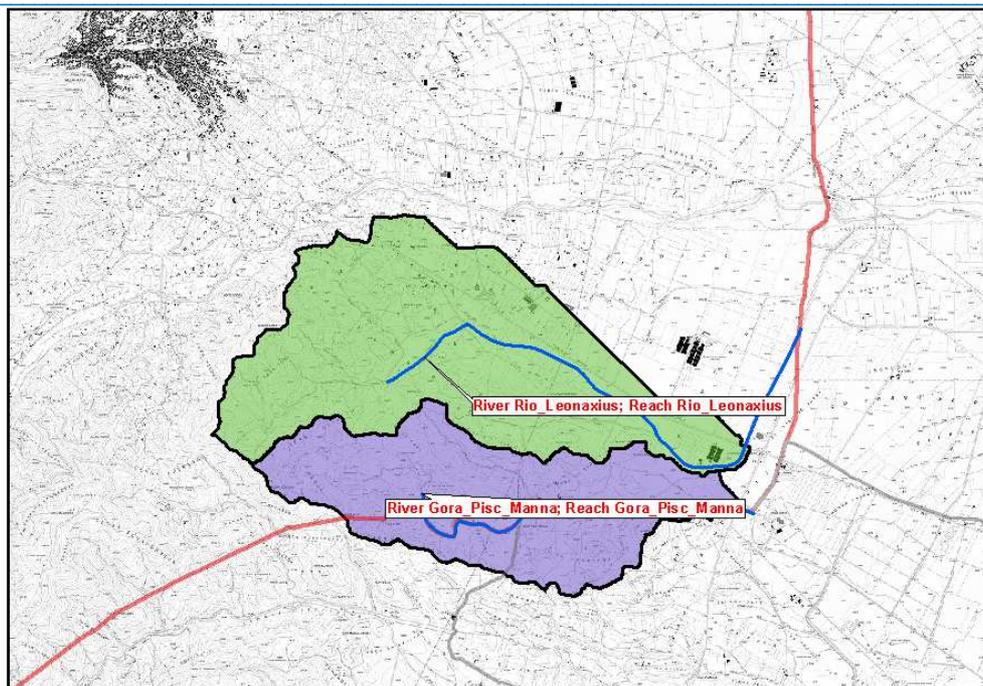


Figura 9 -Schema idraulico del sistema del Rio Leonaxius e della Gora Piscina Manna

Complesso idrografico di riferimento	River	Reach	Lunghezza tratto [m]	N. sezioni
Sistema del Rio Leonaxius	Rio Leonaxius	Rio Leonaxius	6796	65
Sistema della Gora Piscina Manna	Gora Piscina Manna	Gora Piscina Manna	4618	43

Tabella 4 -Aste modellate

Interpretazione del modello idraulico

Si tratta di bacini minori che si sviluppano all'estremo sud-est del territorio comunale, al limite con il Comune di Villasor e Serramanna.

Il Rio Leonaxius risulta in gran parte canalizzato, presentando locali insufficienze della sezione idraulica: immediatamente a monte della SS 293 di Giba, il canale subisce una forte deviazione verso nord, ed una parte della portata continua a defluire all'interno di esso, esondando solo in sinistra idraulica per via di un rilevato in terra in destra che funge da argine, prima di confluire nel torrente Leni. Parte della portata fuoriesce invece in destra seguendo la morfologia del terreno, generando aree di allagamento che si uniscono a quelle della Gora Piscina Manna che scorre più a sud.

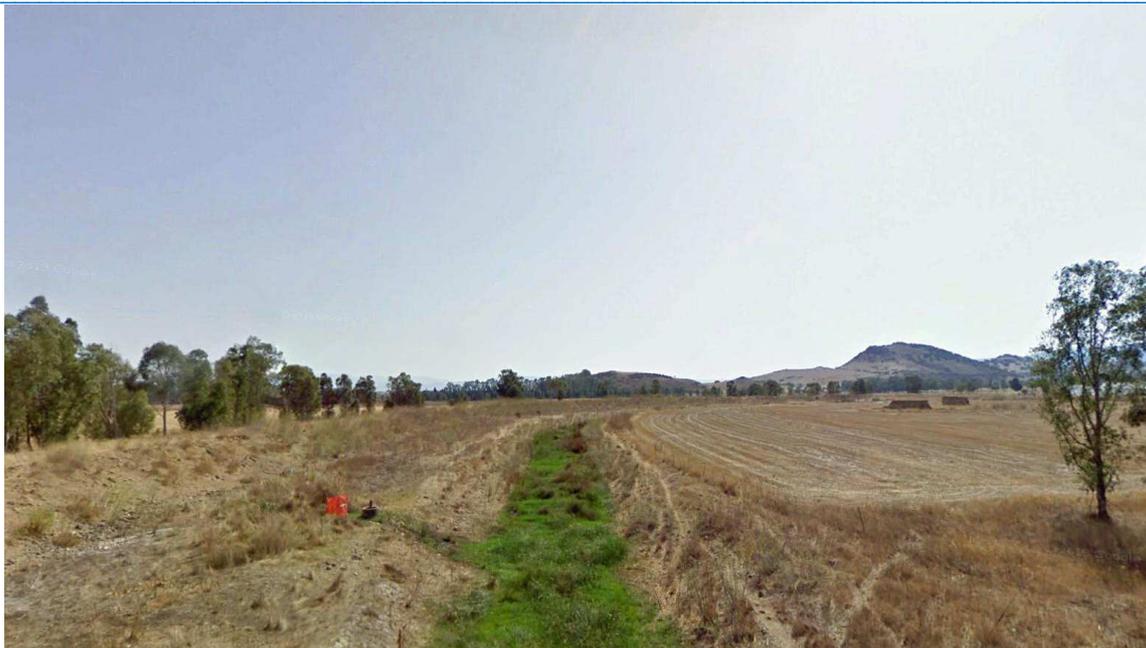


Figura 10 – Vista verso monte del Rio Leonaxius dal ponte sulla SS 196

Le larghezze massime di allagamento raggiungono i 220 m circa, con velocità dell'ordine di 3-4 m/s nel tratto più a monte e inferiori al m/s nel tratto vallivo, mentre i tiranti idrici si attestano sui 1-2 m nel tratto a monte e aumentano fino a 3.5-4 m a causa della presenza dell'argine destro.

Il moto avviene quasi interamente in condizioni di corrente lenta, raggiungendo localmente lo stato critico.



Figura 11 – Risultanze idrauliche della parte sud dell'abitato



La Gora Piscina Manna scorre lungo il limite amministrativo con Villasor, e risulta in gran parte regolarizzato, come mostra la **Figura 12**.

Le aree di allagamento risultano molto contenute in quanto sono state tagliate lungo il limite comunale, e raggiungono larghezze massime di 70 m; nella parte terminale, invece, le aree si espandono in sinistra unendosi, come già detto sopra, a quelle del Rio Leonaxius.

Il moto avviene in condizioni prossime allo stato critico, con velocità medie prossime a 3 m/s e battenti idrici 2 m circa.



Figura 12 – Vista verso monte della Gora Piscina Manna dal ponte sulla SS 293

2.4 MODELLAZIONE IDRAULICA DELL'ABITATO (GORA S.ANTONIO E GORA BRACADANZA)

Complessivamente sono state modellati 23 tratti, le cui lunghezze variano tra i 25 m e i 6 km circa. I transetti, tracciati come previsto dalle Linee guida del PAI, sono complessivamente 777, con lunghezza compresa tra i 20 e i 900 metri circa.

La successiva figura e la conseguente Tabella 3 consegnano gli elementi sui quali si è operata la modellazione idraulica.

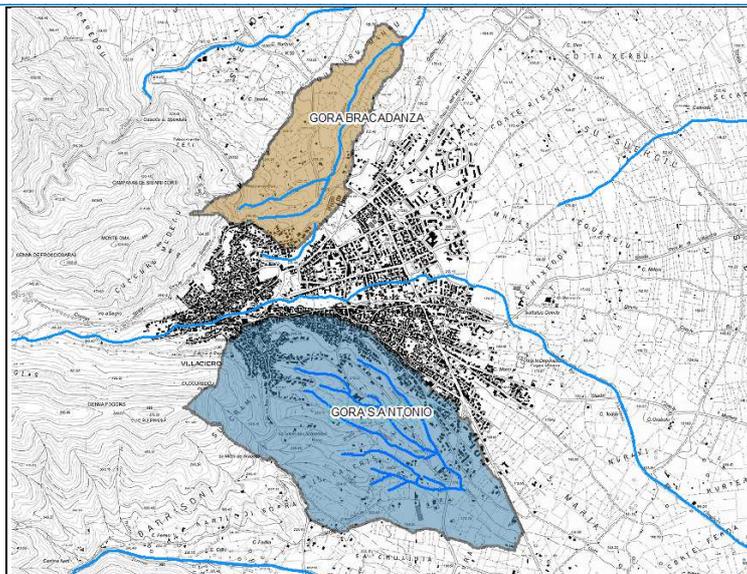


Figura 13 -Schema idraulico del comparto urbano



Figura 14 -Schema idraulico della Gora S. Antonio

Complesso idrografico di riferimento	River	Reach	Lunghezza tratto [m]	N. sezioni
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Fiume_32873	462.53	14
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_a	417.22	15
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_b	189.14	7
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_c	233.05	8
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_d	121.82	4
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Fiume_32873_e2	200.56	9



Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Gora_BingiaOmini	975.43	36
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Gora_S_Antonio01	794.75	22
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Gora_S_Antonio02	292.35	11
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Gora_S_Antonio03	25.27	3
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_a	137.50	6
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_b	141.05	8
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_c	108.31	7
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_d	135.97	7
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_e	51.34	3
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_f_M	590.06	17
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_f_V	162.99	8
Gora S. Antonio	Gora_S_Antonio	Is_Caleris_g	88.63	8
Gora Bracadanza	Fiume_13180	Fiume_13180	611.32	6
Gora Bracadanza	Gora_Bracadanza	Gora_Bracadanza	558.05	8
Gora Bracadanza	Gora_Bracadanza_	Gora_Bracadanza_	1360.40	14
Gora Bracadanza	Gora_SA	Gora_SA	1368.95	24

Tabella 5 -Aste modellate

Interpretazione del modello idraulico

Gora S.Antonio

Con riferimento alla toponomastica richiamata nell'ambito del GeoDb fornito dalla RAS, la descrizione del reticolo esaminato nell'ambito della simulazione idraulica è stato scomposto in 4, così definiti:

1. Gora Sant'Antonio
2. Sistema Fiume 32873
3. Gora Bigia Omini
4. Sistema Is Caleris
5. Sistema Fiume 40, Fiume 39, Fiume 38 (monte e valle)

La Gora Sant'Antonio Sant'Antonio è il compluvio più settentrionale tra quelli studiati, scorre in direzione nord-sud internamente ad una gola fortemente incisa. La lunghezza del tratto esaminato è di circa 800 m il dislivello colmato è di 40 m con una pendenza media poco inferiore al 5 %



In sponda sinistra alla Gora di Sant'antonio scorre il Fiume 32873, i suoi compluvi sono separati dalla Via Flumendosa il cui tracciato scorre sostanzialmente lungo lo spartiacque tra i due compluvi.

Il Fiume 32873 è stato modellato unitamente ad un suo piccolo affluente posto poco a monte della Scuola Elementare di Via Tirso. La lunghezza del tratto principale è di circa un chilometro, il dislivello tra le due sezioni estreme è invece di circa 70m.

Lungo il tracciato il corso d'acqua si affianca e attraversa la via Tirso, l'attraversamento avviene mediante un elemento tubolare da 40 cm, privo di opere di controllo del trasporto solido, come tale si è ritenuto che lo stesso, in occasione di eventi intensi possa essere soggetto ad essere occluso con conseguente deflusso sopra la sede viaria.



Figura 15 Attraversamento sulla Via Tirso

Parallelamente al Fiume 32873 scorre il Gora Bigia Omini, il compluvio lo spartiacque è definito sostanzialmente lungo la Via Brabetsa che scorre parallelamente ai due Omini, lo spartiacque che lo separa dal compluvio è stato indagato per una lunghezza di circa un chilometro, il dislivello raggiunto tra monte e valle è di circa 60m. lungo il suo sviluppo il Fiume attraversa prima la Via Tirso, e in questo caso privo di qualunque sistema di deflusso;



Successivamente, attraversa la via campidano mediante un elemento tubolare di 40 cm di diametro, che per effetto della vegetazione e del materiale depositato al suo interno è da ritenersi del tutto inadeguato.

I due rii, il fiume 32873 e il Gora Bingia Onimi, subiscono una forte alterazione planimetrica del percorso per effetto della Via Flumendosa che funge sostanzialmente da sbarramento, malgrado la presenza di due attraversamenti, in asse ai due compluvi. Le dimensioni degli stessi sono tali da non garantire un deflusso regolare, ma anzi generano la formazione di un area di invaso a monte della stessa strada.



Figura 16 Sistema idrografico della Gora Sant'Antonio

Circa 80 metri dopo l'attraversamento con la Via Flumendosa il sistema Fiume 32873 – Bingia Gora e Omini, si immette sulla Gora Sant'Antonio; In questo tratto il corso d'acqua è sufficientemente contenuto, per effetto di molteplici e recenti interventi di manutenzione, in ogni caso non è sufficiente a contenere il deflusso delle acque soprattutto per effetto di un



intervento di regimazione che circa 180 m dalla confluenza dovrebbe nei suoi intenti garantire un deflusso ordinato delle acque.

Lungo il sistema drenante è stata realizzato un condotto scatolare della lunghezza di circa 75 m finalizzato all'attraversamento della Via Monti Mannu e alla difesa dell'edificio posto in sponda destra subito dopo l'attraversamento. Il manufatto di sezione rettangolare ($b=2\text{m}$ $h=1.5$) è decisamente inadeguato al contenimento del deflusso, e tale quindi da determinare un forte rigurgito all'imbocco con interessamento delle aree e abitazioni attigue.

In ottemperanza a quanto disposto dal PAI, la modellazione a valle dell'attraversamento è necessariamente dovuto tenere conto di un eventuale allargamento della luce di deflusso del ponte, finalizzato alla riduzione del rigurgito a monte.

Conseguentemente, indipendentemente dalla possibile laminazione della piena offerta dallo sbarramento della strada per Monti Mannu, si ritiene che anche le aree a valle della strada siano interessate dai possibili limitazioni all'uso.



Figura 17 Elemento scatolare sulla Gora di Sant' Antonio

Parallelamente e a sud del reticolo idrografico su descritto scorre il sistema drenante proveniente dalla località Is Caleris; il sistema è alimentato da svariati bacini di dimensioni tali



da non generare portate di deflusso significative, si è ritenuto tuttavia modellare gli elementi del reticolo che drenano i comparti drenanti di maggiore interesse.

L'analisi su DTM ha inoltre messo in risalto una serie di elementi i quali non determinano condizioni di deflusso particolarmente rilevanti e tali da generare condizioni di pericolosità idraulica, tuttavia, si ritiene opportuno segnalarne l'esistenza al fine di evitare che gli stessi possano essere totalmente ignorati determinano condizioni di criticità.

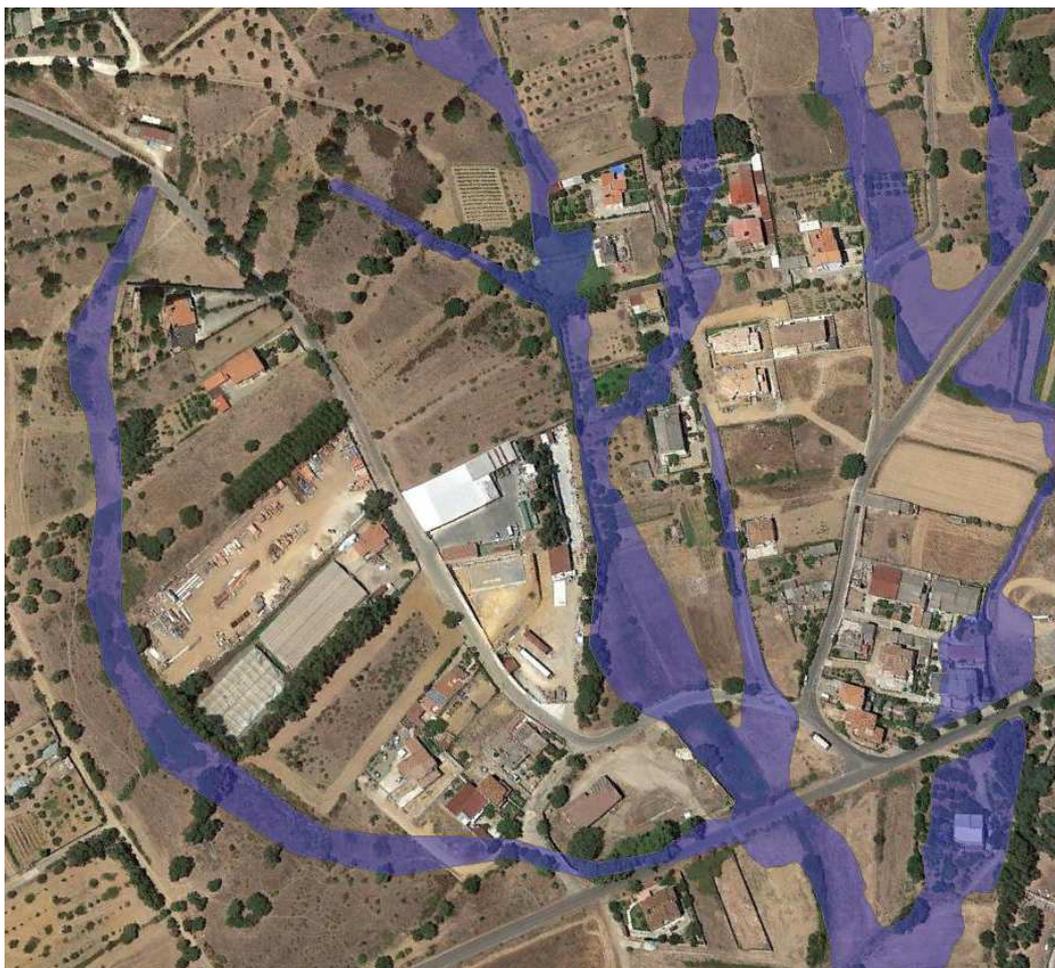


Figura 18 Area di pericolosità Is Caleris

Il reticolo così generato sarà oggetto di limitazione all'uso ai sensi del RD 523 del 1904.

Il modello esaminato ha una lunghezza di circa 1500 metri ricoprendo gli elementi principali del reticolo, che per'altro tendono a sovrapporsi alle infrastrutture esistenti. Le larghezze dei fronti allagabili sono dell'ordine dei quindici, venti metri, solo nei punti di unione degli elementi del reticolo e in prossimità delle intersezioni con laviabilità tendono ad ampliarsi.

Si evidenzia che gli elementi di maggiore criticità sono legati alle insufficienze delle opere di intersezione tra idrografia e viabilità.



In particolare si è osservato che gli attraversamenti in qualche maniera significativi hanno riguardato:

il Gora Sant'Antonio all'intersezione con la Via Flumendosa e con la Via Monti Mannu con l'elemento scatolare cittadino;

il Bigia Gora Omini all'intersezione con la Via Campidanoe con la Via Flumendosa

il sistema Is Caleris con la Via Monti Mannu

Gli attraversamenti, ad esclusione dello scatolare sono sempre stati realizzati con elementi tubolari del diametro di 60 o 40 cm, e che nell'ambito della modellazione si sono sempre dimostrati ampiamente insufficienti.

La viabilità è risultata quasi sempre sormontata dalla piena, con eccezione della via Monti Mannu e della Via Flumendosa che nei tratti di attraversamento con il Gora Sant'Antonio presenta una forte ricarica che impedisce di fatto la possibilità del sormonto.

Gora Bracadanza

Si tratta di un compluvio minore ubicato nella parte settentrionale dell'abitato.

Come mostrano la **Figura 19** e la **Figura 20** le aree di allagamento sono molto contenute, con larghezze medie di circa 15-20 m, con l'unica eccezione della confluenza con il torrente Seddanus, dove raggiungono anche 100 m.

In particolare la **Figura 19** mostra un'area di allagamento che si sviluppa tra Via Parrocchia e Via S. Nicolò che si interrompe in prossimità della mediateca comunale: in questo punto è presente una forte depressione del terreno, dove si raccoglie l'acqua, senza la presenza di alcuna opera di attraversamento su Via S. Nicolò che consenta il deflusso della portata.

In generale, i tiranti idrici associati sono molto bassi, dell'ordine di 20 cm circa, velocità variabili intorno a 2-3 m/s e condizioni di moto in corrente veloce.



Figura 19 – Tratto iniziale della simulazione

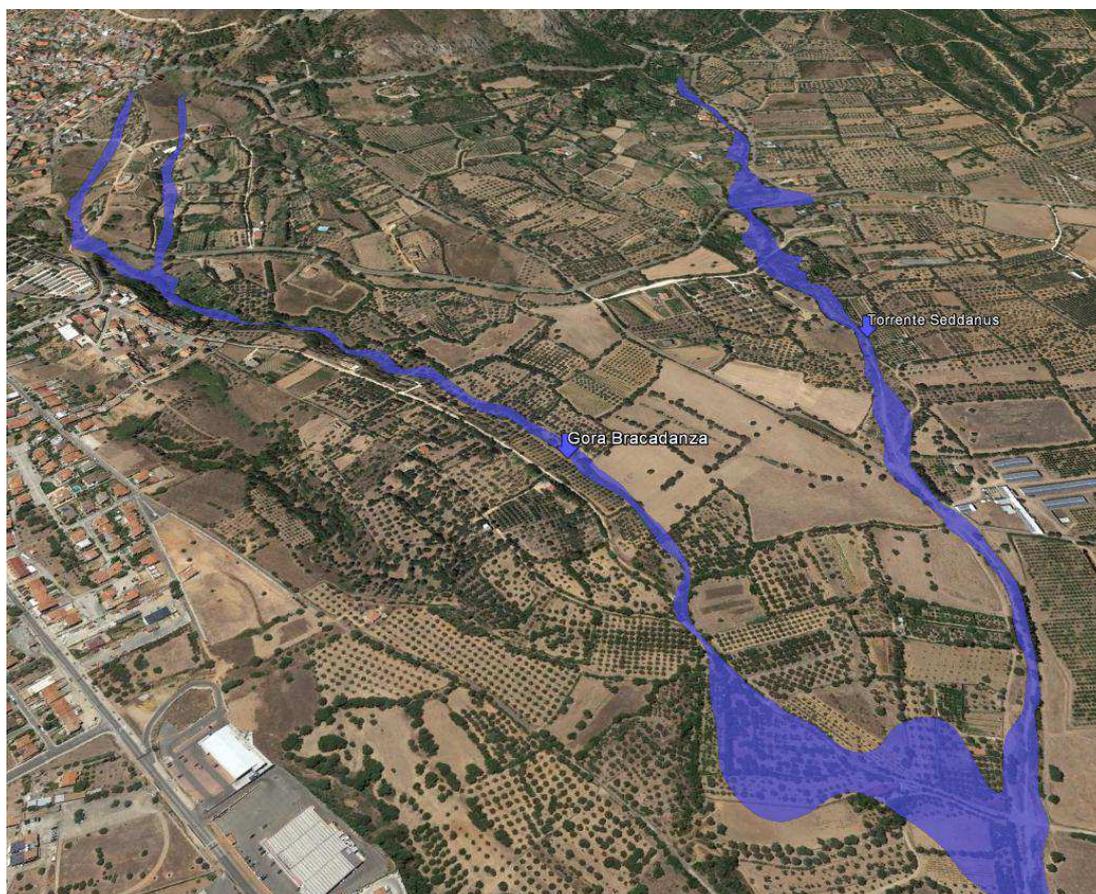


Figura 20 – Confluenza con il torrente Seddanus



3 PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL SISTEMA AFFERENTE AL RIO FLUMINERA mediante analisi Bidimensionale

L'art8 comma 5bis delle NA del PAI cita testualmente: *“Per le parti del territorio comunale non direttamente afferenti ad elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale e per le quali si verificano entrambe le condizioni di bacini di superficie superiore a 0,20 kmq e portate cinquantennali superiori a 5 mc/s, i Comuni qualora si siano manifestate situazioni di diffuso e significativo allagamento per scorrimento superficiale delle acque meteoriche, possono redigere appositi studi dei bacini urbani, finalizzati alla descrizione del fenomeno dello scorrimento superficiale causato dalla impermeabilizzazione dei suoli, alla perimetrazione di eventuali aree urbane di pericolosità e alla valutazione del tirante idrico (h) e della velocità della corrente (v) determinati, mediante adeguata analisi modellistica, tenendo conto della presenza dell'edificato esistente, dei sistemi di drenaggio urbano e dei volumi idrici conseguenti agli eventi meteorici specificati al comma seguente” con tempi di ritorno.*

3.1 Quadro informativo territoriale

Per quanto riguarda il quadro informativo del suolo è stato impiegato il modello digitale del terreno ottenuto come risultato di elaborazioni del dato LiDAR con il set di punti rilevati attraverso il sistema Laser Scanning, rielaborato mediante algoritmi di filtratura per distinguere gli echi vegetazionali e quelli delle strutture di soprassuolo. Si osserva che generalmente la precisione altimetrica corrispondente a tale tipologia di dato è di circa +/- 15 cm, valore che generalmente migliora in ambiti privi di vegetazione come quelli urbani.

Il dato è fornito tramite il GeoPortale istituzionale regionale che copre l'intero bacino unico regionale con risoluzione pari a 1 metro.

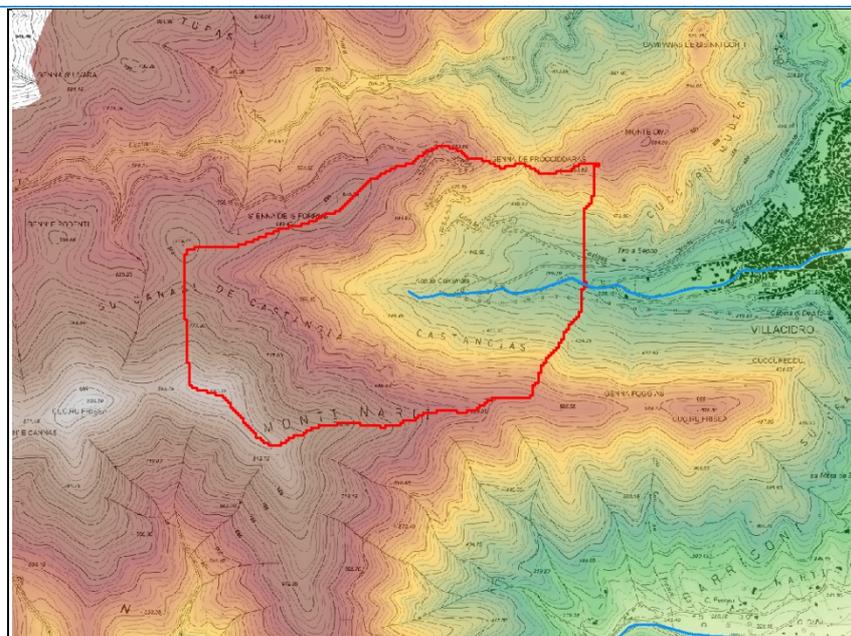


Figura 21 Bacino scolante su DTM 1m



Figura 22 Areale 2D

Un ulteriore dataset contiene la rappresentazione delle aree stradali e delle zone aperte (parcheggi, svincoli etc). Tali informazioni, utili al fine di rappresentare correttamente le aree di propagazione degli allagamenti, sono disponibili e liberamente scaricabili come Strato ST01TE01CL01PLG del Database Geotopografico della Regione Sardegna.

Il dataset relativo alla topografia del centro urbano è invece utilizzato per ricavare le informazioni planivolumetriche degli edifici presenti nel bacino, spesso in forma di primitive geometriche vettoriali relative all'area di impronta.



Il dato è stato reperito nel GeoPortale istituzionale come Strato ST02TE01CL01PLG del DB Geotopografico della Regione Sardegna con scala di riferimento 1:2000.

La successiva immagine mostra in grigio l'informazione relativa allo strato *viabilità* e in rosso l'informazione relativa allo strato *edificato*.

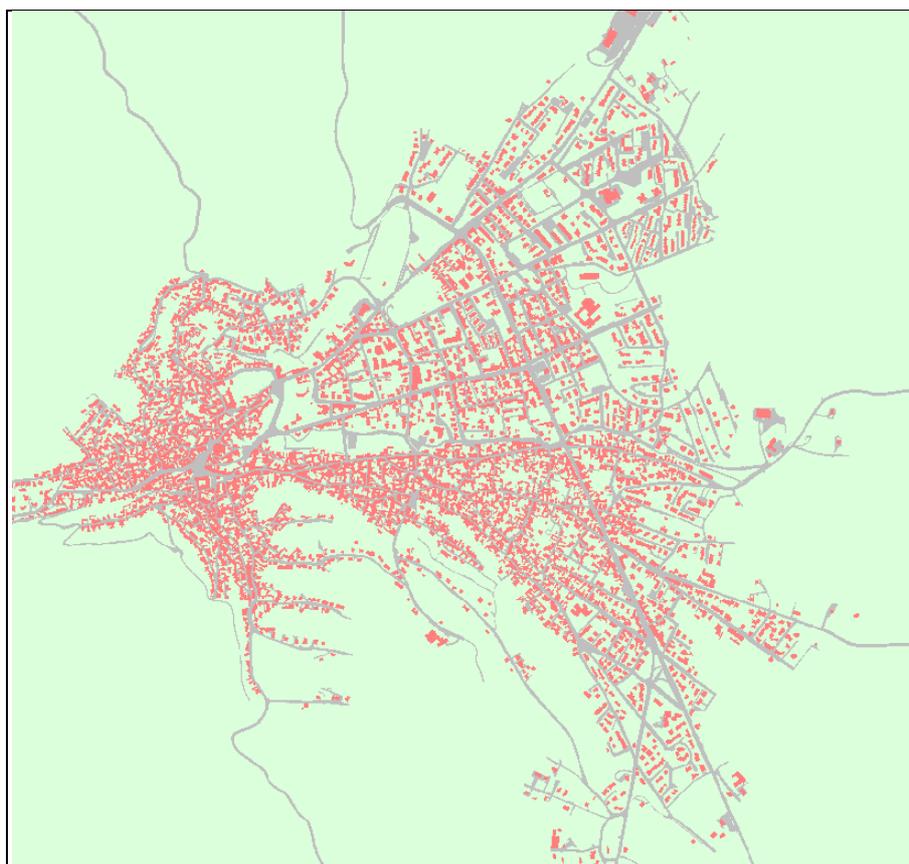


Figura 23 Aree stradali e zone aperte dell'ambito urbano studiato

3.2 Grandezze idrologiche

Di seguito si consegnano le rappresentazioni del bacino valutato per la determinazione delle grandezze idrologiche da implementare nel modello di calcolo idraulico.

Si segnala sin d'ora che il bacino che si assumerà per la determinazione della pioggia netta di riferimento è il bacino con sezione di chiusura in corrispondenza dell'imbocco del canale tombato. Per la rimanente porzione dell'areale 2D posta a valle della sezione d'imbocco, è stato introdotto uno istogramma di pioggia uniformemente distribuito su tutta l'area.

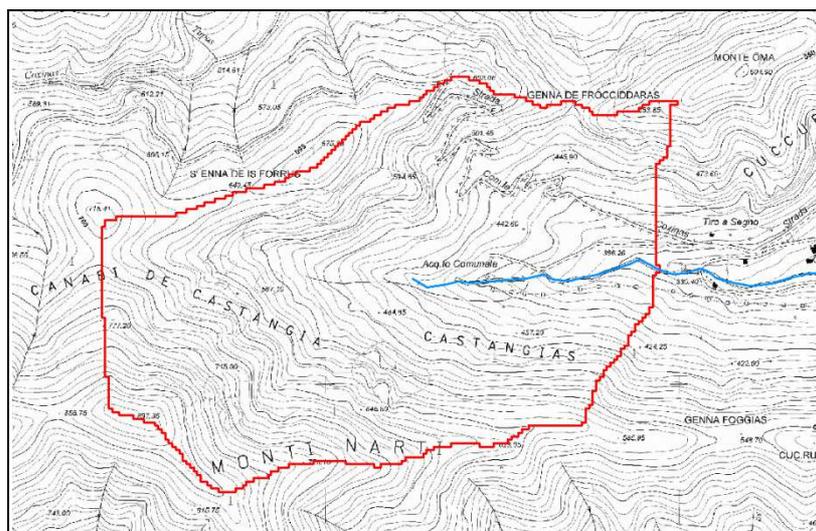


Figura 24 Superficie drenante

Successivamente sono stati calcolate le caratteristiche idrologiche del suddetto bacino.

AREA DEL BACINO	Km ²	1.33
QUOTA CHIUSURA DEL BACINO	m	329.13
QUOTA MASSIMA DEL BACINO	m	896.73
QUOTA MEDIA DEL BACINO	m	564.94
PENDENZA MEDIA DEL BACINO	%	0.03
PENDENZA MEDIA DEL BACINO		3.12
LUNGHEZZA DELL'ASTA PRINCIPALE	m	1596.65
LUNGHEZZA	(Km)	1.60
PENDENZA DELL'ASTA PRINCIPALE		0.22
V MEDIA LUNGO L'ASTA PRINCIPALE	m/s	1.5

Sulla base dei valori su definiti sono stati calcolati i tempi di corrvazione per la successiva fase di calcolo dello ietogramma di pioggia lorda.

PASINI	ORE	0.30
GIANDOTTI	ORE	0.37
VIPARELLI	ORE	0.30
VENTURA	ORE	0.31
PEZZOLI	ORE	0.19
PUGLISI	ORE	0.85
TOURNON	ORE	1.71
SALIS-SECHI	ORE	3.85
VALORE ADOTTATO	ORE	0.19



Il valore del tempo di corrivazione ritenuto più consono al caso in esame è pari a 0.19 ore (11.4 minuti) si assume un valore della durata dell'evento di pioggia pari a 30 minuti, 2.6 volte il tempo di corrivazione.

La distribuzione temporale della pioggia assume la forma dello ietrogramma Chicago con posizione del picco $r = 0.4$ con durata complessiva dello ietrogramma di trenta minuti.

Sulla base delle Curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna è stata calcolata l'altezza di precipitazione h corrispondente alla durata τ ed ai diversi Tempi di ritorno considerati.

Un ulteriore parametro considerato è stato il valore del CN del bacino, calcolato sulla base della tabella dei valori del CN di cui alla deliberazione n.2 del 17.05.2017 relativa all'attuazione dell'Art. 47 delle NTA del PAI in attuazione del principio del rispetto dell'Invarianza Idraulica è stato calcolato il valore del CN II e successivamente del CN III relativo al bacino di riferimento.

CNII 90.50 CN III= 95.5

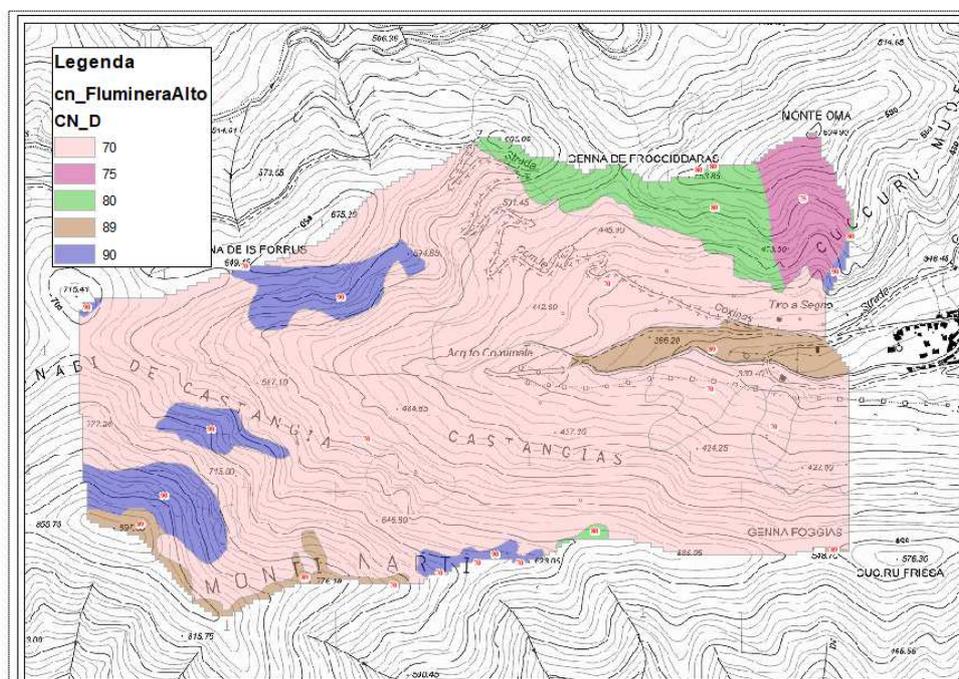


Figura 25 Valori del CN sulle superfici scolanti.



3.3 Determinazione dell'afflusso meteorico

Utilizzando lo ietogramma di pioggia lorda, i parametri idrologici del bacino di riferimento unitamente ai valori del CN su esposto, attraverso il codice di calcolo HMS è stato calcolato il valore della pioggia netta.

I diagrammi di pioggia netta e di pioggia lorda sono consegnati nella successiva Figura 27.

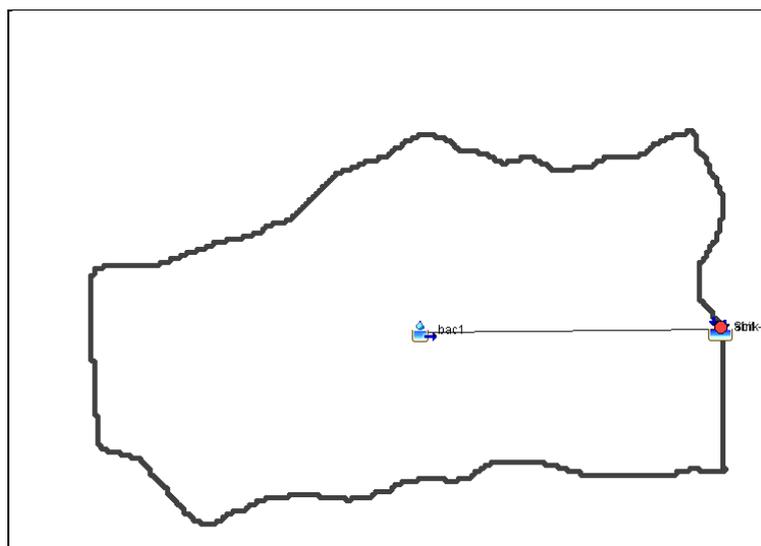


Figura 26 Schema di calcolo del bacini su codice Hec Hms

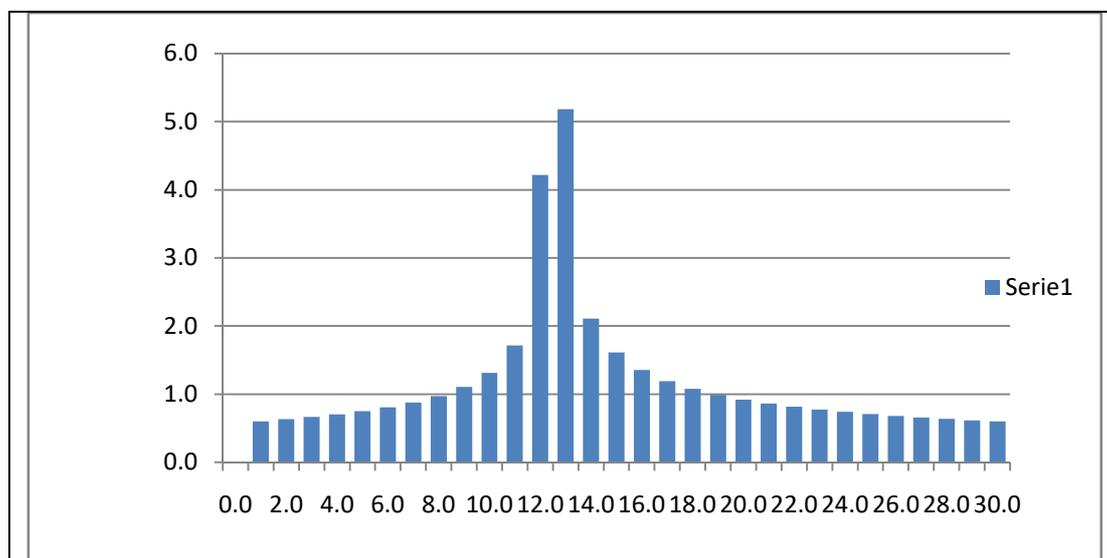


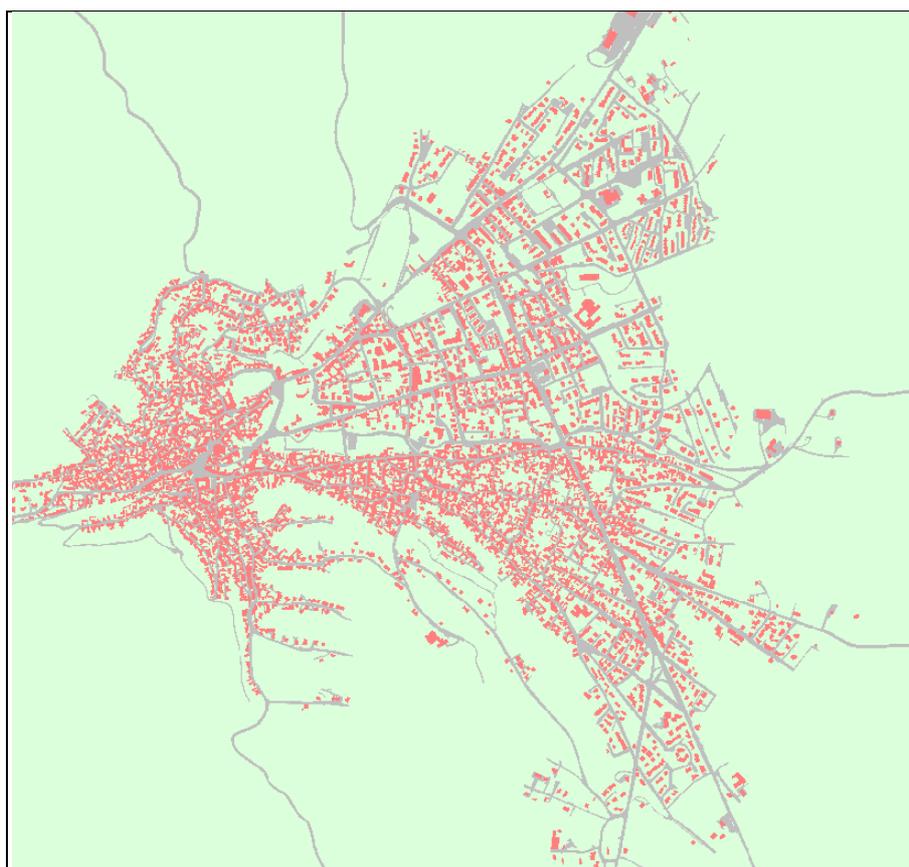
Figura 27 Ietogramma Chicago pioggia lorda

3.4 Indice di scabrezza delle superfici



Come descritto nella Relazione Metodologica, per definire la rete stradale e l'impronta delle costruzioni è necessario utilizzare i dati vettoriali del DB Geo-topografico Regionale per i quali, successivamente, sarà attribuito il corrispondente valore di Manning. In merito, alle strade è spesso attribuito il valore $n_1=0.014 \text{ m}^{1/3}\text{s}$ di Manning, tipico della pavimentazione in asfalto; il valore $n_2=0.30 \text{ m}^{1/3}\text{s}$ è raccomandato da (USACE, 1981) per i blocchi degli edifici (impronta), valore legato all'ostruzione che essi producono nei confronti della corrente idrica. Ad altri spazi aperti, non pavimentati, sono attribuiti il valore $n_3=0.05 \text{ m}^{1/3}\text{s}$ corrispondente alle aree di pascolo con erba alta (Chow, 1959), (Gallegos, Shubert, & Sanders, 2009).

La sottostante figura consegna i valori del coefficiente di manning utilizzato nell'ambito delle modellazioni idrauliche.



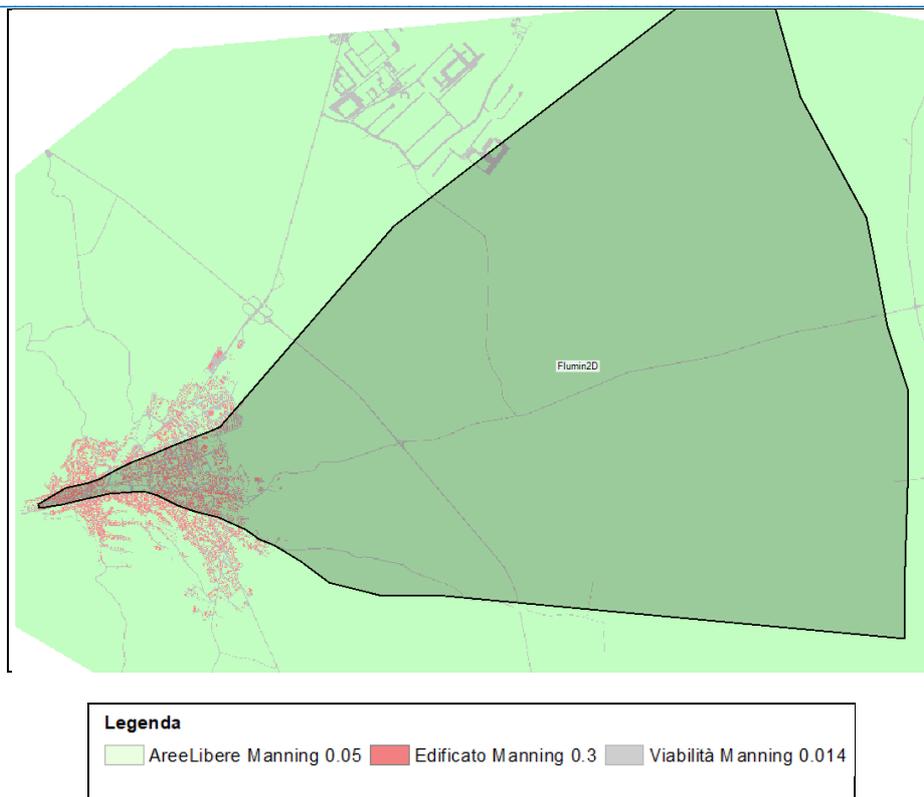
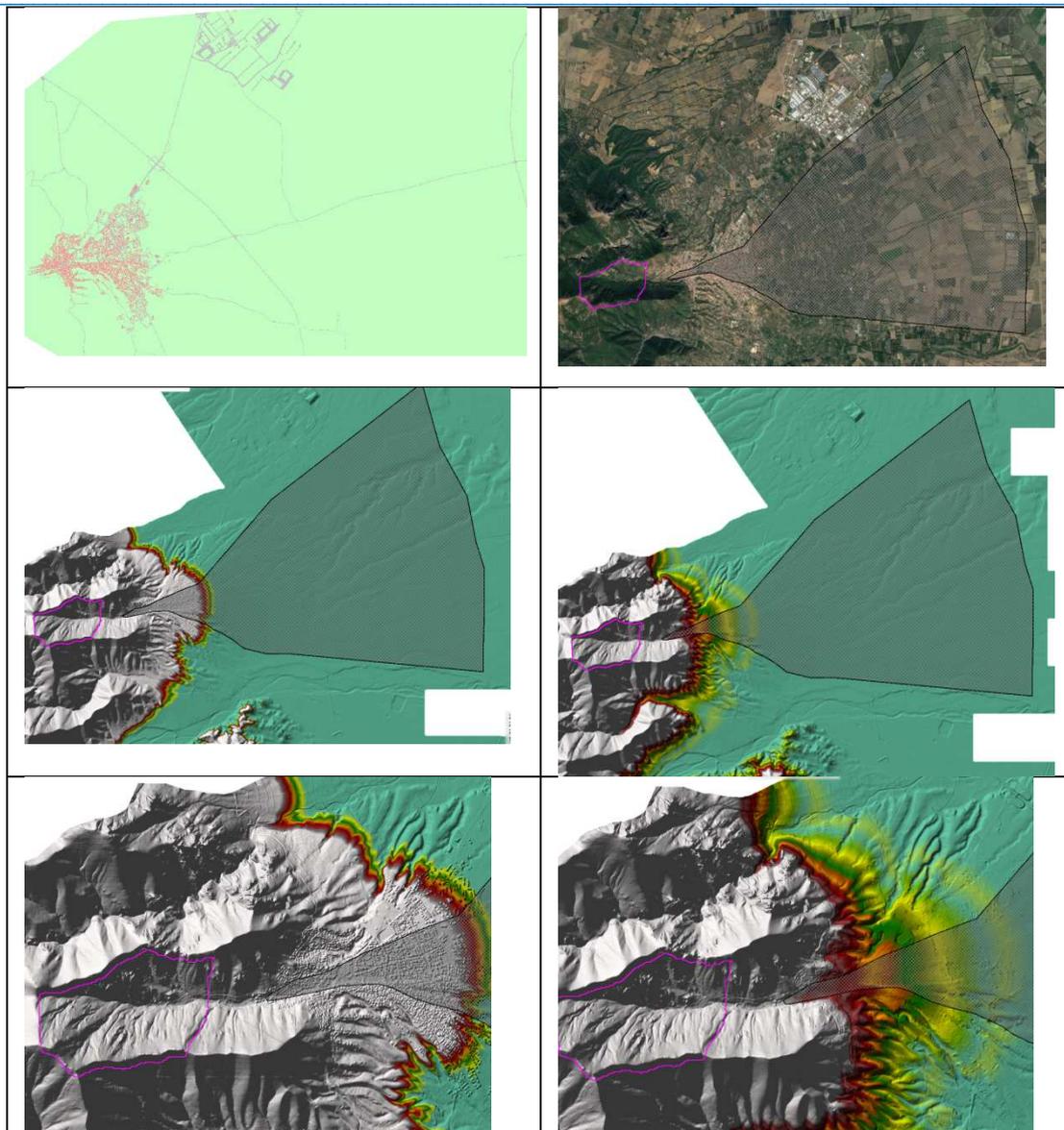


Figura 28 Coefficiente di manning adottato nell'area urbana.

3.5 Modellazione Bidimensionale

Il modello bidimensionale utilizzato in questa applicazione è stato Hec-Ras versione 5.0.7 della U.S. Army Corps of Engineers.

La prima fase consiste nella predisposizione dei dati plano-altimetrici utili per l'implementazione del modello, così come descritto nei paragrafi precedenti. Di seguito si riportano in serie la sovrapposizione del dominio 2D posto sui tematismi e rappresentazioni grafiche di differente significato e utilizzo.



In particolare il dominio di calcolo è sovrapposto con:

- ✓ la carta che esprime i differenti valori di scabrezza delle superfici;
- ✓ l'ortofoto con la superficie scolante individuata ai punti precedenti;
- ✓ il DTM con l'estrusione degli edifici di cui allo strato del GeodbMP;
- ✓ il DTm a passo 1m sempre reso disponibile dalla Regione Sardegna.

Nel caso oggetto di studio sono state considerate le seguenti condizioni:

- Pioggia netta distribuita in modo omogeneo nell'intero dominio di calcolo 2D considerato, inserendo lo istogramma di pioggia su esposto;
- Valle: condizioni al contorno rappresentate dalla pendenza di moto uniforme



Trattandosi di ambito urbano densamente edificato, il dominio è stato discretizzato con una maglia di tre metri di lato.

Sono di seguito consegnate le rappresentazioni grafiche relative alle risultanze modellistiche per i quattro tempi di ritorno e la configurazione del suolo con l'edificato e senza l'edificato.

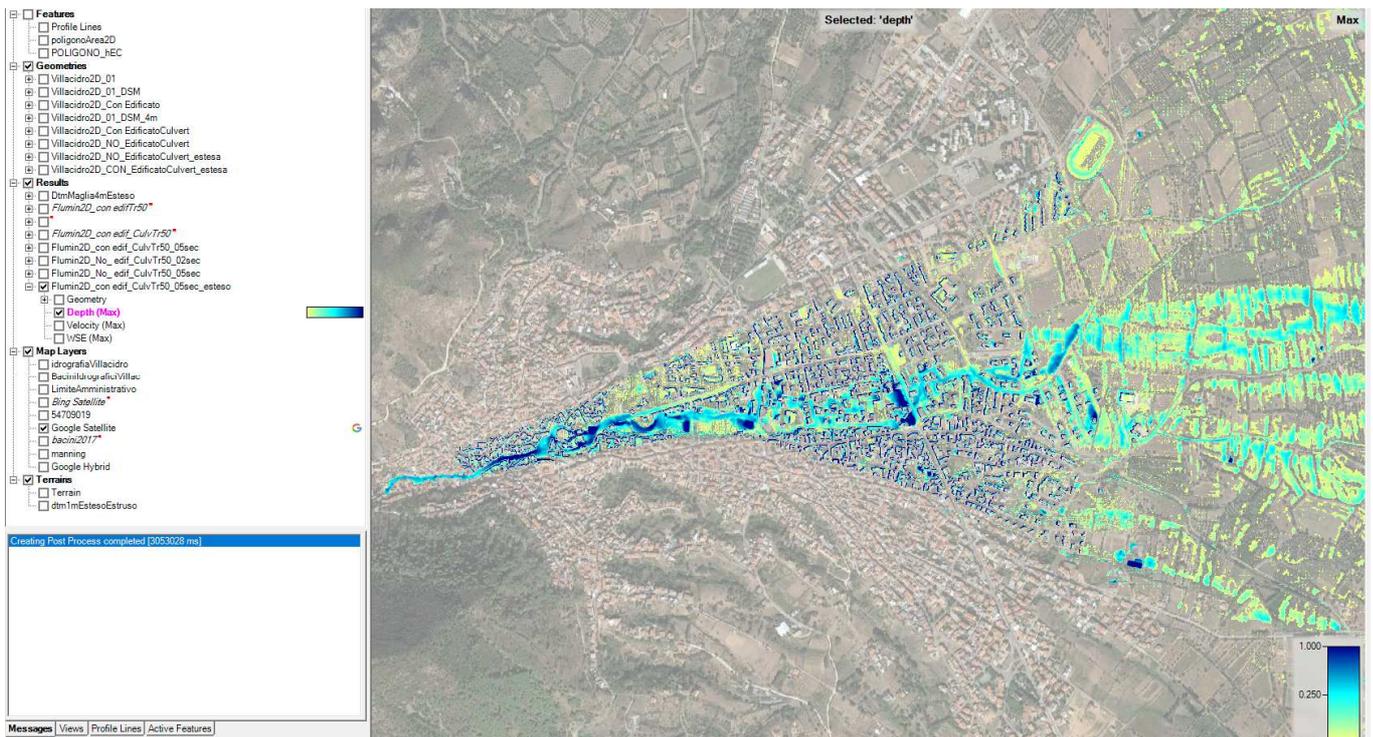
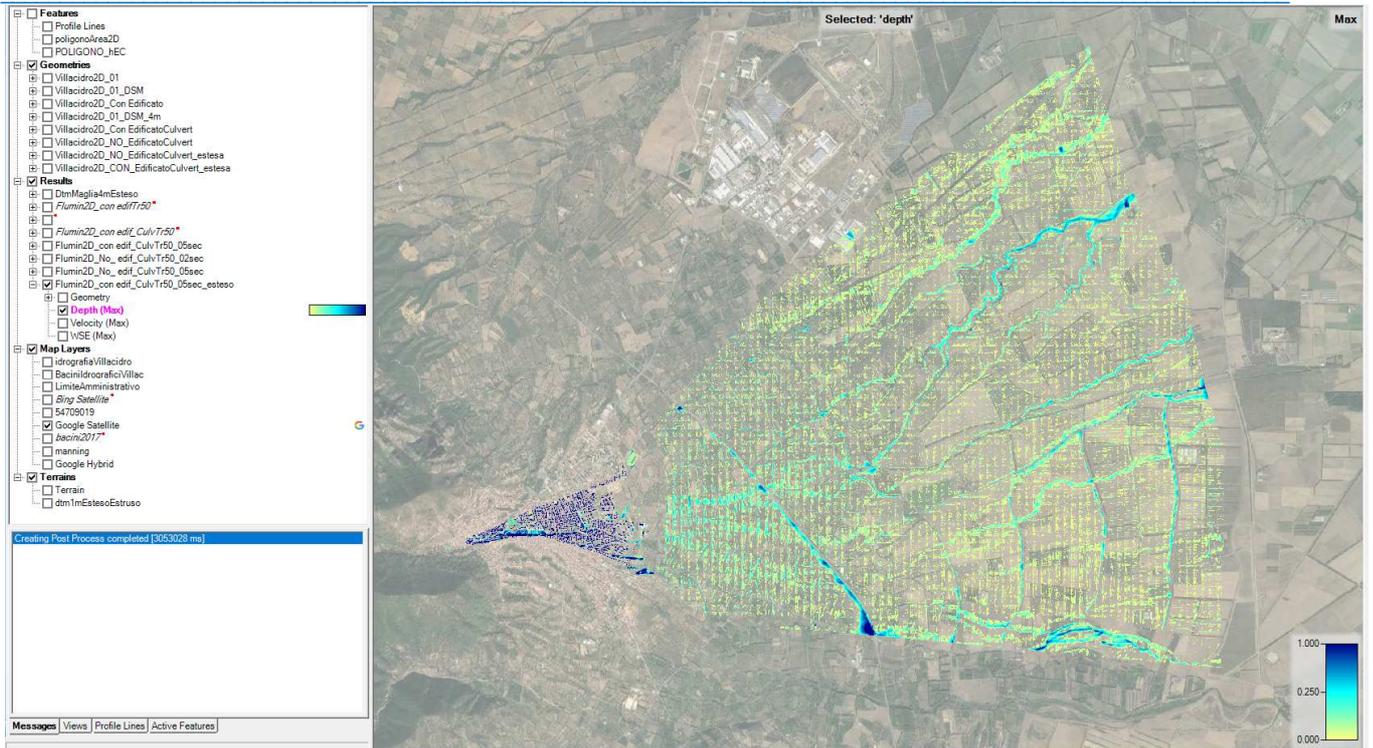


Figura 29 Configurazione con edificato Tiranti idrici Tr50

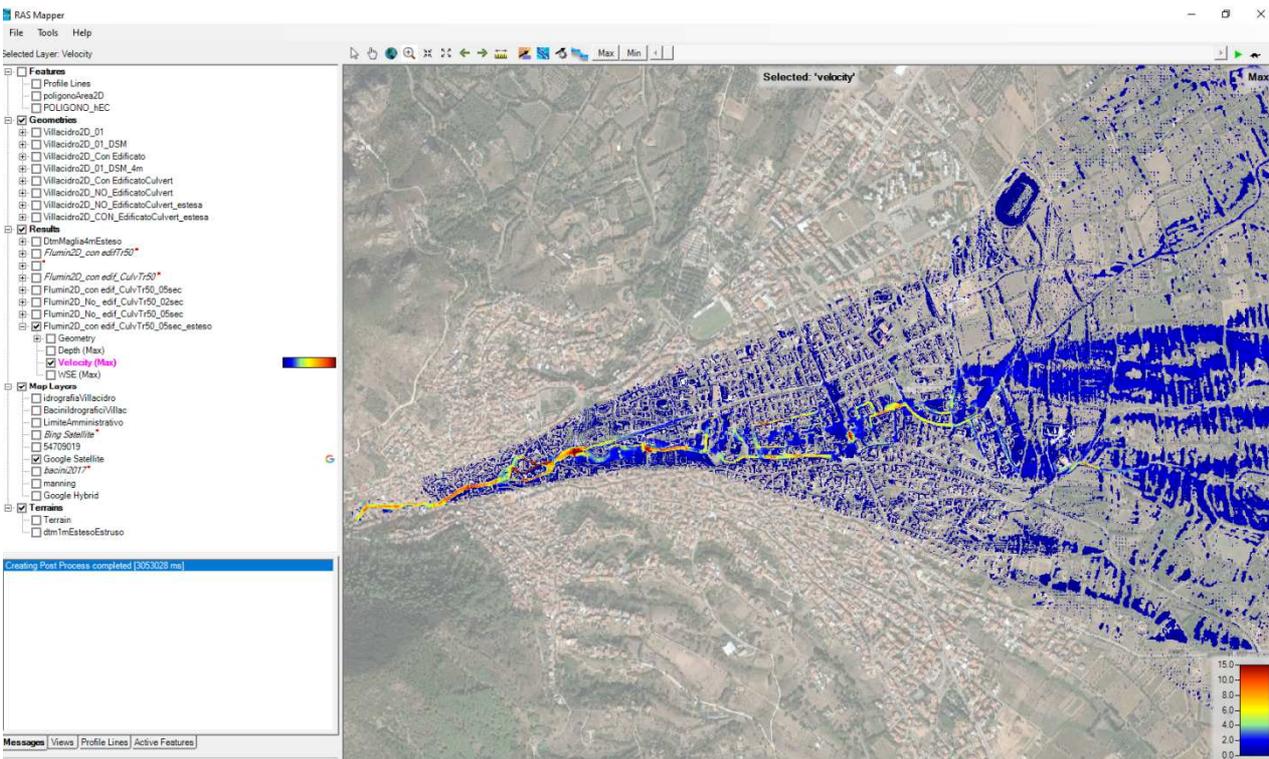
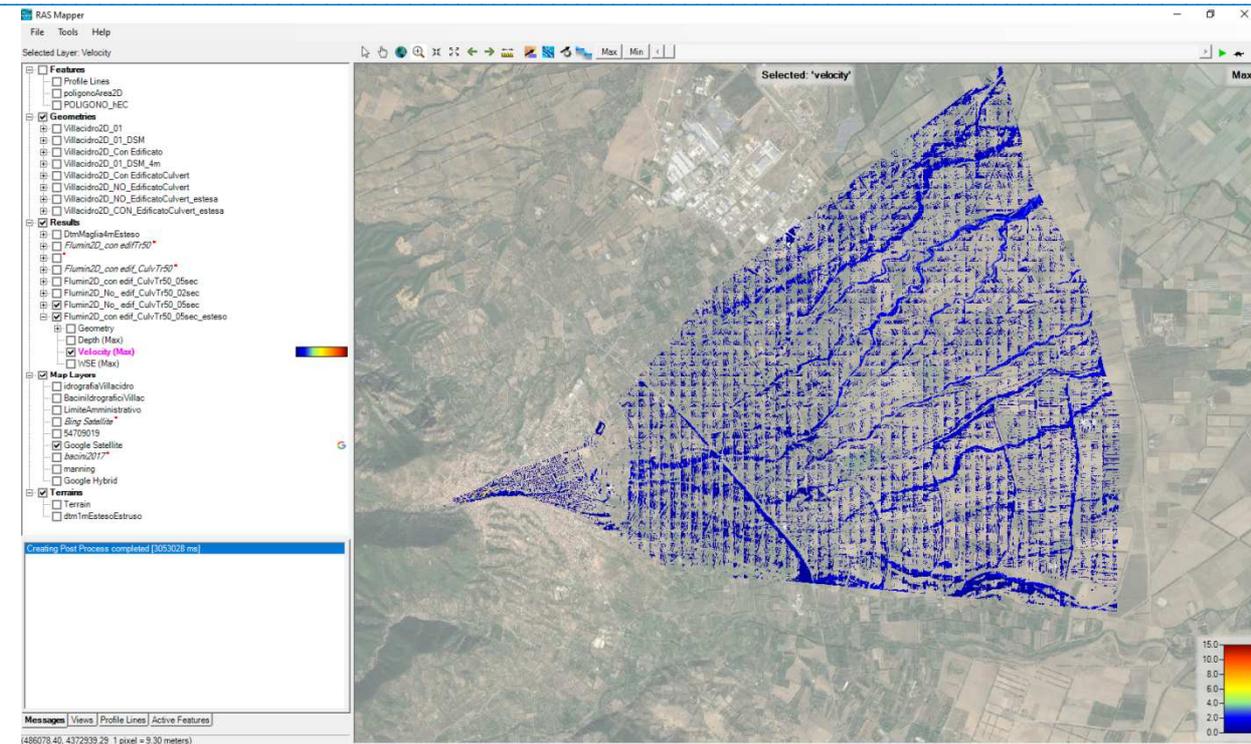


Figura 30 Configurazione con edificato Velocità Tr50

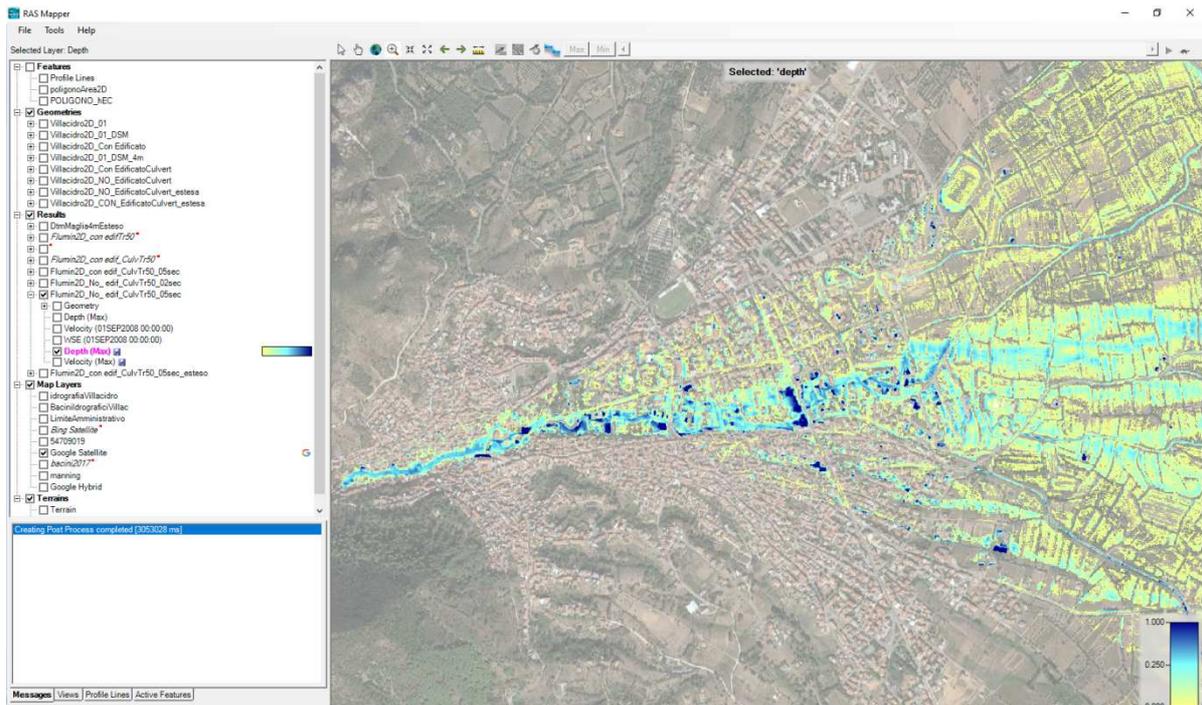
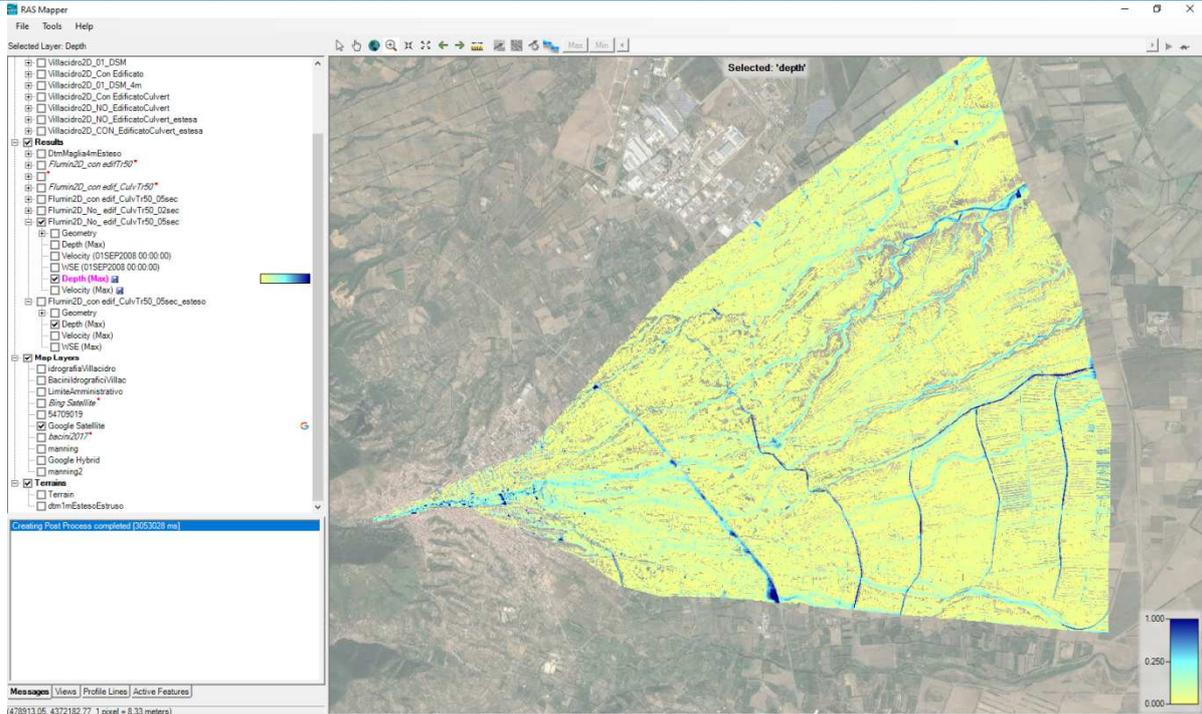


Figura 31 Configurazione senza edificato Tiranti idrici Tr50

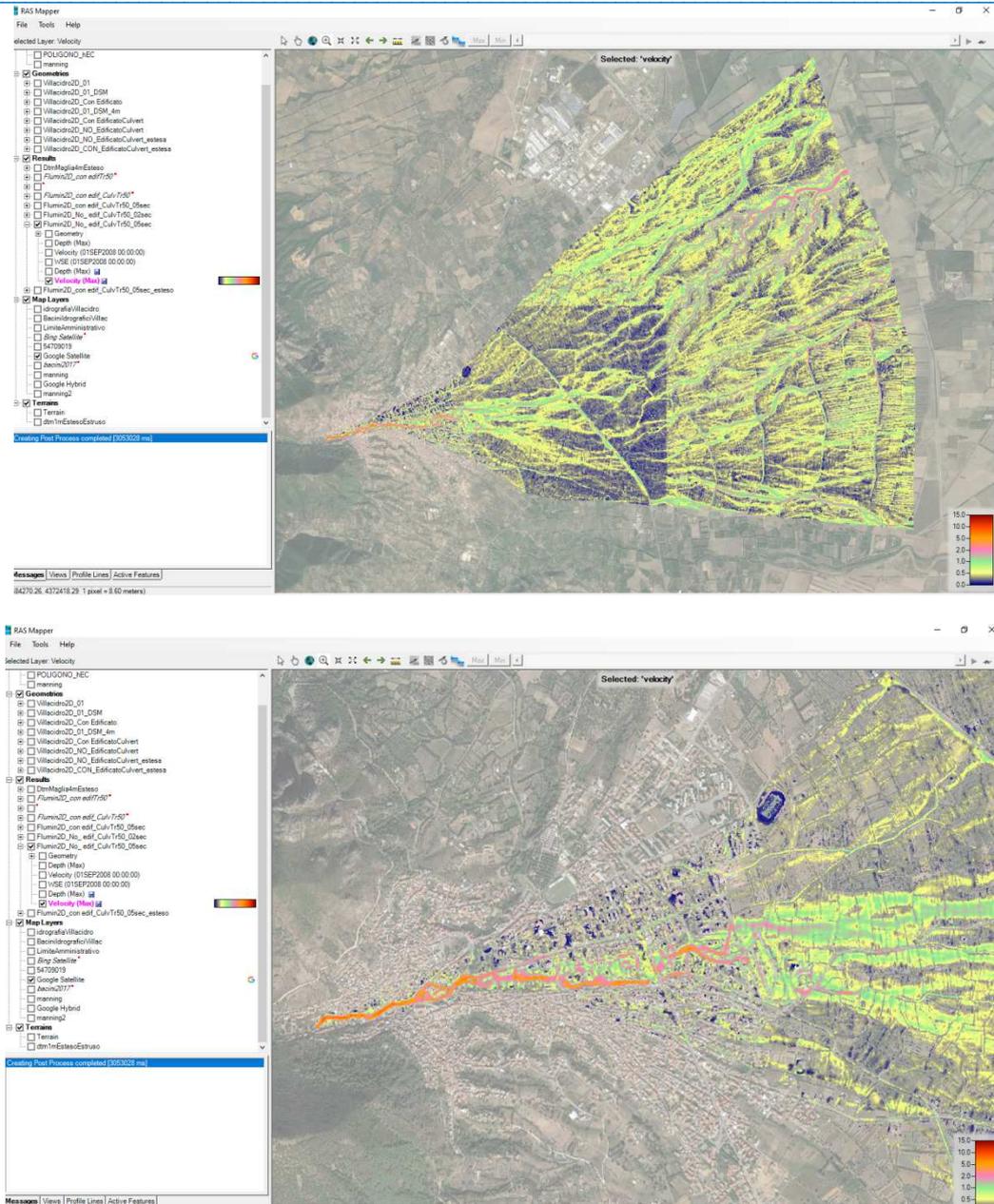


Figura 32 Configurazione senza edificato Velocità Tr50



Figura 33 Configurazione Con edificato Vulnerabilità potenziale Tr50



Figura 34 Configurazione Senza edificato Vulnerabilità potenziale Tr50



L'esiguità delle aree il cui indice di vulnerabilità è maggiore di 0.75 indurrebbe una riduzione notevole delle aree allagabili con qualunque valore della magnitudo.

Nelle due seguenti figure si consegnano le impronte il cui $V_p > 0.75$ nella configurazione con edificato e nella configurazione priva dell'edificato rispettivamente con colorazione verde e rossa; nelle successive due figure si consegnano le impronte il cui $0 < V_p < 0.75$ nella configurazione con edificato e nella configurazione priva dell'edificato rispettivamente con colorazione verde e rossa.

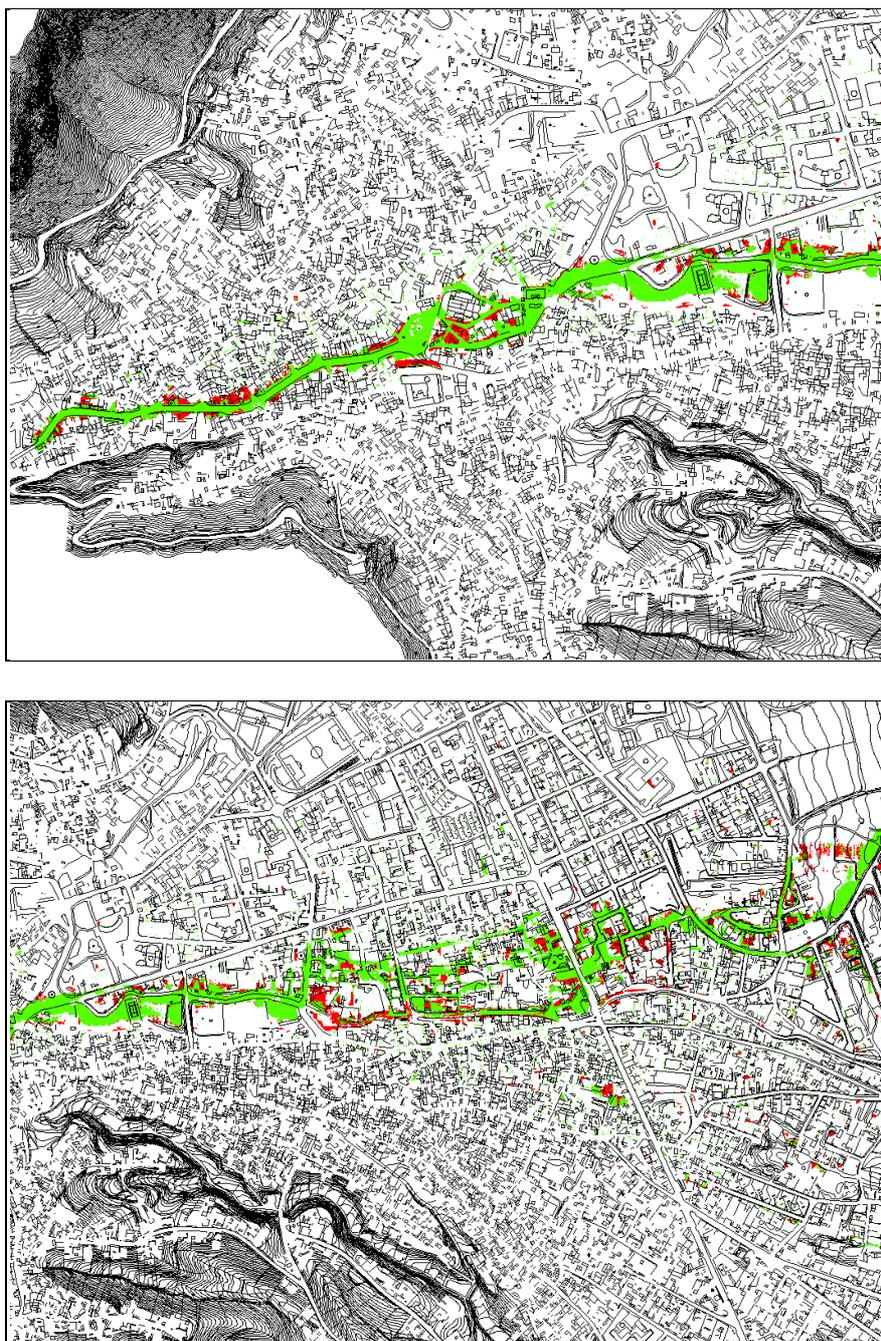


Figura 35 –Valori di $V_p > 0.75$ con edificato in verde e senza edificato in rosso (monte e valle)

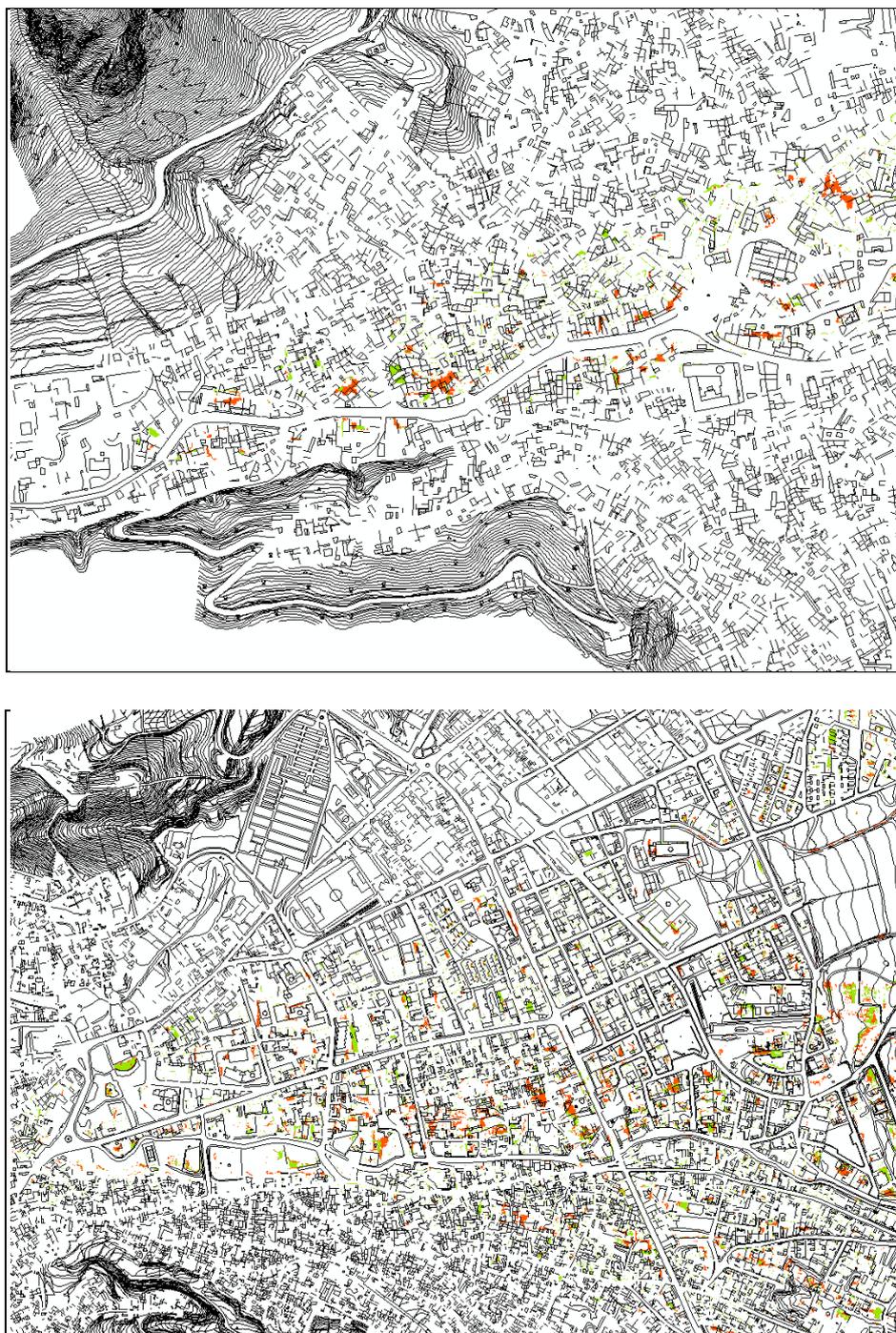


Figura 36 –Valori di $0 < V_p < 0.75$ con edificato in verde e senza edificato in rosso

La tavola allegata consegna l'interpretazione delle valutazioni esposte assegnando i livelli di pericolosità all'interno del tessuto urbano modellato con approccio 2D unitamente alla valutazione della condizione H^* calcolato secondo quanto indicato nella relazione metodologica.



4 IDENTIFICAZIONE E DISCIPLINA DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ QUALE MISURA DI PRIMA SALVAGUARDIA

Secondo quanto indicato all'Art. 30 Ter per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton- Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

5 DETERMINAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Nell'ambito dello studio, e propedeutica all'elaborazione delle carte del Rischio idraulico, sono state definite le carte del Danno Potenziale, corrispondente a quella degli Elementi a rischio, per poi conseguire la cartografia del Rischio idraulico e del quadro informativo necessario alla riduzione del suddetto rischio.

La determinazione della cartografia del rischio idraulico era determinata secondo quanto indicato nelle Linee Guida del PAI, come di seguito riportato.

Secondo la notazione usuale, il Rischio Idraulico, R_i , è definito come il prodotto di tre fattori secondo l'espressione:



$$R_i = H_i E V$$

dove R_i = rischio idraulico totale, quantificato secondo 4 livelli riportati di seguito, dove sono evidenziati gli estremi superiore delle classi.

Rischio idraulico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R_{i1}	Moderato	$\leq 0,002$	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R_{i2}	Medio	$\leq 0,005$	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R_{i3}	Elevato	$\leq 0,01$	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R_{i4}	Molto elevato	$\leq 0,02$	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche

- H_i = pericolosità (natural Hazard) ossia la probabilità di superamento della portata al colmo di piena; in accordo al DPCM 29/09/98 è ripartita in 4 livelli, pari a 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, che corrispondono ai periodi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni. Nello specifico saranno adottate le aree di pericolosità idrauliche dello studio Ex Art. 8 citato in premessa, integrate con quanto richiesto dall'ADIS.
- E = elementi a rischio; ai sensi del citato DPCM sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi. Ai fini del presente lavoro si è assunta la cartografia definita dall'Autorità di Bacino che individua e cataloga gli elementi secondo quattro categorie. Ad ogni classe, nell'applicazione dell'equazione è stato attribuito un peso secondo una scala tra [0, 1].
- V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alla sollecitazione 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 E_4 , E_3 e parte di E_2 , la vulnerabilità, secondo quanto si evince dal DPCM, sarà assunta pari all'unità; per quanto concerne gli elementi di alto tipo occorrerebbe provvedere ad effettuare analisi di dettaglio sui singoli cespiti ma esse esulano dai limiti delle attività previste dal dispositivo di legge e, pertanto, anche a tali elementi si attribuirà un valore di vulnerabilità ancora unitario.

A seguito del nuovo PGRA, sono state introdotte delle novità in materia di Pericolosità e di Danno Potenziale.



In particolare, le quattro classi di pericolosità definite dagli strumenti di pianificazione adottati o approvati dalla Regione Sardegna sono state accorpate secondo le tre classi di seguito riportate:

- P3, ovvero aree a pericolosità elevata, con elevata probabilità di accadimento ($Tr \leq 50$);
- P2, ovvero aree a pericolosità media, con media probabilità di accadimento ($50 < Tr \leq 200$);
- P1, ovvero aree a pericolosità bassa, con bassa probabilità di accadimento ($200 < Tr \leq 500$).

Al fine di predisporre le mappe del rischio di alluvioni, in coerenza con il D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49, la Direttiva 2007/60/CE del 23.10.2007, e gli indirizzi operativi predisposti dal MATTM, è stata effettuata, nelle aree mappate a pericolosità idraulica P1 - P2 - P3 secondo le modalità sopra esposte, un'analisi semplificata del danno potenziale D

$$D = E \times V$$

E = elementi a rischio, che sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi, ed ai quali è stato attribuito un peso secondo una scala compresa fra 0 e 1, a seconda della classificazione attribuita allo stesso elemento

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. Nelle valutazioni effettuate la vulnerabilità è stata assunta pari all'unità.

Le classi omogenee del Danno Potenziale, riassunti nella tabella seguente, sono stati prodotti dalla Regione Sardegna.

D ₁	(Danno potenziale moderato o nullo): comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene
D ₂	(Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico
D ₃	(Danno potenziale elevato): aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive
D ₄	(Danno potenziale molto elevato): aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante



interesse, gravi disastri ecologico – ambientale
--

Tabella 6 Definizione del danno potenziale

L'individuazione delle aree a Rischio idraulico nasce dunque dall'impiego di una tabella a doppia entrata come quella relativa alla Tabella 7.

Classi di Danno Potenziale	Classi di Pericolosità Idraulica		
	P3	P2	P1
D4	R4	R3	R2
D3	R4	R3	R1
D2	R3	R2	R1
D1	R1	R1	R1

Tabella 7 Determinazione delle aree a rischio idraulico

Come indicato sull'Allegato Re06 Relazione sulle mappe di pericolosità e Rischio di cui al Piano di gestione del Rischio di Alluvioni, la carta del Danno potenziale contiene 6 macrocategorie, in particolare¹:

1. **Zone urbanizzate** (agglomerati urbani, nuclei abitati con edificazione diffusa e sparsa, zone di espansione, aree commerciali e produttive) con indicazione sul numero di abitanti potenzialmente interessati da possibili eventi alluvionali – corrispondenza con la classe A del D.P.C.M. 29.09.98 e parzialmente con quanto riportato alla lettera a, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010);
2. **Strutture Strategiche** (ospedali e centri di cura pubblici e privati, centri di attività collettive civili, sedi di centri civici, centri di attività collettive militari – corrispondenza con la classe E del D.P.C.M. 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010);
3. **Infrastrutture strategiche e principali** (linee elettriche, metanodotti, oleodotti, gasdotti e acquedotti, vie di comunicazione di rilevanza strategica sia carrabili che ferrate, porti e aeroporti, invasi idroelettrici, grandi dighe. Per le strade carrabili andranno riportate almeno tre tipologie: autostrade, strade di grande comunicazione e le

¹ Si riportano integralmente passi del citato allegato Re06



strade di interesse regionale, tralasciando i tronchi, anche asfaltati, di interesse locale – corrispondenza con la classe C ed E del D.P.C.M. 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera b, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010);

4. **Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse** (aree naturali, aree boscate, aree protette e vincolate, aree di vincolo paesaggistico, aree di interesse storico e culturale, zone archeologiche di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n.42 del Ministero per i Beni e le Attività Culturali – MIBAC; aree Protette Nazionali e Regionali di cui alla Legge Quadro 394/91 e Siti della Rete Natura 2000 (SIC, ZSC e ZPS) di cui alle Direttive 92/43/CEE “Habitat” e 2009/147/CE, ex 79/409/CEE “Uccelli”; – corrispondenza con la classe D del D.P.C.M. 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera c, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010, da individuare d’intesa o su indicazione delle amministrazioni competenti statali e regionali, ciascuna per il proprio ambito);

5. **Distribuzione e tipologia delle attività economiche** insistenti sull’area potenzialmente interessata (corrispondenza parziale con la classe B del D.P.C.M. 29.09.98 e con quanto riportato alla lettera d, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010).

6. **Zone interessate da insediamenti produttivi o impianti tecnologici**, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale (ai sensi di quanto individuato nell'allegato I del D.L. 59/2005), zone estrattive, discariche, depuratori, inceneritori – e aree protette potenzialmente interessate (corrispondenza parziale con le classi B e E del D.P.C.M. 29.09.98 e totale con quanto riportato alla lettera e, comm.5, art. 6 del D.Lgs. 49/2010);

In analogia a quanto già effettuato nella redazione dei Piani di Assetto Idrogeologico, coerentemente con la normativa di settore (D.P.C.M. 29.09.98) e in funzione di quanto esposto nei precedenti sottoparagrafi, l’analisi del Danno, in questa prima fase di lavoro del Piano Alluvioni, sarà condotta in modo semplificato associando le categorie di elementi esposti a condizioni omogenee di Danno Potenziale.

Di fatto, le classi omogenee di Danno Potenziale risulteranno quattro tenendo conto per la loro definizione in primo luogo, del danno alle persone, e poi di quello al tessuto socioeconomico ed ai beni non monetizzabili. Le quattro classi di danno possono così essere definite:



- **D4 (Danno potenziale molto elevato):** aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico ambientali;
- **D3 (Danno potenziale elevato):** aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- **D2 (Danno potenziale medio):** aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socioeconomico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- **D1 (Danno potenziale moderato o nullo):** comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Pertanto, in riferimento alle definizioni sopra riportate e utilizzando le sei macro-categorie individuate, eventualmente integrate con ulteriori dati provenienti da strumenti di pianificazione di dettaglio, le classi di danno potenziale devono essere costituite almeno dai seguenti elementi:

D4 - Danno potenziale molto elevato:

- Zone urbanizzate (agglomerati urbani, nuclei abitati con edificazione diffusa e sparsa). – elementi appartenenti alla 1 categoria di elementi esposti;
- Zone interessate da attività economiche e produttive di rilevante interesse (zone commerciali, industrie, centri di ricerca, etc. non potenzialmente pericolose dal punto di vista ambientale) – elementi appartenenti alla 1 categoria di elementi esposti;
- Strutture Strategiche (ospedali e centri di cura pubblici e privati, centri di attività collettive civili, sedi di centri civici, centri di attività collettive militari) – elementi appartenenti alla 2 categoria di elementi esposti;
- Infrastrutture strategiche (Autostrade, Tangenziali, Grandi Strade e/o Strade a Scorrimento Veloce, Strade Statali, Provinciali e Comunali principali, Stazioni FS, Linee Ferroviarie, Aeroporti, Eliporti, Porti, invasi idroelettrici, grandi dighe Elettrodotti, Gasdotti, Acquedotti, Metanodotti, Linee Elettriche, Oleodotti) – elementi appartenenti alla 3 categoria di elementi esposti;



- Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse (aree naturali, aree boscate, aree protette e vincolate, aree di vincolo paesaggistico, aree di interesse storico e culturale, zone archeologiche) – elementi appartenenti alla 4 categoria di elementi esposti;
- Zone interessate da attività economiche, industriali o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale (ai sensi di quanto individuato nell'allegato I del D.L. 59/2005) – elementi appartenenti alla 5 categoria di elementi esposti.

D3 - Danno potenziale elevato:

- Discariche, depuratori, inceneritori – elementi appartenenti alla 5 categoria di elementi esposti;
- Zone omogenee presenti negli strumenti urbanistici comunali e individuati come Cimiteri, cave, discariche anche se non in esercizio;
- Beni ambientali, paesaggistici e storico-archeologici che racchiudono potenziali valori, ma non riconosciuti in termini normativi.

D2 - Danno potenziale medio:

- Zone agricole specializzate – elementi appartenenti alla 6 categoria di elementi esposti;
- Zone estrattive;
- Zone omogenee presenti negli strumenti urbanistici comunali e individuati come ad esempio, verde urbano e parchi urbani, borghi rurali.
- Infrastrutture secondarie: intese come strade secondarie, linee ferroviarie e stazioni nel caso in cui il danno non provochi l'isolamento di uno o più centri urbani,

D1 – Danno potenziale moderato o nullo:

- Aree incolte o di scarso valore ambientale;
- Aree agricole non specializzate (prati, pascoli, etc.);
- Aree umide (zone umide, corpi idrici, boschi igrofili, lanche e meandri abbandonati, ecosistemi sito-specifici, etc.);



-
- Superfici costruite, a bassa densità di edificazione in stato di abbandono o degrado riconosciuto. Il valore è principalmente legato alla perdita dell'elemento costruito.

Sulla base della classificazione su descritta si è ottenuta la carta del danno potenziale, indicata come Tav05 in allegato.