

Rischio integrato da fenomeni franosi, alluvionali ed erosione costiera nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra (Sud Sardegna)

Paolo Frongia (*), Giuseppe Piras (**), Nicola Scionis (***)

(*) Dottorato di Ricerca in difesa del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica, Università di Cagliari

(**) Progetto Giovani Ricercatori, PO Sardegna FSE 2007-2013, L.R. 7 agosto 2007 n. 7

«Promozione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica in Sardegna»

(***) Libero Professionista, Cagliari

Riassunto

Nel presente lavoro è proposto un modello mirato alla valutazione del rischio geo-ambientale connesso a fenomeni alluvionali, franosi e di erosione costiera, la cui origine ed effetti sono spesso interconnessi tra loro.

Il territorio di riferimento per l'elaborazione e l'applicazione del modello è quello del bacino del Rio San Girolamo di Capoterra e la fascia costiera lungo la sua foce (Sud Sardegna).

A partire dall'analisi e dalla valutazione della pericolosità specifica relativa ai fenomeni considerati (frane, alluvioni, erosione costiera), il lavoro, sviluppato in ambiente GIS e attraverso elaborazioni di *overlay* aritmetico, ha condotto alla valutazione e mappatura del rischio integrato, in riferimento ai fattori specifici di vulnerabilità territoriale, qui intesa in termini di densità abitativa riferita ai diversi tipi di uso del suolo.

Abstract

In this paper proposes in exposed a model aimed at the geo-environmental risk assessment due to flooding, landslides and coastal erosion, whose origin and effects are often interconnected.

The territory of reference for the development and implementation of the model is the basin of the Rio San Girolamo Capoterra and coastline along its estuary (southern Sardinia).

Starting from the analysis and hazard assessment on specific phenomena (landslides, floods, coastal erosion), the work, developed in the GIS environment and through arithmetic overlay processing, has led to integrated risk assessment and mapping, with reference to the specific area of vulnerability, defined here in terms of population density related to the different types of land use.

Inquadramento geo-ambientale

Il territorio analizzato (Figura 1) è ubicato nel comune di Capoterra (Sardegna meridionale), ad ovest del Golfo di Cagliari, e comprende il bacino idrografico del Rio San Girolamo e la fascia costiera adiacente la sua foce, per una superficie complessiva di circa 36 km². Sia la fascia costiera sia l'immediato entroterra risultano intensamente urbanizzati, in prevalenza con lottizzazioni residenziali create a partire dagli anni '70, mentre le zone a quote più elevate dell'interno sono caratterizzate da vegetazione boschiva e forestale in genere. La piana costiera e la fascia pedecollinare sono, invece, caratterizzate da superfici in condizioni di semi-naturalità e, soprattutto, indirizzate a pratiche agricole, con seminativi e colture arboree e orticole, talora praticate in serra.

Le rocce metamorfiche e granitiche del paleozoico e i depositi quaternari alluvionali, antichi e recenti, nonché i sedimenti di ambiente costiero e lagunare costituiscono i litotipi del substrato e di copertura del territorio in oggetto (Barca et al., 1986; Pala, 1983).

Nel settore più interno sono presenti i rilievi metamorfici e granitici paleozoici, piuttosto aspri e frastagliati, culminanti in vette aventi quote superiori a 700 m s.l.m. (M. Conchiori, q. 738; P.ta is

Postas, q. 612 m; P.ta su Aingiu Mannu, q. 605 m; M. S. Barbara, q. 612 m), incisi da profondi canali e valli a V, ai quali si innesta un articolato reticolo torrentizio di tipo sub-dendritico. A quote comprese tra 100 e 200 m s.l.m. il territorio è contraddistinto da forme ondulate modellate prevalentemente sui graniti alterati e fratturati. L'unità geomorfologica presente a quote minori, impostata in depositi quaternari di *glacis*, in alluvioni antiche e recenti, è caratterizzata da superfici lievemente acclivi o debolmente ondulate, per lo più in forma di terrazzi alluvionali.

La costa, essenzialmente bassa e sabbioso-ciottolosa, è contraddistinta da zone residenziali pressoché continue, con costruzioni ormai addossate al limite della linea di riva; le aree in condizioni semi-naturali, piuttosto degradate, risultano coperte da residui di vegetazione a cespuglietti e canneti e interessate da superfici stagnali e palustri.

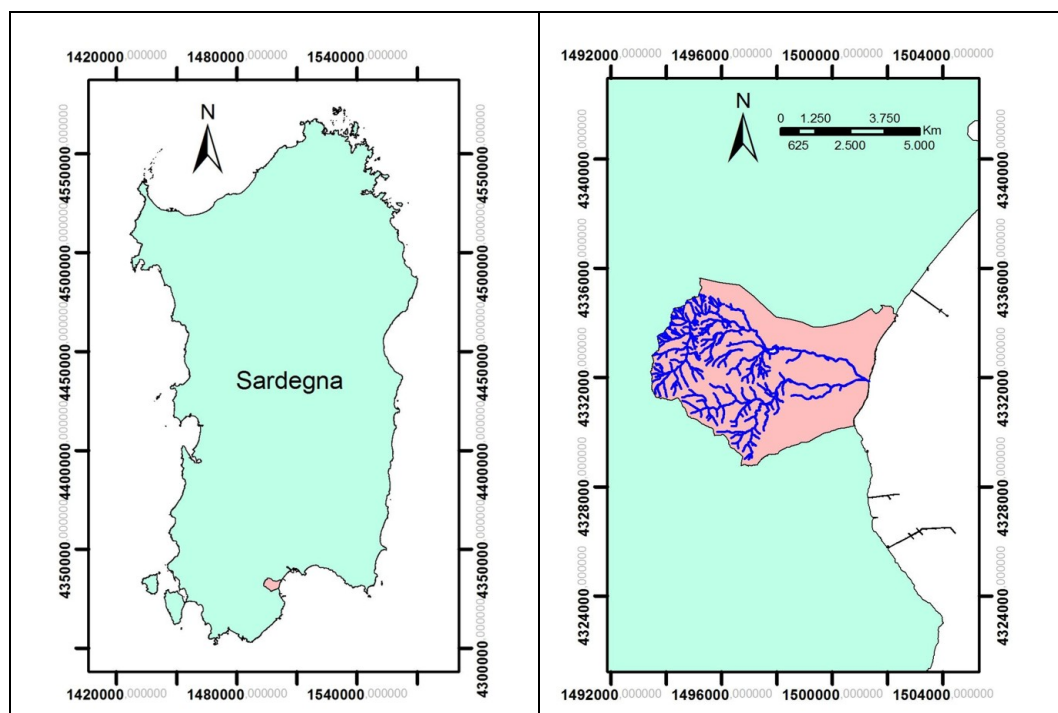


Figura 1 – Inquadramento territoriale.

I processi fluviali

Il bacino afferente il Rio San Girolamo di Capoterra, comprendente anche l'importante affluente che in esso confluisce poco prima della foce, il Rio Masone Ollastu, ha una superficie complessiva di circa 27,10 km².

Per quanto riguarda il drenaggio superficiale delle acque meteoriche si riconoscono, nelle zone più interne, in corrispondenza dei litotipi granitici e metamorfici, processi diffusi di dilavamento dei versanti legati al deflusso delle acque di ruscellamento areale e, come evidenzia l'elevata densità di drenaggio, una marcata incisione torrentizia che, nell'insieme, configura il complesso reticolo tributario dei principali rami fluviali del Rio San Girolamo e, poco più a sud, del Rio Masone Ollastu.

Alle quote minori il territorio, pianeggiante o leggermente ondulado, è interessato prevalentemente dall'azione delle acque di dilavamento diffuso, comunque a basso impatto, mentre i corsi d'acqua principali, il Rio San Girolamo e il Rio Masone Ollastu, assumono andamento divagante. In

occasione di eventi estremi, come avvenuto in data 22 ottobre 2008, a seguito di una manifestazione temporalesca con valori medi di ben 370 mm di pioggia in circa 4 ore, fenomeni di alluvionamento piuttosto estesi hanno comportato un'intensa sedimentazione lungo la piana costiera oltre notevoli danni a strutture e persone.

La suscettività all'erosione superficiale e i fenomeni franosi

Il settore collinare e montuoso del territorio in esame, per le caratteristiche morfo-strutturali delle litologie granitiche e scistose affioranti, l'elevata acclività, l'esposizione dei versanti e la scarsa o assente copertura vegetale alle quote più elevate, è diffusamente interessato da accelerati processi di degradazione superficiale e fenomeni gravitativi che si manifestano attraverso consistente apporto solido negli alvei fluviali, nonché con fenomeni di crollo e accumuli detritici lungo i versanti e *debris flow* concentrati soprattutto nelle incisioni torrentizie di ordine minore (Frongia et al., 2011). L'attività erosiva delle acque incanalate è favorita, invece, dal consistente carico solido conseguente alla mobilitazione dei materiali sciolti dai versanti e rimobilitazione di sedimenti presenti in alveo, soprattutto in condizioni di piena che, nel settore, sono conseguenti a eventi pluviometrici intensi e concentrati nel tempo (Cinus, 2008). Processi di scalzamento e smottamenti spondali, soprattutto nei tratti pedecollinari e di pianura, il cui substrato è caratterizzato da depositi alluvionali poco o per nulla coerenti, sono gli effetti principale dell'azione erosiva delle acque incanalate.

La dinamica litorale e l'erosione costiera

L'analisi delle immagini aeree riferite al periodo compreso tra il 1954 e il 2008 mostrano l'evoluzione della linea di costa e suggeriscono il *trend* dei processi di avanzamento e arretramento del litorale, anche in relazione alle modificazione intercorse dell'assetto e uso del territorio.

La condizione di generale arretramento nell'ultimo cinquantennio del tratto di litorale analizzato (Atzeni, Ginesu, 1993), avente la conformazione tipica delle baie asimmetriche, è da correlare con la riduzione dell'apporto solido dovuto alla costruzione di piccoli invasi e laghetti collinari nei principali corsi d'acqua (Rio S. Girolamo e Rio Masone Ollastu, Rio S. Lucia, esterno all'area di studio), con i dragaggi ed escavazioni per la costruzione di pontili industriali, col regresso della posidonia (Regione Sardegna, Comune di Capoterra, 2006 e agg. succ.).

Il sostanziale arretramento della spiaggia, in prevalenza sabbioso-ciottolosa, è evidente nel settore costiero settentrionale, tra il Ponte Maramura e la Cantoniera Maramura, in quello centrale, a ridosso dell'area residenziale di Frutti d'Oro, e in quello più meridionale, in corrispondenza della Cala d'Orri, con tratti in erosione di poco oltre 100 m di larghezza. Nel restante litorale, a parte brevi tratti caratterizzati sostanzialmente da stabilità, gli effetti del processo erosivo risultano allo stato attuale, comunque, rilevanti, spinti a ridosso delle abitazioni residenziali oramai prossime alla linea di riva o rallentati da affioramenti di depositi sedimentari coerenti.

Valutazione della pericolosità integrata

Il modello concettuale applicato per la valutazione del rischio integrato nel bacino del Rio San Girolamo e nella fascia litorale prospiciente la sua foce, legato a fenomeni di franamento, alluvionali ed erosione costiera, presuppone dapprima l'analisi della pericolosità specifica di ognuno dei tre fenomeni avversi considerati, quindi la loro integrazione e, infine, in rapporto agli indicatori di vulnerabilità prescelti, l'entità e la distribuzione del rischio (Figura 2).

In particolare, per la valutazione della pericolosità specifica è stato adottato un modello logico di dati numerici che, assegnati a quei parametri fisici che concorrono a definire le condizioni di potenziale instabilità, ne sommano i valori assegnati, dopo averli convertiti in formato *raster*, secondo un metodo di *map algebra*. Il criterio dell'addizione ha consentito la produzione, per ognuna delle fonti di pericolosità (frammenti, alluvioni, erosione costiera), di un supporto *raster* i cui valori risultanti, dopo un'operazione di riclassificazione, consentono di delimitare le aree suscettibili alla specifica sollecitazione, con distinzione del grado di magnitudo.

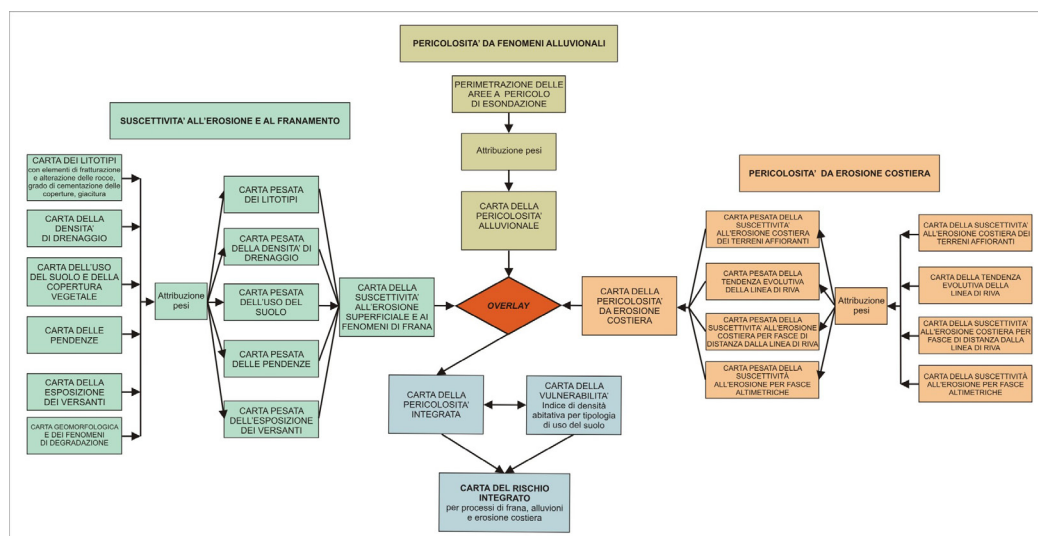


Figura 2 – Schema metodologico per la valutazione del rischio integrato.

Per quanto riguarda la valutazione della suscettività all'erosione superficiale e ai fenomeni di frana, a partire dalle informazioni ritenute influenti per la verifica delle condizioni di predisposizione e attivazione dei processi di degradazione superficiale, è stato effettuato l'*overlay* di dati in formato *raster* riferito a dati sulla litologia, la geomorfologia, l'uso del suolo, la densità di drenaggio, l'acclività e l'esposizione dei versanti; ad ognuno di questi livelli informativi, in particolare, è stato assegnato un fattore che, sostanzialmente, ne identifica il relativo peso di influenza, stabilito e calibrato sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio esaminato e, soprattutto, delle evidenze riscontrate *in situ*. Il *raster* derivante, dopo un'operazione di riclassificazione, consente di individuare le aree suscettibili all'erosione e al dissesto per fenomeni gravitativi, distinte in quattro livelli di pericolosità crescente: basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 3).

Sulla base della perimetrazione delle aree a rischio idraulico previste nel Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) (Regione Sardegna, 2004), della mappatura delle aree a rischio di esondazione nel territorio comunale (Università di Cagliari, Comune di Capoterra, 2006) e, soprattutto, sulla base della valutazione della pericolosità idraulica attraverso un approccio geomorfologico, nonché dei limiti delle aree interessate da recenti manifestazioni alluvionali che, in particolare, nel settore esaminato hanno causato sostanziali danni in termini economici e di vite umane, è stato delineato il contorno relativo a condizioni di gravità crescente di pericolosità di piena, ai quali è stato attribuito una magnitudo crescente: nullo (0), basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 4). Si consideri che, allo stato attuale, come previsto dal PAI, il settore è interessato da nuove perimetrazioni dei limiti a diverso grado di rischio idraulico dopo l'accertamento della regolare esecuzione di interventi finalizzati alla riduzione dei pericoli idrogeologici.

La valutazione della pericolosità da erosione costiera è stata effettuata attraverso l'*overlay* degli strati informativi predisposti in formato *raster* e contenenti i parametri ritenuti particolarmente efficaci per la caratterizzazione delle condizioni di instabilità (Di Gregorio et al, 2010) e, nella fattispecie, individuati in:

- suscettività all'erosione costiera dei terreni affioranti;
- tendenza evolutiva della linea di riva;
- suscettività all'erosione costiera per fasce di distanza dalla linea di riva;
- suscettività all'erosione per fasce altimetriche.

Anche in questo caso, dopo un'operazione di riclassificazione dei valori risultanti dall'operazione di *overlay*, sono stati individuati i tratti di costa suscettibili all'erosione, distinti in quattro classi di pericolosità crescente: nullo (0), basso (1), medio (2), elevato (3).

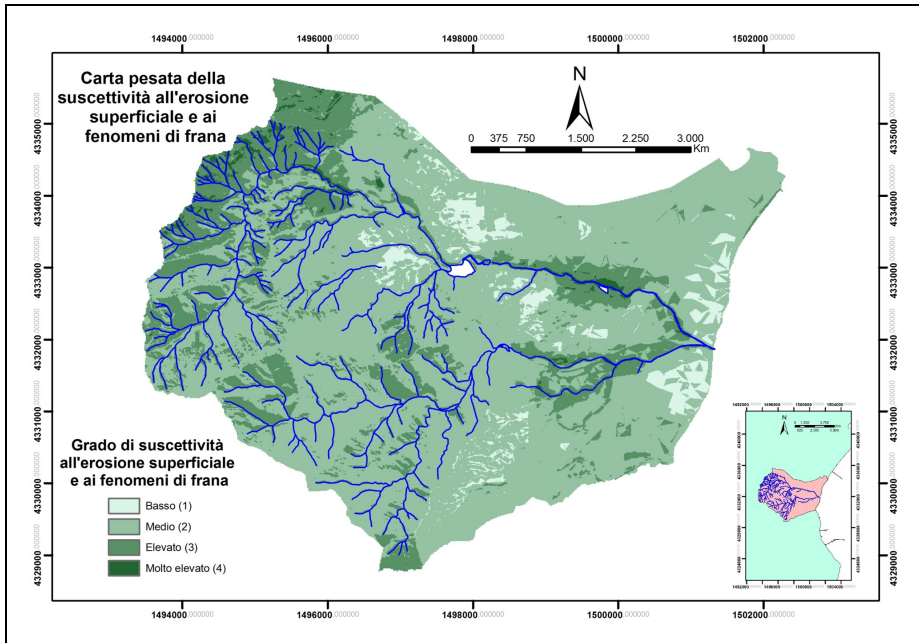


Figura 3 – Carta pesata della suscettività all'erosione superficiale e ai fenomeni di frana.

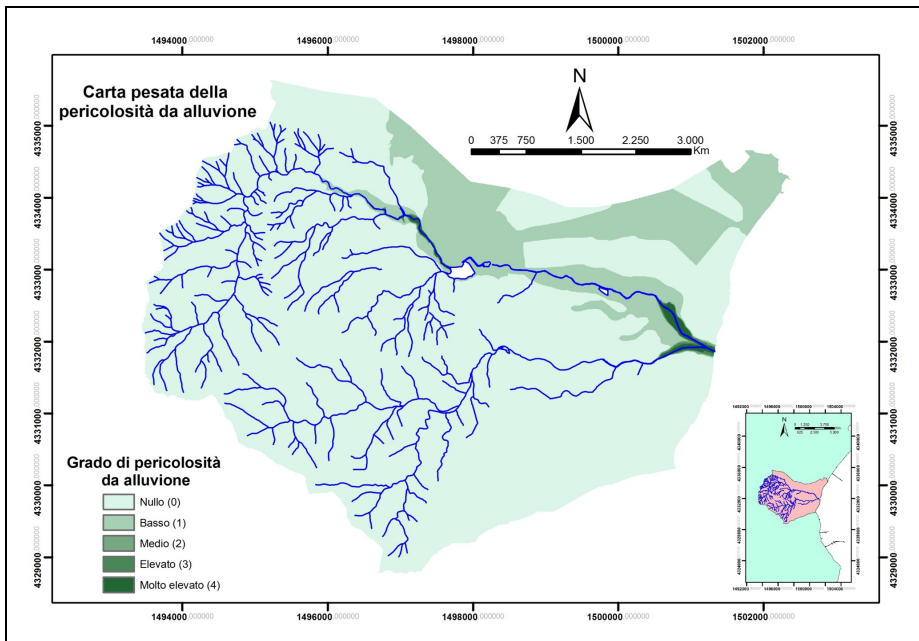


Figura 4 - Carta pesata della pericolosità da alluvione.

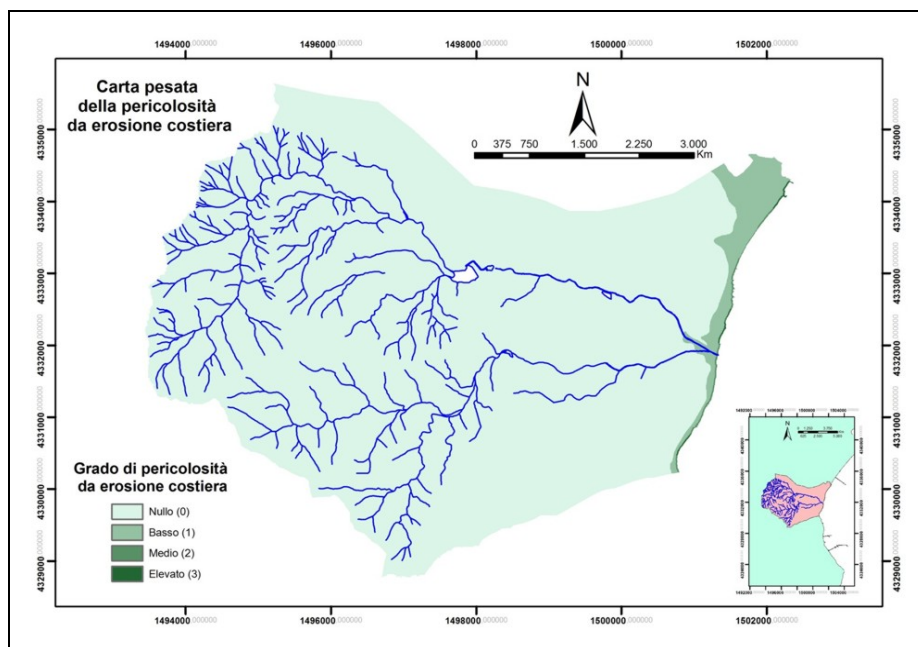


Figura 5 – Carta pesata della pericolosità da erosione costiera.

La valutazione della pericolosità integrata, secondo lo stesso procedimento logico, deriva dalla sovrapposizione dei dati in formato *raster* ottenuti dalle elaborazioni di sintesi relative alle pericolosità specifiche sopra descritte, opportunamente riclassificati al fine di individuarne l'entità e la distribuzione territoriale, attraverso quattro classi a magnitudo crescenti: basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 6).

La valutazione del rischio integrato

La valutazione del rischio presuppone l'analisi della vulnerabilità territoriale condotta a partire da un'accurata identificazione degli elementi interessati dagli effetti (bersagli) delle potenziali perturbazioni.

Nel presente studio gli elementi a rischio sono sostanzialmente individuati nella popolazione potenzialmente esposta alle sollecitazioni considerate. La vulnerabilità, quindi, è stata identificata attraverso un indice di densità abitativa definito per ogni tipologia di uso del suolo, il quale tiene conto del calcolo degli abitanti equivalenti a partire dai dati di base della statistica ISTAT (2001).

Le diverse tipologie di utilizzo del territorio, seguendo questo approccio, sono state raggruppate in classi di densità abitativa, con lo scopo di costituire insiemi omogenei tra loro "pesati" attraverso un indice che, con grado crescente (basso, 1; medio, 2; elevato, 3; molto elevato, 4), fornisca, appunto, un'indicazione dell'esposizione degli elementi sensibili ai potenziali eventi calamitosi (Figura 7).

Dall'incrocio del modello *raster* della Carta della vulnerabilità, costruito secondo il procedimento anzidetto, e quello relativo alla Carta della pericolosità integrata ottenuto dalla "sommatoria" delle sollecitazioni specifiche legate a processi e fenomeni di degradazione superficiale e frana, alluvione e erosione costiera, è stata ottenuta, dopo opportuna riclassificazione dei pesi, la Carta del rischio integrato, nella quale vengono distinti quattro differenti livelli di magnitudo crescente: basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 8).

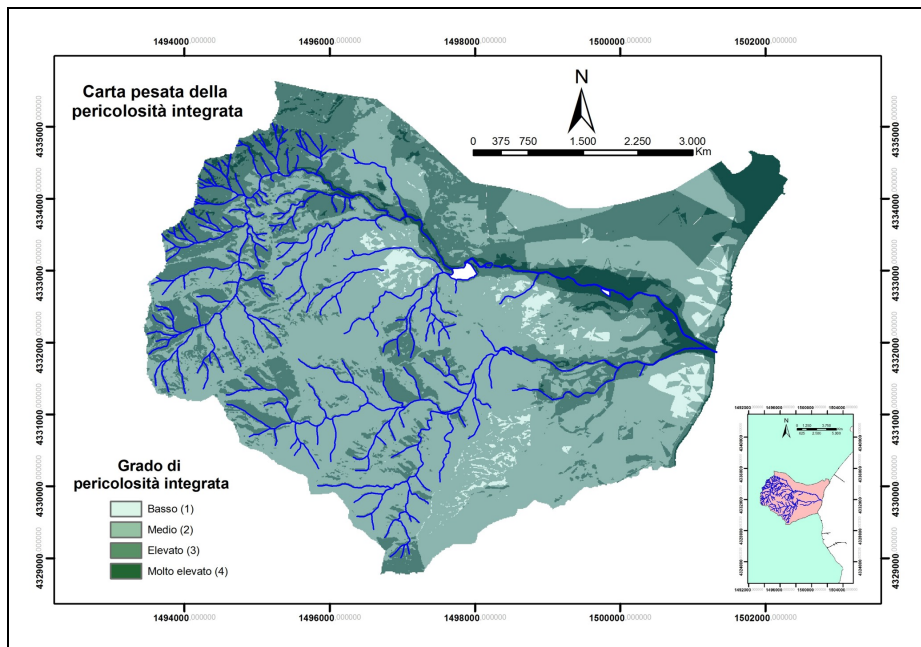


Figura 6 – Carta pesata della pericolosità integrata.

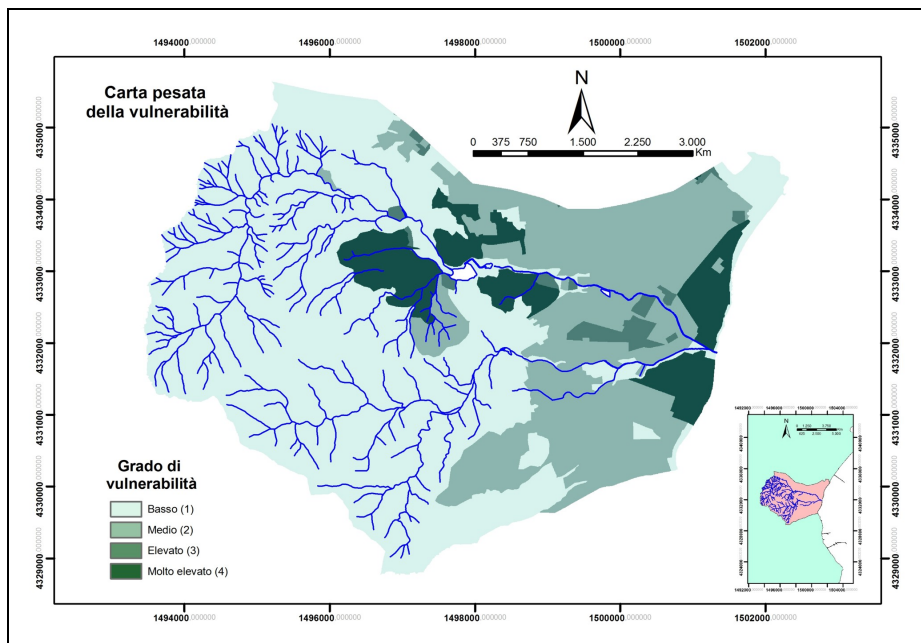


Figura 7 – Carta pesata della vulnerabilità.

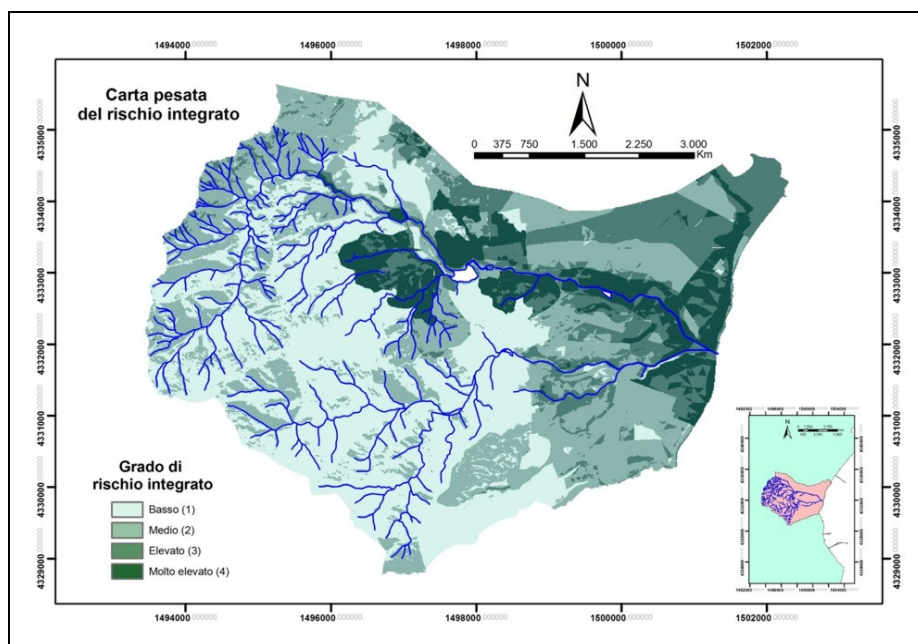


Figura 8 – Carta pesata del rischio integrato.

Risultati conseguiti

Gli elaborati di sintesi derivanti dall'applicazione delle metodiche *overlay* sopra esposte nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra e nella fascia litorale prospiciente la sua foce consentono il riconoscimento delle aree e dei livelli di esposizione sia in riferimento a distinti fenomeni e processi fisici tipici in ambito costiero e continentale (erosione superficiale e franamenti, alluvioni, erosione costiera) sia relativamente ad un potenziale effetto congiunto.

In particolare, si distinguono gradi di esposizione piuttosto elevati, in relazione a fenomeni di erosione superficiale e franamenti, nei settori più interni ubicati a maggior altitudine e ad elevata densità di drenaggio, a fenomeni di esondazione, nelle aree di pertinenza fluviale del Rio San Girolamo, nel settore pedecollinare (Poggio dei Pini) e costiero, e a processi di erosione costiera, in tratti di litorale già caratterizzati, come desunto dall'analisi storica, da *trend* regressivo.

La Carta di sintesi del rischio integrato indica i contesti territoriali nei quali l'azione sinergica dei fenomeni naturali considerati è potenzialmente incisiva, come in ampi tratti della pertinenza fluviale del Rio San Girolamo dove, in particolare, i limiti delle aree di esondazione a differenti magnitudo, unitamente agli effetti dell'instabilità del versante, integrano anche contesti a elevato indice di densità abitativa, così come avviene in zona costiera in tratti particolarmente urbanizzati esposti all'azione dell'erosione marina e ai processi conseguenti consistenti apporti del deflusso incanalato non supportati dai limiti arginali (*spot* in Figura 9).

Questo tipo di approccio metodologico cartografico, sia in riferimento a fonti di pericolosità specifica sia in relazione all'azione sinergica delle diverse perturbazioni, può risultare fondamentale nella pianificazione e nell'uso del territorio e nelle attività di previsione e prevenzione del rischio geo-ambientale.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Prof. Felice Di Gregorio, Responsabile del Centro di Competenza Tecnologica su Analisi e Prevenzione del Rischio Ambientale della Sardegna (CCT APRAS), per i suggerimenti e la lettura critica del lavoro.

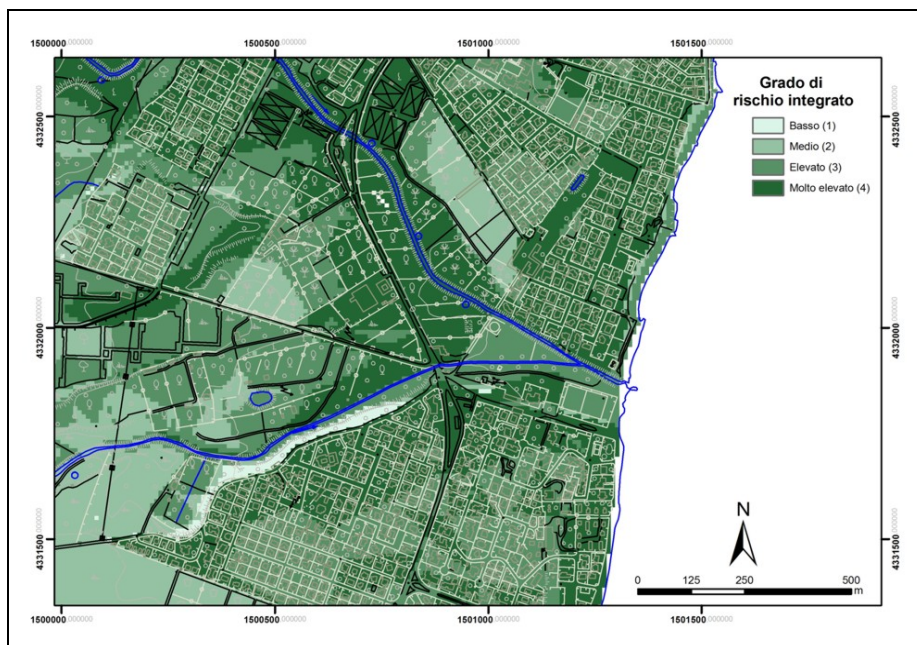


Figura 9 – Stralcio della Carta pesata del rischio integrato.

Riferimenti bibliografici

- Atzeni A., Ginesu S. (1993), "L'evoluzione dei litorali della Sardegna e gli interventi di riequilibrio", in *"La difesa dei litorali in Italia"*, a cura di Aminti e Pranzini. Ed. Delle Autonomie, 11, 215/233.
- Barca S., Coccozza T., Leone F. (1986), "Il Paleozoico dell'area di San Leone: nuovi dati stratigrafico-strutturali (Sulcis, Sardegna SW)", *Boll. Soc. Geol. It.*, 105, 21-26.
- 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.
- Di Gregorio F., Pusceddu M., Romoli E., Serreli A., Tronchetti C. (2010), "Valutazione del rischio d'erosione costiera nell'area archeologica di Nora (Sardegna SW)", *Atti 14° Conferenza Nazionale ASITA, Brescia, 9-12 novembre 2010*, 869-874.
- Frongia P., Piras G., Scionis N. (2011), "Modellizzazione della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico nel Rio San Girolamo di Capoterra (Sardegna SW)", *Atti del Convegno Nazionale "Dissesto idrogeologico. Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia"*, SIGEA - CNR-IRPI - AII, Roma, 10 giugno 2011 (in stampa).
- Pala A. (1983), "Studio geoidrologico della Piana di Capoterra (Sardegna meridionale)", *Rendic. Semin. Fac. di Scienze Univ. di Cagliari*, 53(2), 171-196.
- Regione Sardegna (2004), *Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (Legge 267 del 3-08-1998)*.
- Regione Sardegna, Comune di Capoterra (2006 e agg. success.), *Sistemazione e rinaturazione delle difese litoranee. Bonifica e sistemazione della fascia costiera, Progetto definitivo-esecutivo delle opere marittime Protezione del litorale*.