

## **Studio della propensione al dissesto idrogeologico del bacino sotteso dalla Diga di Medau Zirimilis (Sardegna SW) tramite l'impiego di applicazioni GIS**

Frongia P.

Dottorando di Ricerca in Difesa e Conservazione del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica, Università di Cagliari Dipartimento di Scienze della Terra  
Via Trentino 51, 09127, Tel. 6757750, mail:paolofron@tiscali.it

### **Riassunto**

Nel presente lavoro, tramite un approccio modellistico e l'impiego di applicazioni GIS, viene proposto un metodo per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico correlato ad eventi pluviometrici estremi capaci di provocare l'innesco di fenomeni franosi di erosione accelerata e di trasporto solido di fondo e in sospensione che possono creare problemi di rischio ambientale e variazioni della morfologia fluviale e dell'area d'invaso. L'area di studio presa in considerazione è quella del bacino idrografico del Rio Casteddu nella sua parte sottesa dalla diga di Medau Zirimilis in territorio di Siliqua (Sardegna SW). Il bacino è sostanzialmente costituito da graniti e loro differenziazioni aplitiche e pegmatitiche nella parte alta e da rocce metamorfiche (metarenarie, metasiltiti e matargilliti in quella più a valle, prossima all'invaso). Il lavoro è stato condotto mediante la fotointerpretazione di riprese aeree (foto aeree ed ortofoto) e controlli e verifiche sul campo che hanno consentito la mappatura delle caratteristiche geologico-ambientali del territorio ed una prima messa in luce delle aree critiche o sensibili. La propensione al dissesto idrogeologico è stata valutata mediante l'adozione di un modello concettuale sviluppato in ambiente GIS, tramite una operazione di *overlay* cartografico e l'integrazione, di pesi correlati alle rispettive propensioni al dissesto, dei tematismi considerati (caratteristiche geomorfologiche del bacino, litologie e relativa fratturazione, pendenze dei versanti, esposizione, uso del suolo e copertura vegetale, fasce altimetriche, pendenza delle aste fluviali, spessore e grado delle coltri di alterazione). L'interpretazione dei dati geografici è stata adattata al modello fisico attraverso l'elaborazione dei dati da formato vettoriale a formato raster e successive elaborazioni di *overlay mapping*. La taratura dei pesi attribuiti ai diversi tematismi utilizzati per l'integrazione delle diverse componenti è stata calibrata sulla base degli effetti osservati mediante rilevamento in situ dei fenomeni di dissesto conseguenti a recenti precipitazioni intense che si sono verificate nell'area o nel suo intorno (bacino del Rio San Girolamo, bacino del Rio Santa Lucia, piccoli bacini a monte dell'abitato di Capoterra) nell'ultimo decennio.

### **Abstract**

In this paper, using a modeling approach and using GIS application, are proposed a method for evaluating the propensity to hydrogeological risk related to extreme rainfall events able to causing the trigger landslides and accelerated erosion of solid transport thoroughly and suspension, which can create problems of environmental risk and changes in river morphology and alluvial the area. The propensity to hydrogeological risk was assessed by the adoption of a conceptual model developed in GIS environment, through an operation overlay cartographic integration of weights related to their propensity to collapse, the themes considered (geomorphological characteristics of the basin lithologies and related fractures, steep slope, exposure, land use and land cover, elevation ranges, slope of river courses, thickness of layers and degree of alteration).

## Premessa

Nel seguente contributo è descritta la metodologia applicata per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico del bacino del Rio Casteddu, all'interno del territorio di Siliqua (Sardegna S-W). Dopo aver effettuato una campagna di rilevamenti sul terreno, la ricerca bibliografica, un'attenta interpretazione delle riprese aeree e ortofoto, è stata effettuata un'elaborazione di cartografie tematiche tra le quali, geologia, pendenze dei versanti, esposizione dei versanti, uso attuale del suolo, geomorfologia, che ha consentito tramite l'*overlay* cartografico di ottenere una carta di sintesi della propensione al dissesto idrogeologico, che evidenzia le aree potenzialmente predisposte a fenomeni erosivi, spesso innescati da eventi meteorici estremi.

## Principali lineamenti geologici dell'area di studio

Il bacino idrografico del Rio Casteddu avente un'estensione di 29,42 Km<sup>2</sup> è inquadrato all'interno di un bacino più ampio, è infatti uno dei principali affluenti in destra idrografica del Rio Cixerri. L'area sottesa dal bacino considerato è costituito da due principali gruppi di litologie, ed in particolare da rocce metamorfiche di età paleozoica e rocce granitiche, con subordinati depositi quaternari, classificabili come depositi di versante e depositi alluvionali, mentre sono presenti in affioramenti limitati successioni di arenarie ed argille della formazione del Cixerri correlabili all'eocene. Le successioni scistose-metamorfiche costituite da metapeliti metareniti, metasiltiti risalenti all'età paleozoica affiorano nel settore più a nord del bacino, quindi nella parte più bassa (Fig.3 – Carta Geologica). Il settore più alto e meridionale del bacino è caratterizzato prevalentemente da leucograniti (Monte Arcosu), del complesso plutonico, appartenenti al basamento ercinico databili al Carbonifero sup.-permiano (Bralia et al. 1981) che si presentano con colorazioni prevalentemente chiare e rosate con facies equigranulari prevalentemente fine intercalati da filoni di quarzo.

Le coperture quaternarie presenti poco rappresentate, sono costituite prevalentemente da alluvioni caratterizzate da ciottoli e clasti di dimensione assai variabile immersi in matrice argillosa, e si rinvencono prevalentemente lungo alcuni tratti della valle principale.

I depositi alluvionali antiche, terrazzati sono presenti solo in un'area limitata all'interno dell'invaso ed in alcune rari tratti vallivi (Pleistocene inf.-medio), si presentano piuttosto alterate, contenenti ciottoli arrotondati di scisti e granito, anche esse con una matrice argillosa-sabbiosa.

Negli alvei principali dei corsi d'acqua sono presenti alluvioni attuali (olocene) costituiti da ciottoli e blocchi di varia dimensione con matrice prevalentemente sabbiosa.

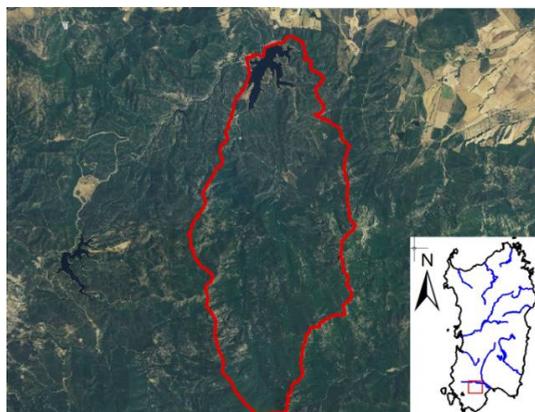


Figura 1 – Ripresa aerea anno 2006 con delimitazione del bacino del Rio Casteddu sottesa dalla diga di Medau Zirimilis (Siliqua Sardegna Sud occidentale).

## Inquadramento geomorfologico.

L'area di studio considerata del bacino del Rio Casteddu, è contraddistinta in due entità geomorfologiche principali, l'area più a monte costituita da litologie prevalentemente granitiche

presenta dei versanti più acclivi, con la presenza di tipiche creste frastagliate nei rilievi più importanti, Monte Arcosu 948 m.s.l.m., Monte is Caravius e Monte Lattias 1116 m.s.l.m. in prossimità di tali rilievi la morfologia rimarca ripidi e scoscesi versanti, che danno luogo ad un andamento assai ramificato e dendritico del reticolo idrografico presentando, canali di detrito con la presenza di blocchi di varia dimensione. Successivamente le valli si presentano meno acclivi con depositi di versante e coltri di alterazione granitiche con blocchi immersi in una matrice sabbiosa generata dal disfacimento dovuto sia a fattori fisici che all'alterazione chimica. Per gran parte del suo sviluppo il bacino idrografico del Rio Casteddu si presenta con acclività elevata e diffusi affioramenti rocciosi soprattutto nella parte alta granitica, ai quali si alternano numerosi e non troppo estesi depositi di versante. È anche a causa di queste caratteristiche che il paesaggio si presenta in vaste aree, con una scarsa copertura vegetale; (Fig.4 Carta dell'uso attuale del suolo) infatti alcuni settori sono stati completamente reimpiantati ad eucaliptus e presentano soltanto un rado sottobosco. Il complesso costituito prevalentemente da terreni di età paleozoica, si mostra con una conformazione orografica che varia da una bassa montagna a collina, con escursioni altimetriche vanno da quote minime di circa 120 m.s.l.m. nell'area dell' invaso e nella parte bassa della valle del Rio Casteddu, fino ad un massimo di 948 m.s.l.m. di Monte Arcosu e di 1180 m.s.l.m. circa di Monte is Caravius, le cime più elevate di tutto il Sulcis. Le zone morfologicamente più elevate e dai versanti più acclivi sono ubicati nella parte alta, nel settore meridionale del bacino idrografico, lungo la linea spartiacque, che lo separa dalla valle del Gutturu Mannu.

Le quote degradano da sud-est a nord-ovest con variazioni di pendenza irregolari e con valli più incise nell' area scistoso- arenacea rispetto all' area in cui affiorano le rocce granitoidi, fino a degradare e addolcirsi nel settore più a nord-est per poi raccordarsi con la piana del Rio Cixerri. Le profonde incisioni vallive dettate dai caratteri strutturali, seguono orientazioni prevalenti sud sud-est e nord nord-ovest, talvolta delineando anche variazioni di compattezza e o alterazioni delle rocce scistose. Il bacino è formato da due affluenti principali del Rio Casteddu, il Rio Gutturu Sa Nai e il Rio Camboni che su uniscono in prossimità dell'imbocco dell'invaso artificiale di Medau Zirimilis, il località "Camboneddu" . In particolare il Rio Camboni presenta nel suo tratto terminale prima delle confluenza con il Rio Casteddu un tratto tortuoso a meandri incastrati, sviluppando rilievi dalle creste pronunciate e valli dai fianchi particolarmente acclivi. Sulla destra idrografica del Rio Casteddu in prossimità dello sbarramento di Medau Zirimilis i rilievi si presentano invece più dolci e si evidenziano le aree di raccordo degli scisti, nei pressi di Perdiaxiu de Arcosu, dove affiorano alcuni lembi di copertura argillosa arenacea della formazione del Cixerri (auct.). L' invaso artificiale di Medau Zirimilis raccoglie le acque che confluiscono in due bacini idrografici distinti: uno principale del Rio Camboni e Sa Nai, questi hanno un andamento circa nord sud e scorrono pressoché paralleli fra loro, rimarcando l'andamento delle faglie principali, di particolare interesse paesaggistico, si presenta il tratto terminale del Rio Camboni con suggestivi e tortuosi meandri incassati. L'area del Rio Casteddu è caratterizzato un insieme di valli a V, ai quali si raccorda un reticolo idrografico di ordine inferiore sub dendritico. I processi morfogenetici considerati, sono stati rilevati nelle zone più alte del bacino dove si possono riconoscere il dilavamento correlato al deflusso superficiale delle acque, ruscellamento sia di tipo incanalato che diffuso, sulle coltri di alterazione sia granitiche che metamorfiche, evidenziando l'elevata ramificazione delle aste fluviali. Nelle zone più elevate a pendenze maggiori e con conseguente incremento dell'energia dei rilievi, si ha scarsa copertura vegetale, da luogo ai detriti di falda generati da processi gravitativi di crollo influenzati anche dalle caratteristiche di fatturazione della roccia, che in alcuni casi hanno innescato fenomeni di tipo *debris-flow* soprattutto in casi di precipitazioni di breve durata ma di forte intensità.

Nei fondovalle le coltri alluvionali costituite da materiali sciolti, quando si verificano forti precipitazioni, vengono alimentate sia da grandi quantità d'acqua che dal carico in sospensione degli affluenti minori, tale meccanismo, innesca, delle vere e proprie masse fluide, che hanno un forte potere erosivo in particolare sulle sponde e come scalzamento alla base dei versanti.

In altre aree, del settore nord est del bacino a prevalentemente componente scistosa in cui le morfologie sono più dolci e ondulate, l'erosione avviene con dilavamento superficiale e diffuso, con un potere erosivo da basso a moderato potere erosivo (Fig. 8 Carta della propensione al dissesto idrogeologico) anche in funzione di una minore acclività.

Negli anni precedenti al verificarsi di fenomeni alluvionali, 2002-2004 –novembre 2008, nell'area più a monte del bacino numerosi sono stati i danni subiti dalla viabilità, in tali occasioni i corsi d'acqua hanno infatti trasportato grandi quantità di materiali incoerenti sono stati mobilitati, all'interno dell'area di Camboneddu, immediatamente a monte dell'invaso.

### **Realizzazione del database geografico-fisico**

Allo scopo di acquisire l'insieme dei caratteri fisici e ambientali che potenzialmente possono influenzare il dissesto idrogeologico è stato costruito un database geografico implementato tramite la raccolta e l'elaborazione di dettagliate informazioni di base tratte dalla letteratura, correlato ad una attenta e dettagliata analisi delle riprese fotografiche aeree e importante inoltre il rilevamento in campagna, che consente una più diretta stima dei fattori più predisponenti, pertanto l'insieme dei dati rilevati ha permesso di costruire le basi informative cartografiche relative alla geologia, uso suolo, geomorfologia, esposizione dei versanti.

L'osservazione e interpretazione del territorio realizzata tramite le varie successioni di riprese aeree 1950, 1977, 2000, 2003, 2006 e il rilevamento in campagna hanno permesso di valutare le variazioni dovute ai fenomeni alluvionali.

Il verificarsi di fenomeni di crollo, debris-flow, ruscellamento superficiale ed incanalato, è stato verificato sul campo, ciò ha permesso di attribuire ai diversi fattori fisici in particolare correlazione tra la pendenza e i fenomeni di crollo, tra degradazione, alterazione del substrato ed acque incanalate, consentendo l'assegnazione dei pesi per l'*overlay mapping* dal quale è stata ottenuta la carta di sintesi finale. È stato evidenziato che in alcuni tratti del corso d'acqua dei primi ordini che l'entità del materiale trasportato era di natura prevalentemente granitica, con minor presenza di elementi di scisto, e che durante gli eventi estremi tale coltre alluvionale viene re inciso all'azione delle acque. L'intensa fatturazione dei graniti genera la formazione di blocchi a prismi con forma di parallelepipedo sovrapposti che frequentemente sono soggetti a fenomeni di ribaltamento. Le stesse litologie granitoidi sono interessate da arenizzazione che produce cospicue coltri sabbiose, a componente feldspatico quarzosa con un basso peso specifico, facilmente trasportate dalle acque dilavanti. In alcuni tratti vallivi si possono osservare lungo il tratto principale del Rio Casteddu ripe di erosione, che presentano fenomeni di scalzamento alla base, che producono la movimentazione delle coltri alluvionali che erano state generate da precedenti eventi alluvionali.

Dalle aree roccia affiorante localizzate nelle parti più alte pressoché alla sommità dei rilievi proviene una buona parte di componente solida grossolana sia di origine granitica, che metamorfica, originatasi sia per distacchi e crolli, che per processi di alterazione e degradazione meteorica. È stato osservato che i versanti esposti a NNW, presentano una vegetazione più sviluppata, a favore della stabilità quindi meno erodibili, mentre quelli a esposizione SSW, sono più aridi e con una più rada copertura vegetale, maggiormente soggetti a processi di degrado. Alla confluenza tra gli affluenti minori a l'asta principale del corso d'acqua, spesso sono presenti scariche di detrito a forma di conoide, costituite prevalentemente da blocchi e una buona percentuale di componente ciottolosa, proveniente sia dalle rocce granitiche che dagli scisti.

### **Propensione al dissesto idrogeologico: modello concettuale**

La valutazione della propensione al dissesto idrogeologico nell'area del Rio Casteddu è stata sviluppata tramite l'applicazione di un modello di overlay matematico elaborato su dati di origine in formato raster. Dalla predisposizione del database geografico, che include gli strati informativi sulla geologia, esposizione e pendenza dei versanti, uso del suolo, mappatura dei processi di degrado in atto e potenzialmente riattivabili, e di tutte le componenti ritenute importanti al fine di valutare i fenomeni di dissesto. Un modello numerico di riclassificazione e assegnazione di punteggi, è stato

scelto in modo opportuno da raggruppare in classi sia la litologia che le altre componenti fisico ambientali, e successivamente convertiti in formati raster impiegando un sistema di map-algebra. La sommatoria ha consentito la realizzazione di un elaborato raster finale, nel quale i valori finali schematizzano, le aree a maggiore propensione al dissesto idrogeologico, bassa, media, elevata, molto elevata. Per l'impostazione del modello concettuale è stato previsto per ogni livello informativo, un peso di influenza assegnato sulla base delle evidenze geomorfologiche e geologiche mappate sul campo, generate durante particolari eventi pluviometrici estremi avvenuti. Sulla base dei criteri esposti, possiamo definire la seguente espressione:

- Propensione al Dissesto Idrogeologico PDI= (G+P+U+GMI+E)

- G=Geologia - peso=0,25
- P=Pendenza o acclività dei versanti - peso=0,25
- U=Uso del suolo - peso=0,15
- GM=Caratteri Geomorfolgici e Idrologici - peso=0,25
- E=Esposizione dei versanti - peso=0,10

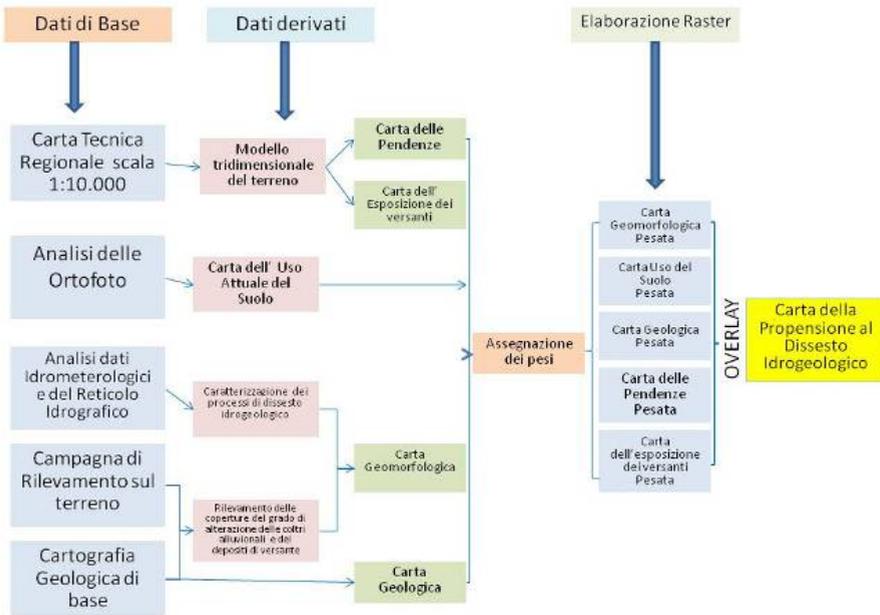


Figura 2 – Modello concettuale per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico.



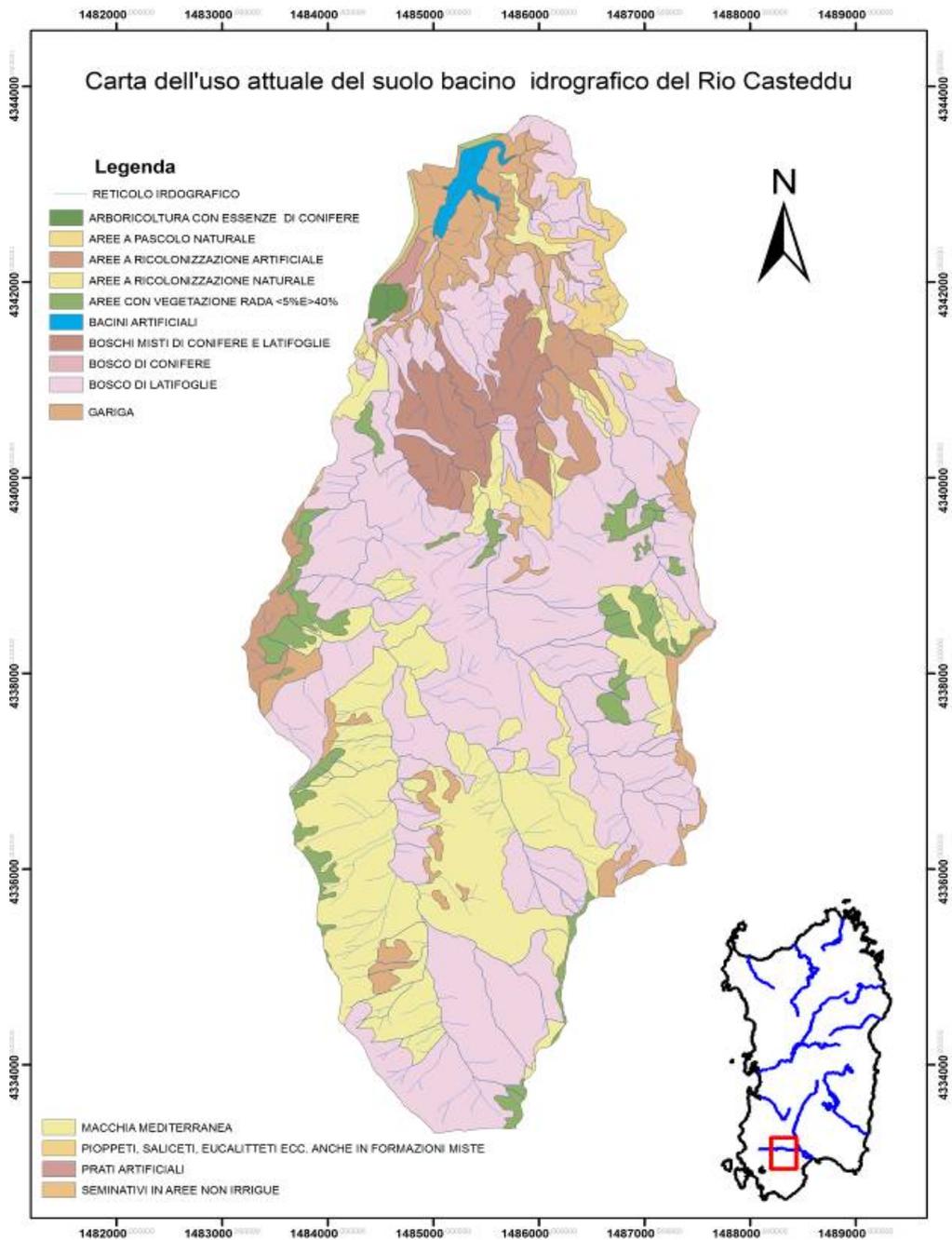


Figura 4 – Carta dell'uso attuale del suolo del bacino idrografico del Rio Casteddu.

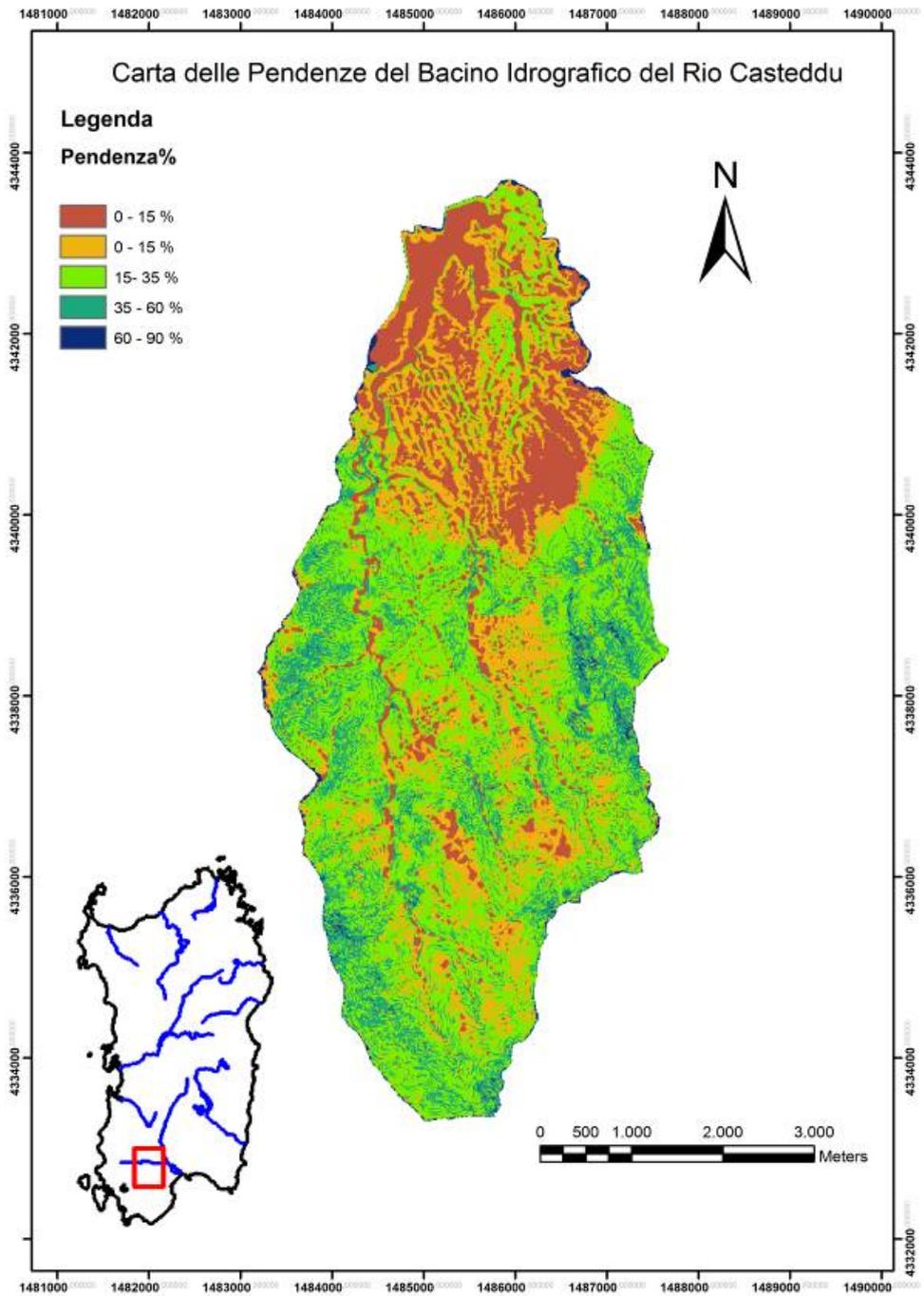


Figura 5 – Carta delle Pendenze.

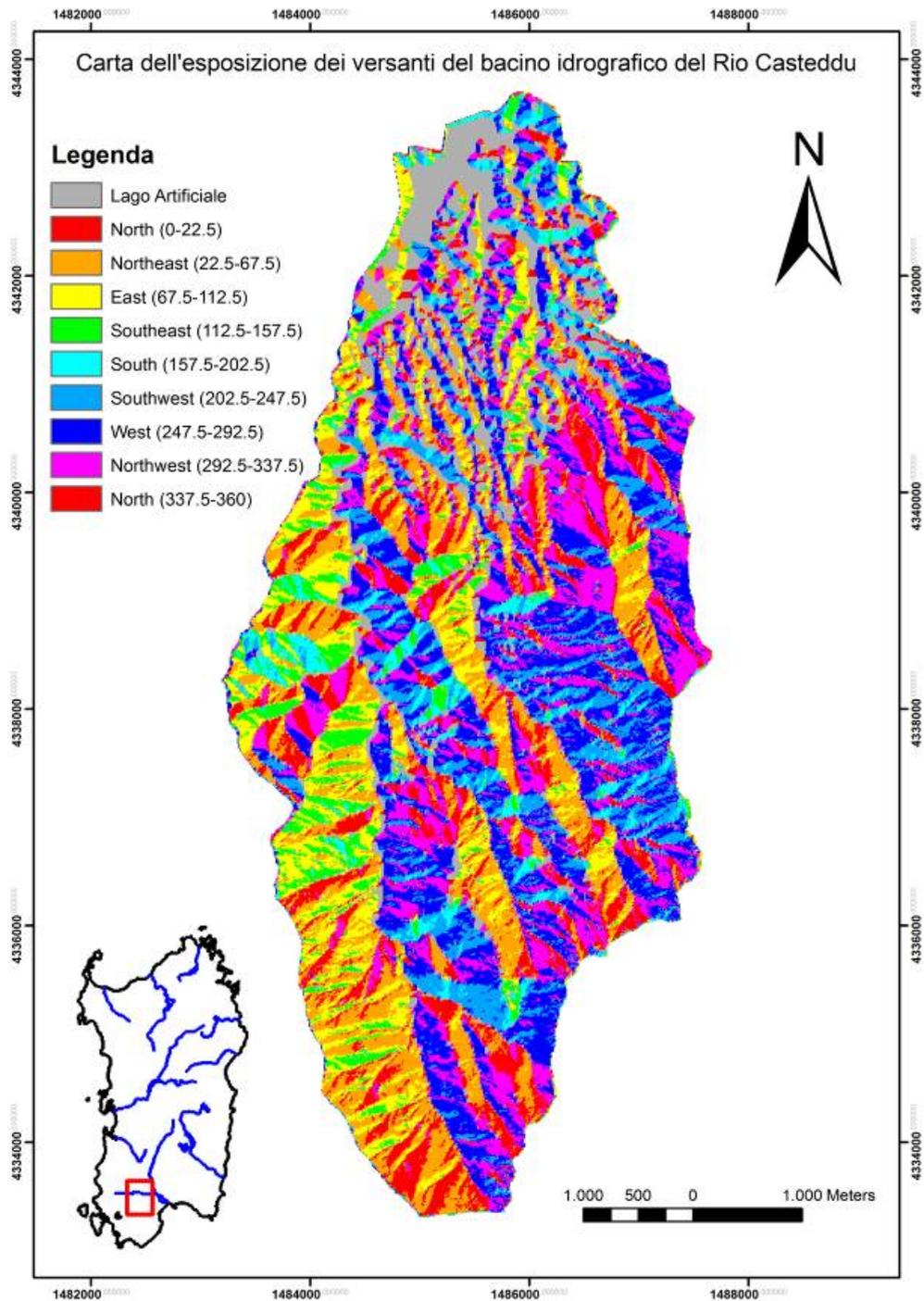


Figura 6 – Carta dell'esposizione dei versanti.

**Modello idrologico e stima del trasporto solido:**

per poter effettuare una stima del trasporto solido all'interno del bacino idrografico del Rio Casteddu, sono stati utilizzati i dati della stazione Meteorologica ubicata presso il lago artificiale di Medau Zirimilis, grazie ai dati messi a disposizione dell'ENAS Ente Acque della Sardegna, che durante lo studio sono stati riorganizzati ed elaborati, si è cercato di effettuare un primo approccio per una valutazione tramite il metodo di Fournier 1961 del trasporto solido all'interno del bacino idrografico sotteso dalla diga.

Si è reso necessario per avere dei dati di input corretti applicare prima dei calcoli che consentono di ricavare dei parametri importanti tra i quali il Tc ossia il Tempo di Corrivazione, ed infine ricavare anche se con relativa precisione le portate di piena massime per la sezione considerata.

A tal fine è stato necessario ricavare un insieme di parametri fisiografici del bacino idrografico, tramite gli strumenti GIS, tra cui, superficie del bacino in Km<sup>2</sup> altitudine massima del bacino altitudine della sezione considerata, pendenza media del bacino.

Qui sotto la formula di Fournier (1961) per il calcolo dell'erosione in bacini di piccole e medie dimensioni.

$$\text{Log}E = 2,65 \cdot \text{Log}\left(\frac{P^2}{P_m}\right) + 0,46 \cdot \text{Log}H^0 \cdot \text{Tg}I_m - 1,56$$

In cui:

- H<sup>0</sup> altitudine media del bacino
- I<sub>m</sub> pendenza media del bacino
- A area del bacino
- P<sub>m</sub> precipitazione media annua

Nel nostro caso sono stati adottati

Risultati ottenuti

Erosione Sedimento trasportato in sospensione E=703.2 tonn/ Km<sup>2</sup>/anno

Erosione media bacino 20687,4 tonn/anno

Se si considera di un sedimento incoerente una densità media di circa 1,7- tonn/m<sup>3</sup>

Il volume trasportato sarà di circa 12.169,06 m<sup>3</sup>

Istogramma della piovosità giornaliera misurata a Medau Zirimilis relativa al periodo dal 1/05/2005 al 30/06/2010

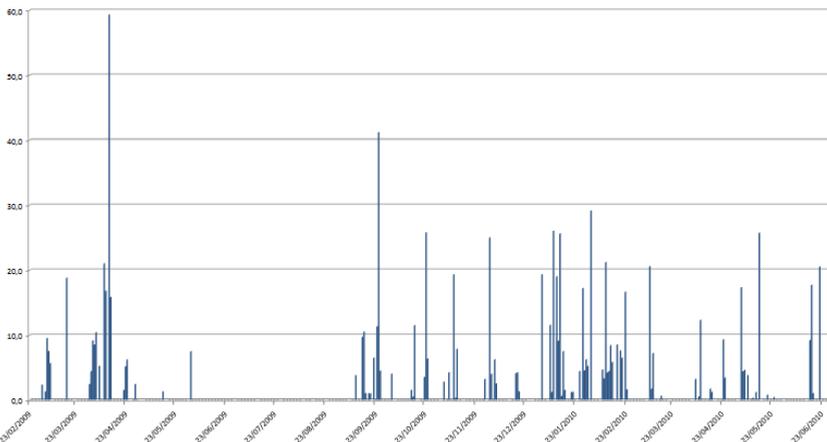


Figura 7 – Istogramma delle piovosità relative alla stazione metereologica di Medau Zirimilis.

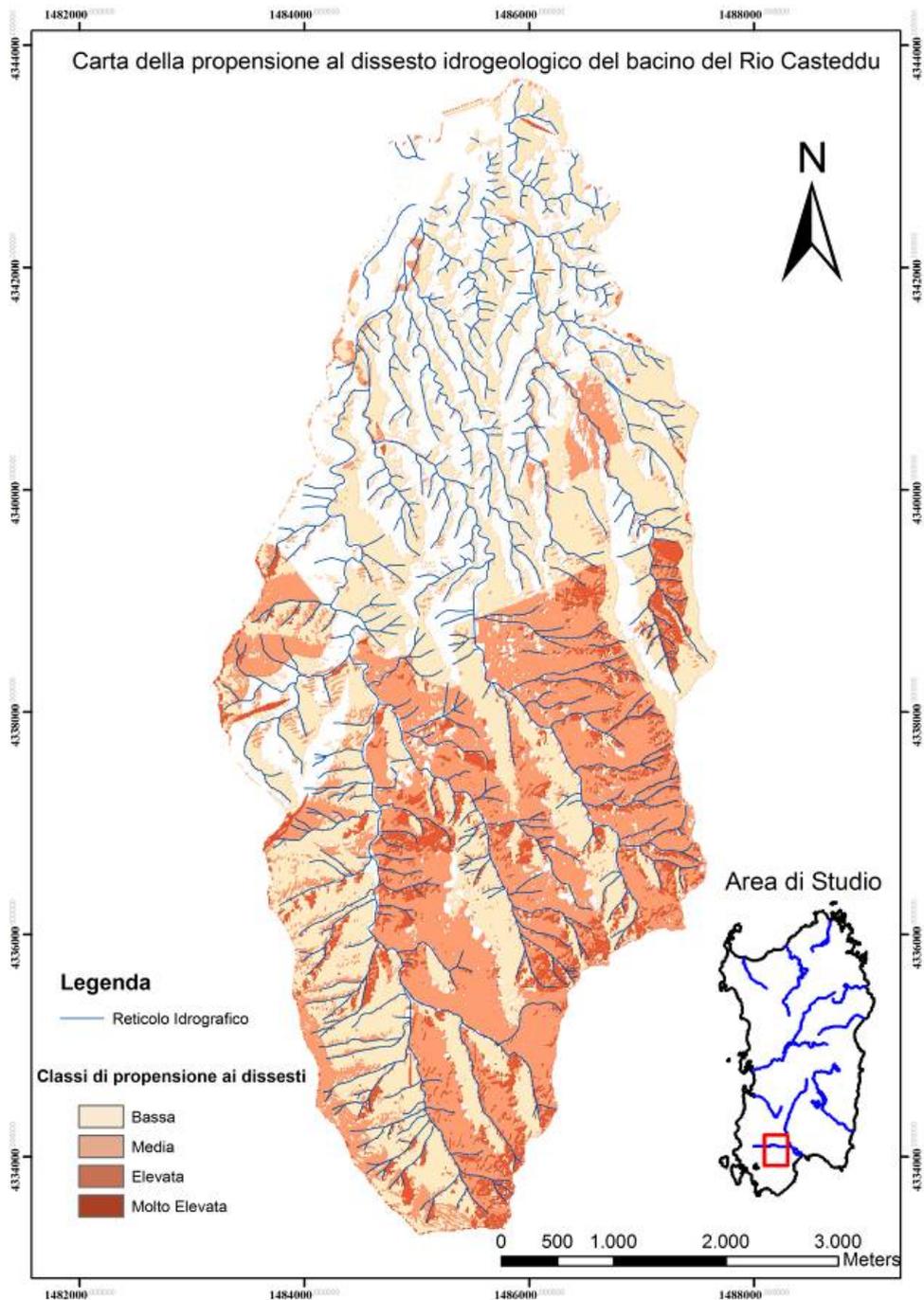


Figura 8 – Carta della propensione al dissesto idrogeologico.

### **Applicazione del modello - Risultati**

La carta di sintesi ottenuta dall'applicazione del metodo descritto, ha consentito di mettere in luce grazie alla valutazione di caratteri, geomorfologici, geologici, di esposizione dei versanti delle caratteristiche di uso del suolo e vegetazionali, dell'insieme del trasporto solido e fenomeni erosivi, le aree a propensione al dissesto idrogeologico. Si evidenziano le zone con maggior propensione alla produzione di materiali soggetti ad alterazione e degradazione, che sono potenzialmente suscettibili alla mobilitazione in caso di forti eventi pluviometrici.

Nel presente lavoro, si può definire che la parte più alta del bacino impostata sulle litologie granitiche presenta caratteri di alta densità di drenaggio, rilievi più elevati, con pendenze maggiori, che influenzano in misura maggiore la propensione al dissesto idrogeologico. Il risultato raster finale deriva dall'*overlay* sovrapposizione quindi delle "cartografie pesate" raster, quindi strati informativi che in questo caso sono stati classificati essenziali al fine di individuare le aree maggiormente soggette ai processi erosivi e con propensione ai fenomeni di dissesto idrogeologico. Questo tipo di analisi metodologica fornisce pertanto uno strumento semplice ed importante per un corretto uso del territorio, in previsione di una corretta pianificazione territoriale.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia il Prof. Felice Di Gregorio, docente di Geologia Ambientale presso il Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Cagliari per i suggerimenti e la lettura critica del lavoro, e l'ENAS Ente Acque della Sardegna

### **Bibliografia**

- Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., (1981) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It. 99 pp 455-516
- Bralia A., Ghezzi C., Guasparri G., Sabatini G. (1981), *Aspetti genetici del batolite sardo-corso*, Rend. Soc. It. di Miner. e Petrol., 38(2), 701-764.
- Carmignani L., Pertusati P.C., Barca S., Carosi R., Di Pisa A., Gattiglio M., Musumeci G. & Ciccu Lai M.R., Loddo S., Puddu R., Serra G. (1995), *Lo studio geopedologico nella pianificazione degli interventi di difesa del suolo e di mitigazione della desertificazione. Salvaguardia della risorsa pedologica nel quadro della legge n. 183/89: il bacino del Rio Santa Lucia di Capoterra*, Atti del Convegno "Il ruolo della pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio", Cagliari, 6-10 giugno 1995, 351-354.
- Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., (1981) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It. 99 pp 455-516
- Carmignani L., Coccozza T., Gandin A., Pertusati P.C. (1982) - *Lineamenti della geologia dell'Iglesiente Sulcis*. In: *Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo*. Società Geologica Italiana, Cagliari
- Cinus D. (2008), *Il trasporto solido nei torrenti del Sarrabus e del Rio San Girolamo di Capoterra*, in "Il Geologo" periodico quadrimestrale dell'Ordine dei geologi della Sardegna, anno XV, n. 3, 12-21.
- Poll J.J.K., (1966) *The geology of Rosas Terraseo area, Sulcis, south Sardinia*. Leidse Geol. Meded, 117-208.
- Di Gregorio F., Pusceddu M., Serreli A. (2006), *Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologia nel bacino del Rio Pula*, X Conferenza nazionale ASITA - Federazione delle associazioni scientifiche per le informazioni territoriali e ambientali, Bolzano, Novembre 2006.
- Poll J.J.K., e Zwart H.J. (1966) *On the tectonics of Sulcis area, south Sardinia*. Geol. En Mijnbouw, 43, 114-146.
- Pala A. Pecorini G. Porcu A. (1976) *Struttura Idrogeologica della soglia di Siliqua tra la fossa del Campidano e la fossa del Cixerri*. "Boll. Soc. Geol. It. 95, pag. 705-724, Roma.
- Leone F. (1973) *La serie paleozoica del settore di Orbai – Monte Maiori ( valle del Cixerri )*. Boll. Soc. Geol. It. 92, 621- 633.