

PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA E IDRAULICA NEL BACINO IDROGRAFICO DEL RIO SOLANAS (SARDEGNA SE).

Felice DI GREGORIO (*), Marco PUSCEDDU (*), Andrea SERRELI (*)

(*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari, Laboratorio di Geologia Ambientale e Termografia, Via Trentino n°51, 09127 Cagliari, tel. 070.6757778, digregof@unica.it.

Riassunto

Il presente lavoro si propone come contributo per lo sviluppo di una metodologia finalizzata alla valutazione di parametri che trovano applicazioni fondamentali nella pianificazione e nella gestione del territorio, quali l'erosione accelerata e il rischio idrogeologico e idraulico.

L'area campione è stata individuata nel bacino idrografico del Rio Solanas (Sardegna SE).

Lo studio sul bacino è stato condotto mediante l'applicazione di metodologie dirette di indagine territoriale, indirizzate alla comprensione, alla determinazione e alla rappresentazione dei fenomeni geomorfologici ad evoluzione naturale o influenzata dalle attività antropiche, ma anche attraverso metodologie e procedure indirette orientate alla valutazione quantitativa delle forme del territorio e dei processi idrogeologici pericolosi da cui si originano la pericolosità geoambientale e la vulnerabilità territoriale. A supporto dello studio e dell'analisi è stato progettato e realizzato un Sistema Informativo Territoriale, basato su un modello concettuale orientato e su un database geografico relazionale, all'interno del quale sono state sviluppate elaborazioni di analisi spaziale e tridimensionale ed elaborazioni di modelli matematici basati sulla metodologia dell'*overlay mapping* tematico.

Il confronto delle informazioni scaturite dai modelli numerici con le informazioni raccolte sul campo ha permesso di individuare vincoli e contesti utili per la verifica dell'affidabilità e della qualità dei dati derivati e per una migliore calibrazione delle metodologie e delle applicazioni utilizzate per la redazione di cartografia di sintesi sulla pericolosità geomorfologica e idraulica.

Abstract

The present study is a contribution to the development of a finalized methodology for the appraisal of parameters that find fundamental applications in the actions of planning and managing the territory, which are the accelerated erosion of soils and the hydrogeological and hydraulic risk.

The study has been conducted to the catchment basin of Rio Solanas (Sardinia SE) by the application of direct methodologies for the territorial investigation, which were aimed to the comprehension, to the evaluation and to the representation of geomorphological processes, characterized by natural evolution or influenced by anthropic actions, but also by indirect methodologies aimed to the numerical evaluation of landforms and hazardous hydrogeological processes, that determine the geologic-environmental hazard and the territorial vulnerability. A geographic information system, based on an oriented conceptual model and on a relational geographic database, has been planned and developed to support the study and the analysis, which have been developed by spatial and tridimensional analysis processing and by the development of numerical models, based on the overlay mapping methodology.

The comparison between the derived by numerical models informations and the informations acquired from direct surveys has enabled to characterize the constraints and the contexts for the checkout of the reliability and the quality of the derived data and also for a best calibration of methodology and applications used to develop thematic maps of synthesis that represent the geomorphological and the hydraulic hazard.

Inquadramento geografico

L'area di studio si inquadra nel settore Sud-Orientale della Sardegna (Fig 1). Più in dettaglio ricade nel settore orientale del Golfo di Cagliari, dove la costa risulta prevalentemente orientata a Sud Ovest ed ha limite fisiografico nel promontorio di Capo Boi; oltre questo, infatti, si apre il Golfo di Carbonara, con la costa prevalentemente orientata a Sud Est.



Fig 1_Inquadramento regionale

Il territorio oggetto di studio comprende la superficie scolante del bacino idrografico del Rio Solanas; secondo il sistema di coordinate di riferimento di Gauss-Boaga Roma 40 fuso Ovest, la sezione di chiusura del bacino idrografico, scelta nella spiaggia, allo sbocco a mare, ha coordinate 1537553.26, 4331414.05.

La superficie sottesa dagli spartiacque è pari a 32.30 Km² (Fig 2). La quota massima (760.60 m) si individua sullo spartiacque di sinistra idraulica nella parte alta del bacino, mentre la quota minima (0.00 m) si individua presso la foce del Rio Solanas a livello del mare. La quota media è 300.51 m. La pendenza media dei versanti è del 37%; la pendenza massima è 243% e si riscontra sullo spartiacque di sinistra idraulica, mentre la pendenza minima si rinviene nelle aree pianeggianti della zona valliva di piana alluvionale e in aree piane distribuite lungo i versanti o sulle linee di spartiacque.

Il valore di acclività più basso (0.002% \approx 0.0015°) si individua nella parte alta del bacino, in prossimità dello spartiacque di destra idraulica, proprio dove dal versante acclive si passa ad una zona pianeggiante definita da una antica superficie di spianamento.

Il reticolo idrografico del Rio Solanas, di chiara impostazione tettonica, appare di tipo subdendritico, alquanto simmetrico rispetto all'asta di drenaggio principale; questa infatti suddivide, sulla destra e sulla sinistra idraulica, il bacino ed il reticolo in due settori, caratterizzati da parametri morfometrici del tutto analoghi.

Secondo il metodo di gerarchizzazione di Horton - Strahler il reticolo idrografico risulta del 5° ordine, costituito da 287 aste drenanti ed in sostanza ben gerarchizzato.

Pericolosità di erosione - modello concettuale

L'analisi del modello concettuale del database, comparata con le specificità dello studio dei processi erosivi, ha permesso di individuare i livelli informativi ritenuti utili e indispensabili per rappresentare i fattori influenti e/o determinanti nello sviluppo di processi di erosione pericolosi.

La scelta dei parametri da porre in confronto spaziale e analisi integrata è ricaduta strettamente su quei fattori che possono influenzare e/o determinare l'evolvere di un processo attivo oppure l'accadimento di un fenomeno di pericolosità per erosione.

I *datasets* di input scelti per lo sviluppo dell'applicazione sono: la geologia, l'uso del suolo e la copertura vegetale, l'acclività dei versanti e la densità di drenaggio.

A completare il modello concettuale è stato realizzato un livello informativo delle superfici costituite da differenti morfologie e varia intensità dei processi erosivi. Questo *dataset* è necessario per supportare analiticamente la definizione degli indici di pericolosità ed elaborare la mappatura, correlata alla pericolosità di erosione dei processi geomorfologici erosivi riconosciuti nell'area.

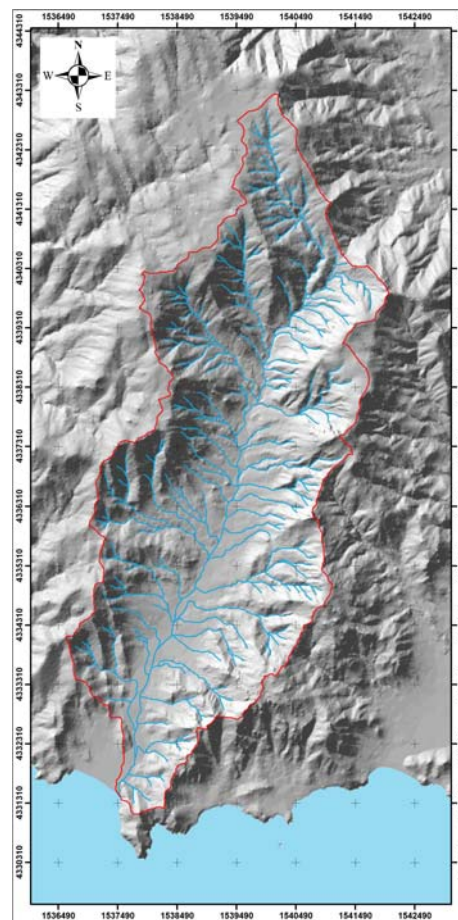


Fig 2_Bacino e reticolo idrografico del Rio Solanas

Tra i vari processi erosivi rilevati nel territorio del bacino idrografico, quelli apparsi maggiormente significativi per spazializzare le condizioni di pericolosità geomorfologica, sono quelli per i quali si sono potute osservare le effettive cause e conseguenze: per esempio l'erosione localizzata dovuta ai processi di deflusso incanalato, posto in relazione alla pericolosità idraulica, oppure quella riconducibile all'uso non sostenibile del suolo, come causa di erosione superficiale intensa.

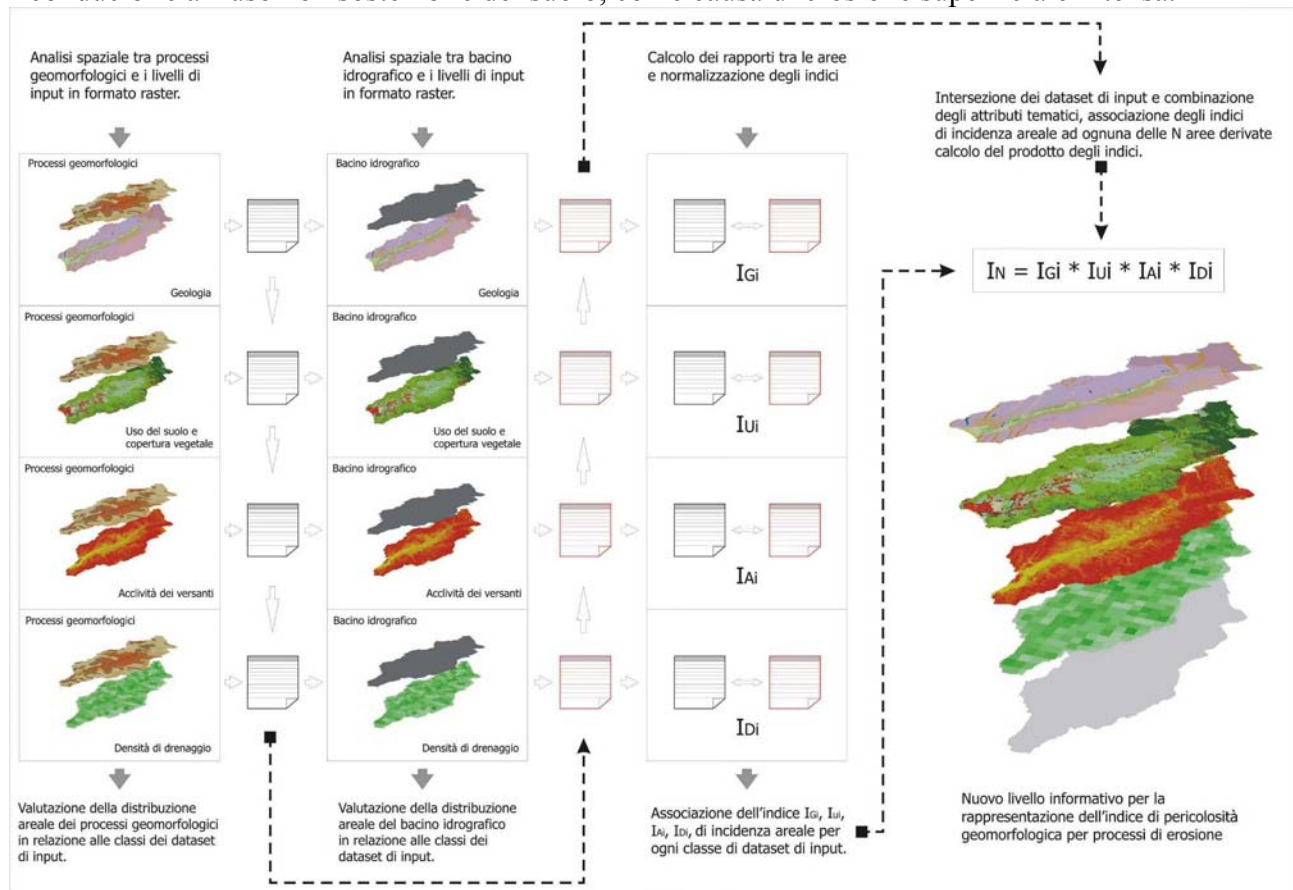


Fig 3_Schema metodologico per l'indicizzazione e la mappatura degli indici di pericolosità da erosione del suolo

Pericolosità di erosione – indicizzazione - mappatura

Le elaborazioni geografiche e le funzionalità di analisi spaziale hanno permesso di processare i *datasets* ambientali di input e definire il metodo di indicizzazione dei vari parametri ambientali scelti per caratterizzare la pericolosità geomorfologica.

La scelta del modello concettuale determina la tecnica adottata per indicizzare i parametri di input, finalizzata alla trattazione puramente numerica delle informazioni. Infatti, se spesso la determinazione dell'incidenza di ogni parametro viene supportata da una buona dose di soggettività necessaria alla descrizione dei fattori e dei processi, essa, tuttavia, lascia totalmente inadeguate le informazioni geografiche necessarie per la trattazione numerica dei dati spaziali.

Nell'ambito del presente lavoro si è fatto riferimento a modelli e applicazioni sviluppati in ambiente *GIS* per mezzo di elaborazione dati di tipo spaziale e alfanumerico (Del Monte *et Alii*, 1999; Piacquadio *et Alii*, 2000) in maniera tale da derivare, direttamente da parametri numerici rilevati, gli indici di pericolosità associati alla classe omogenea di ogni singolo parametro ambientale.

In particolare, per ogni tipologia di processo geomorfologico analizzato è stato studiato l'indice di incidenza areale di ogni classe, per ogni parametro di input, in relazione alle aree interessate da quella tipologia di processo.

Pertanto, considerando per esempio un processo erosivo, l'indice di incidenza areale associato ad ogni classe di un parametro, per esempio la geologia, è così definito: $I_{Gi} = A_{pGi}/A_{Gi}$ dove: se G_i , con i che varia da 1 a k , sono le classi di litologie con cui è stato identificato il parametro geologia, A_{pGi}

è l'area nella classe G_i interessata dal processo erosivo considerato e A_{G_i} non è altro che l'area nella classe G_i considerata in tutto il bacino idrografico. L'indice così derivato è una media campionaria che lega il processo geomorfologico con ognuna delle classi distinte per il parametro di input, quantificando la percentuale di area interessata dal processo erosivo in ognuna delle classi.

Gli indici ottenuti per ognuna delle classi sono stati rinormalizzati rispetto alla loro somma totale in maniera tale da poter definire un intervallo, variabile tra 0 e 1 e quindi ipotizzare che il valore minimo corrisponda alla probabilità che nell'area interessata da un processo geomorfologico, questo non si verifichi in maniera attiva o pericolosa in funzione delle condizioni ambientali locali; viceversa, si ipotizza che il valore massimo corrisponda alla probabilità che nell'area considerata una determinata classe del parametro di input considerato si manifesti con la massima incidenza areale nella determinazione di un processo erosivo attivo.

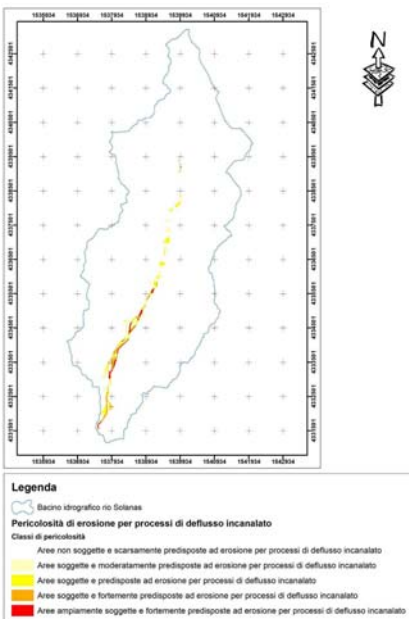


Fig 4_Carta della pericolosità di erosione per processi di deflusso incanalato

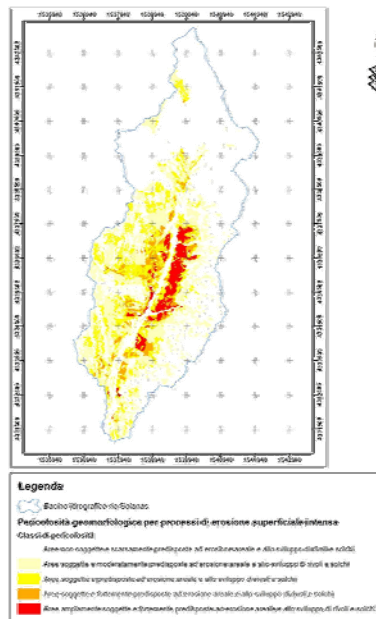


Fig 5_Carta della pericolosità geomorfologica per processi di erosione superficiale intensa

Per poter valutare gli effetti derivanti dalla simultanea presenza di tutti i parametri ambientali, i relativi livelli informativi sono stati sovrapposti e intersecati contemporaneamente e gli attributi delle diverse classi di fattori sono stati combinati. Il risultato è un nuovo *dataset* che rappresenta tutte le possibili combinazioni tra i *datasets* di input. Ne derivano N entità spaziali a cui è stato associato l'indice di incidenza areale di ogni classe per ogni *dataset* di input e, successivamente, per ogni entità il valore dell'indice di pericolosità (I_N) riferito ad un particolare processo erosivo. Per ognuna delle N aree, I_N è definito dal prodotto degli indici di incidenza areale, espressi dalla classe di ogni parametro di input nella ennesima area (Fig.3).

La suddivisione dei valori degli indici di pericolosità in classi di pericolosità deriva dalla applicazione del sistema di classificazione *Natural breaks* (Minami, 2000), (Fig 4, Fig 5).

Pericolosità idraulica – metodologia e risultati

La metodologia adottata per la mappatura della pericolosità idraulica, nel settore della piana costiera del bacino idrografico del Rio Solanas, intesa come probabilità di superamento della portata al colmo di piena a seguito di un evento di precipitazione intensa, si basa sulla sperimentazione delle capacità di elaborazione e di modellazione tridimensionale di dati spaziali, tipiche del *software* adottato HEC-RAS - *River Analysis System* (U.S. Army Corps of Engineers – *Hydrologic Engineering Center*), e dalla interfacciabilità con l'applicazione HEC-GeoRAS adottata per l'analisi in ambiente *GIS* dei dati derivati dalla verifica delle sezioni idrauliche.

L'elaborazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica ed il calcolo delle portate di piena con diverso tempo di ritorno sono state attività di ricerca e applicazione propedeutiche per lo sviluppo delle elaborazioni riguardanti la mappatura della pericolosità idraulica.

Individuata la porzione dell'asta di deflusso ordinario e selezionato il tronco fluviale che dovrebbe smaltire le portate di piena, si è proceduto alla scelta delle sezioni idrauliche.

Conseguentemente sono state elaborate 430 sezioni idrauliche (Fig 6), sul tronco fluviale di lunghezza pari a 3922 m, per ognuna delle quali, a seguito della elaborazione tridimensionale supportata dal DTM elaborato dall'aerofotogrammetrico in scala 1:1000, è stata effettuata la verifica al deflusso di piena con il *software* HEC-RAS.

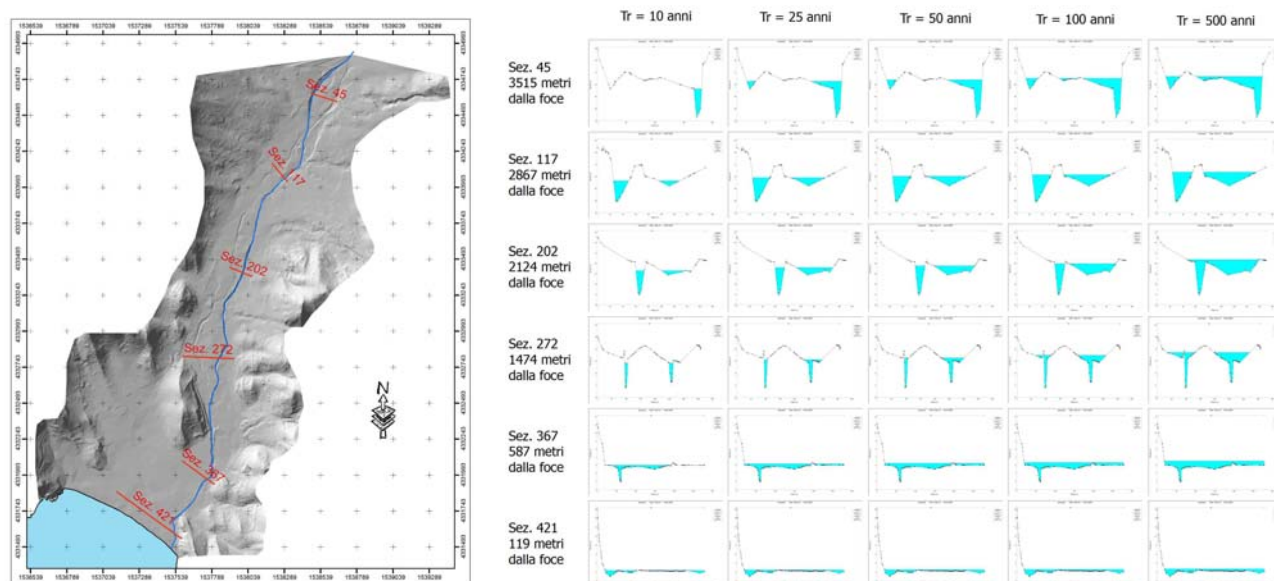


Fig 6_Rappresentazione del tronco fluviale e delle tracce delle sezioni idrauliche di esempio, e restituzione grafica della verifica per diversi tempi di ritorno, elaborata con HEC-RAS, per le stesse sezioni con numero progressivo e distanza dalla foce.

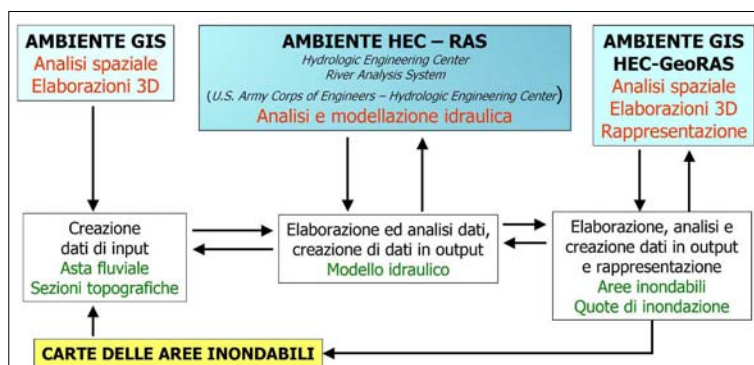


Fig 7_Schema metodologico per l'elaborazione delle carte delle aree inondabili per diversi tempi di ritorno

Tutte le elaborazioni condotte in ambiente GIS hanno consentito di produrre un set di dati spaziali analizzabili dal *software* HEC-RAS - *River Analysis System*, secondo il modello fisico e le caratteristiche procedurali da questo richieste. Questo ha consentito di porre a verifica tutte le sezioni idrauliche e ricostruire le aree inondabili in funzione di diversi valori della portata di piena entrante nella sezione posta più a monte rispetto alla foce (Fig 7).

La mappatura delle aree inondabili rappresenta la distribuzione del volume di piena entrante nella sezione a monte del tronco fluviale principale su una superficie di deflusso distribuita in destra e sinistra idraulica rispetto alla linea di deflusso ordinario.

Tale superficie viene delimitata in funzione della morfologia del talweg e della piana di esondazione, ovviamente considerando come limite, non computabile nella mappatura, l'area esterna alla curva di inviluppo delle sezioni idrauliche.

Le elaborazioni spaziali condotte per lo sviluppo dell'applicazione, oltre alla perimetrazione delle aree inondabili, hanno inoltre consentito la realizzazione di un *dataset* di informazioni numeriche riferite ad ogni punto stazione di ogni sezione idraulica e relative alla quota del deflusso idrico in quel punto.

Successivamente, previa elaborazione di una superficie interpolata sulla base delle quote del livello idrico associate ad ogni punto stazione, è stato effettuato il calcolo della differenza di quota esistente tra la superficie interpolata stessa, rappresentante il livello del deflusso idrico nel continuo della superficie inondabile e la superficie topografica, rappresentata dal DTM.

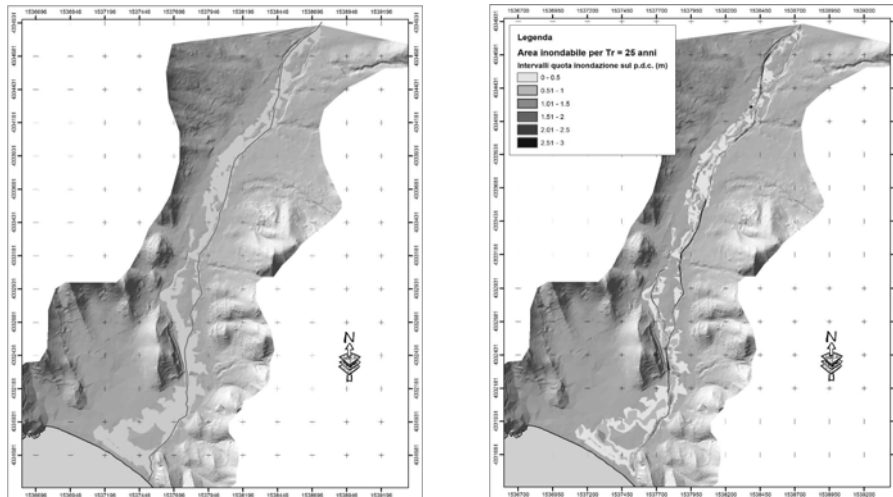


Fig 8_Carta dell'area inondabile per tempo di ritorno $T_r = 10$ anni con indicazione delle diverse altezze del deflusso di piena.

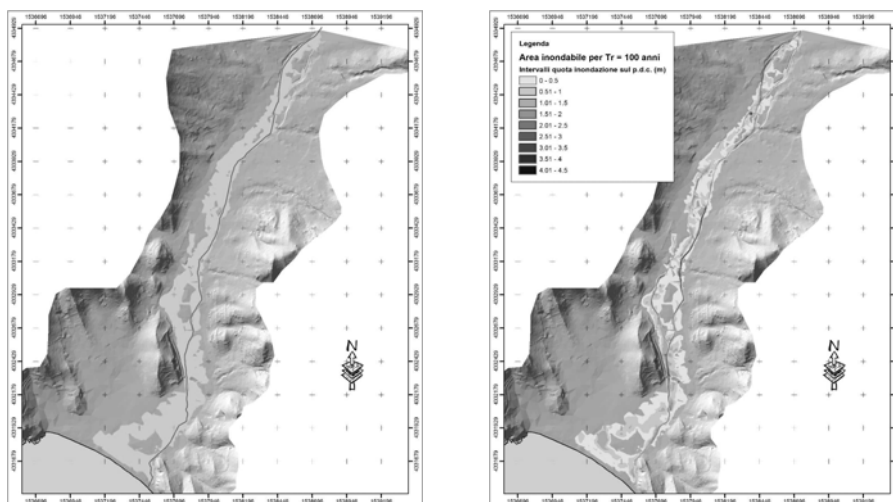


Fig 9_Carta dell'area inondabile per tempo di ritorno $T_r = 100$ anni con indicazione delle diverse altezze del deflusso di piena.

Riferimenti bibliografici

- Cao C., Piga E., Salis M., Sechi G.M. (1991) *Valutazione delle Piene in Sardegna - Rapporto Regionale*, CNR-GNDCI.
- Ciccu R., Manca P.P., Di Gregorio F. (1994) *Propensione al dissesto idrogeologico in Sardegna: analisi storica degli eventi ed aspetti metodologici*; Atti del IV Convegno Internazionale di Geingegneria, Difesa e Valorizzazione del suolo e degli acquiferi, Vol.1.
- Del Monte M., Fredi P., Lupia Palmieri E., Marini R. (1999) *Contributo della geomorfologia quantitativa alla valutazione della pericolosità geomorfologica*; Atti dei convegni Lincei - 154 - Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- Di Gregorio F., Pusceddu M., Serreli A. (2006) *Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologica nel bacino del Riu Pula*; Atti della X Conferenza Nazionale ASITA.
- Ferro V. (2002) *La Sistemazione dei bacini idrografici*; ed. McGraw-Hill, Milano.
- Piacquadio G., Ceccarelli M., Macchiarolo G., Pignone M., Russo F. (2000) *La valutazione automatica della pericolosità geomorfologica nell'analisi del rischio: un caso di studio nell'area di Colle Sannita (Benevento)*; Atti della IV Conferenza Nazionale ASITA.
- Serreli A. (2007) *Database geografico e applicazioni GIS orientate allo studio geomorfologico quantitativo e alla mappatura della pericolosità idrogeologica nel bacino idrografico del Rio Solanas (Sardegna SE)*; Tesi di dottorato di ricerca in "Difesa del suolo".