

## Applicazioni metodologiche per la valutazione dell'incidenza delle trasformazioni territoriali a carattere antropico su alcuni processi ambientali. Un caso di studio in Sardegna<sup>1</sup>

Cinzia Podda (\*), Gianluca Scanu (\*\*)

(\*) Università degli Studi di Sassari, Laboratorio di Cartografia «Pasquale Brandis»  
Piazza Conte di Moriana 8, 07100 Sassari, tel. 079 229746, fax 079 229680, e-mail: cpodda@uniss.it  
(\*\*) SSAST S.r.L., Via Casula 7, 07100 Sassari, tel. 079 290159, e-mail: gl.scanu89@gmail.com

### Riassunto

Nel presente lavoro, attraverso l'elaborazione congiunta di dati territoriali e statistici, si è cercato di individuare alcune delle cause dei mutamenti delle dinamiche ambientali collegate più o meno direttamente all'azione antropica, in particolare alle variazioni di uso del suolo intercorse negli ultimi decenni su aree intensamente popolate, prendendo come esempio il caso di Olbia, nella Sardegna nord orientale. A tal fine si è effettuata l'analisi delle macro categorie degli usi del suolo attraverso le coperture aerofotogrammetriche, soffermandosi sulle carte di dettaglio per lo studio delle micro aree relative al periodo 1990 - 2008. Per lo sviluppo dei modelli di analisi dei processi ambientali, oltre ai dati cartografici che sono stati trattati in ambiente GIS, ai modelli digitali del terreno (DTM o DEM) e ai DSM (Digital Surface Model), sono stati presi in considerazione anche i dati statistici relativi alla popolazione, alle precipitazioni e alle temperature.

### Abstract

Through the joint elaboration of territorial and statistical data, this work aims to identify some of the causes behind the changes of the environmental dynamics which are more or less directly linked to anthropic activity, in particular to the variations in the use of land occurring in the last decades in highly populated areas, taking as an example Olbia in north western Sardinia. To this end, an analysis of the macro categories of the uses of land through areal photogrammetric coverage was carried out, paying particular attention to detailed maps for the study of micro areas during 1990-2008. In order to develop models to analyze environmental processes, statistical data relative to the population, rainfall and temperatures were taken into consideration in addition to cartographic data treated in a GIS environment, digital terrain models (DTM or DEM) and DSM (Digital Surface Models).

### 1. Premessa

Con l'incremento delle zone urbanizzate e il successivo aumento di infrastrutture che ha caratterizzato pressoché ovunque gli ultimi decenni, si è verificato un aumento dell'impermeabilizzazione della superficie del terreno e una conseguente predisposizione all'incremento del degrado dei suoli. Un fenomeno tipico dei paesi industrializzati e densamente abitati dell'Europa occidentale e settentrionale, quali il Belgio con oltre il 20% di superficie urbanizzata al 2000, la Germania con l'8,1% e la Francia con il 4,8% dove l'incremento dell'impermeabilizzazione è avvenuto soprattutto a spese di aree agricole, confermando la tendenza rilevata in Italia (Barbieris *et al.*, 2006). Qui la situazione appare abbastanza problematica soprattutto se si dà uno sguardo all'ultimo rapporto dell'ISPRA sul *Consumo di suolo in Italia* presentato a luglio, che conferma una velocità media di perdita di 6 - 7 mq al secondo, per un totale di 55 ettari al giorno, prevalentemente in aree agricole

<sup>1</sup> L'impostazione e la ricerca bibliografica sono comuni ai due autori; nello specifico, C. Podda ha curato i paragrafi n. 1 e 2, G. Scanu quello con il n. 3.

(quasi il 60%), ma anche urbane (22%) e naturali (19%). Sono stati cancellati anche il 20% della fascia costiera, insieme a 34.000 ettari all'interno di aree protette, il 9% delle zone a pericolosità idraulica e il 5% delle rive di fiumi e laghi. Le città, secondo il rapporto, continuano a espandersi disordinatamente con un tessuto urbano a bassa densità che frammenta il paesaggio e gli habitat naturali. Un fenomeno che negli ultimi anni, soprattutto in coincidenza delle "variazioni climatiche" in atto riguardanti in particolar modo le precipitazioni, è saltato tristemente alla ribalta a causa dell'intensità di tali fenomeni che hanno interessato tutto il territorio nazionale e che hanno causato ingenti danni sotto il profilo economico e in termini di vite umane. Tali episodi hanno avuto forti ripercussioni anche in Sardegna, il cui territorio è per una parte considerevole a rischio idrogeologico: i comuni che presentano una maggiore pericolosità sono 36, corrispondenti al 9,3% del totale. Si possono ricordare, al riguardo, l'alluvione che ha colpito Capoterra nel 2008 e gli episodi del 2013 che hanno interessato pressoché tutta l'Isola, ma provocato danni ingenti soprattutto nel nord est e in particolare nel comune di Olbia, con numerose vittime. Per tali ragioni l'attenzione del presente studio è stata rivolta a questo territorio, interessato negli ultimi decenni da una grande espansione urbana, con conseguenti ricadute legate all'erosione e al degrado dei suoli, nel tentativo di analizzare come questi aspetti possono avere inciso sull'andamento di tale criticità e, soprattutto, sulla sua portata e intensità.

L'area studiata comprende una parte dei rilievi della parte nord - orientale della Sardegna, situati principalmente all'interno dei limiti amministrativi di Olbia, Telti, Loiri Porto San Paolo e Padru, al raccordo con l'Alta Gallura e la costa orientale su cui spicca il netto disegno del Golfo di Olbia. Si estende per una superficie di 569 chilometri quadrati (figura 1) e comprende, oltre ad alcuni corsi d'acqua minori nella parte settentrionale, principalmente il bacino idrografico del Rio Padrongianus, sul quale, nella piana di Olbia, confluiscono altri rii minori prima di sfociare con un ampio e articolato delta all'interno del Golfo sopraddetto. Cartograficamente la parte nord dell'area ricade nelle tavolette IGM dei Foglio 443 (Tempio Pausania) e 444 (Olbia), mentre quella sud è situata nel Foglio e 462 (Padru).

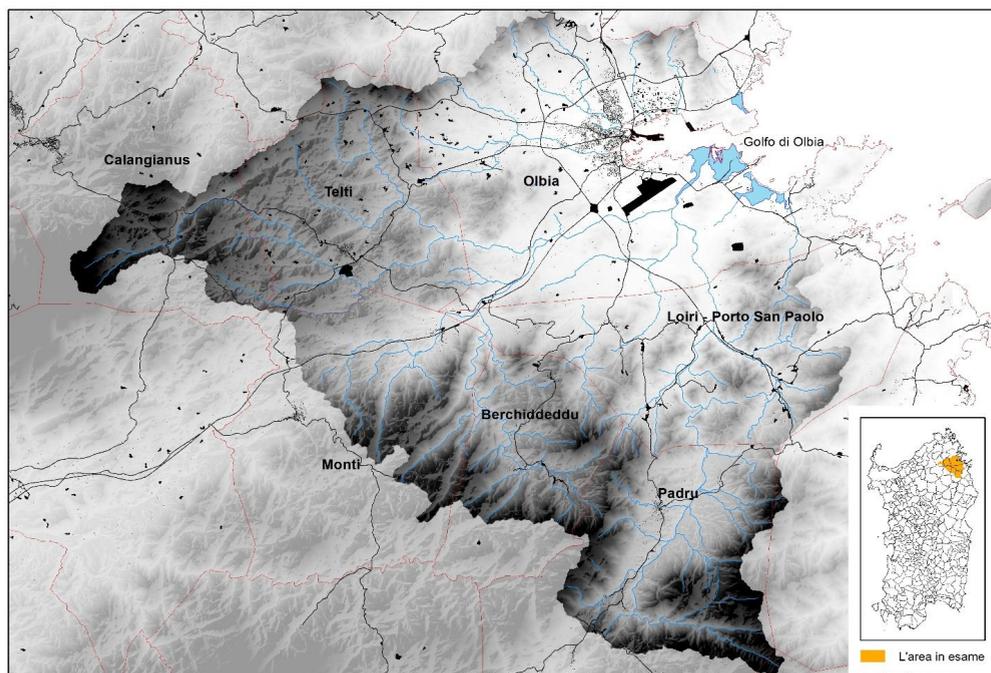


Figura 1 - L'area in esame.

## 2. Metodologia e dati di riferimento

Il presente lavoro tiene conto del supporto che i modelli di calcolo possono fornire soprattutto alla elaborazione dei dati pluviometrici, o all'analisi di quelli derivati dalle immagini del telerilevamento, utilizzati per conoscere e valutare i processi ambientali all'interno dei bacini idrografici. Lo studio ha previsto prima di tutto la definizione dei confini degli spartiacque, i quali sono stati perimetrati mediante il modello digitale del terreno, DTM, utilizzando i dati plano-altimetrici reperiti nel geoportale della Regione Sardegna, con risoluzione dei pixel pari a 10 x 10 metri. Grazie al DTM è stato possibile stabilire la direzione di flusso delle acque meteoriche all'interno dei versanti, individuando l'andamento dei displuvi e le aree in cui l'acqua si canalizza prima di dare origine a fiumi o torrenti, gerarchizzando poi i punti d'accumulo in base alla loro capacità idrica. Quindi si è proceduto all'analisi territoriale al fine di conoscere le trasformazioni che il territorio ha subito durante l'arco temporale prestabilito, focalizzando l'attenzione sui cambiamenti verificatisi dagli anni 90 ad oggi. La metodologia utilizzata ha tenuto conto di due diverse opzioni. Da una parte sono state utilizzate le informazioni reperite attraverso una semplice lettura delle immagini delle foto aeree, assemblate in un'unica fotocopertura regionale, come disponibili nello stesso geoportale a partire dal 1954; dall'altra, per meglio verificare le trasformazioni avvenute nel territorio, è stata impiegata la carta dell'uso del suolo redatta secondo la metodologia del Corine Land Cover relativa al periodo 1990 - 2008. Ovviamente, nel primo caso, i dati considerati dipendono integralmente dalla bontà delle interpretazioni effettuate dall'operatore in relazione alle tessiture dei singoli pixel e dei poligoni di colori o delle scale di grigi presenti sulle immagini satellitari e/o nelle foto aeree, con la possibilità quindi di presenza di errori dovuti ad una non sempre corretta lettura dei fotogrammi: considerando le finalità del lavoro non si sono effettuati controlli sul campo per verificare le opportune tarature sulle situazioni dubbie. Per sviluppare i modelli con cui effettuare le analisi dei processi ambientali sono stati invece utilizzati i dati reperiti nel geoportale regionale e quelli dell'Autorità di Bacino. Oltre alle informazioni di natura cartografica, come le carte topografiche dell'Istituto Geografico Militare (IGM) o la Carta Tecnica Regionale (CTR), sono stati utilizzati anche i dati statistici relativi alle precipitazioni e alle temperature rilevate nel bacino idrografico preso in esame. L'arco temporale esaminato copre il periodo 1922 - 2013 per quanto concerne la piovosità, mentre per i rilevamenti delle temperature i primi dati disponibili validi ai fini del calcolo sono relativamente recenti e vanno dal 1982 al 2013. Le informazioni cartografiche, rese in formato digitale, hanno consentito il trattamento con i Sistemi Informativi Geografici. Si è però fatto riferimento anche a dati di tipo raster (foto aeree) e ad altri prodotti cartografici, come le rappresentazioni dei modelli digitali del terreno e i DSM (Digital Surface Model), ovvero dei modelli tridimensionali che non si soffermano solo sull'andamento del terreno, ma contengono informazioni aggiuntive come l'altezza della vegetazione e degli insediamenti urbani. La risoluzione dei pixel elementari può in questo caso variare da 5 metri fino a 1 metro, ma solo per alcune categorie di dati e per alcune aree: questi ultimi risultano particolarmente importanti, se si pensa che la copertura totale della regione è disponibile con un grado d'informazione pari a di 10 x 10 pixel per metro.

## 3. I modelli utilizzati

L'evoluzione delle principali dinamiche di copertura ed uso del suolo, sul territorio analizzato, evidenziano una progressiva diminuzione delle superfici destinate all'agricoltura in favore delle aree interessate dai processi di urbanizzazione che impermeabilizzano la superficie del suolo. Rispetto alla situazione rilevata nel 1990, nell'area si è registrata una grande espansione urbana, legata alla deruralizzazione, alla fuga dalle campagne e all'accentramento nella città. Queste modificazioni, in un certo senso "artificializzazioni" del territorio, ne hanno infatti determinato un alto grado di impermeabilizzazione e un conseguente degrado. In queste aree, come nella maggior parte di quelle caratterizzate da elevati tassi di urbanizzazione, vi è una incapacità di assorbire per filtrazione una parte delle acque, aumentandone notevolmente lo scorrimento superficiale con

incremento del rischio di erosione cui, com'è noto, sono connesse le problematiche inerenti il controllo delle acque i cui “effetti collaterali” possono avere natura paesistico ambientale o ecologica. Inoltre, la mancanza di filtrazione delle acque nel substrato dovuta all'impermeabilizzazione dei suoli, ha l'effetto di aumentarne la velocità di corrivazione, necessitando conseguentemente di azioni correttive volte a mitigarne gli effetti (Napoletano *et al.*, 2013). La capacità di infiltrazione nei suoli, ovvero il processo che controlla i volumi di acqua restituiti al corpo idrico recettore, viene calcolata mediante il coefficiente di deflusso che indica quella percentuale di acqua che raggiunge il sistema scolante superficiale (fiumi, torrenti, ecc.). Con l'artificializzazione si registra quindi un'accelerazione del deflusso superficiale, cui consegue l'aumento dei picchi di piena dai quali possono nascere situazioni di rischio idraulico, ma anche un rapido esaurimento dei deflussi e degli apporti alla falda dovuti all'aumento dei volumi d'acqua che scorrono in superficie, con conseguente riduzione delle risorse idriche utilizzabili in quanto non immagazzinate. Per questo motivo si suole ormai analizzare come le progressive urbanizzazioni e il cambio di uso dei suoli possono incidere sulla trasformazione del territorio rendendolo meno permeabile, con un conseguente aggravio delle piene e dei fenomeni erosivi legati ad una corrivazione più veloce.

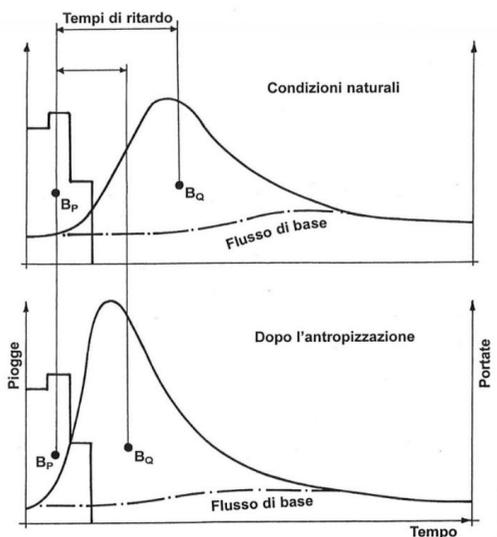


Figura 2 - Confronto dei grafici di portata (Pinna S., 2002).

Dal confronto dei grafici della figura 2 (Pinna, 2002), si può notare come, a parità dei volumi di pioggia, il flusso di base e il tempo di ritardo (la differenza tra il baricentro dell'ietogramma<sup>2</sup>  $B_P$  e quello del diagramma della portata di piena  $B_Q$ ) sia minore nel secondo caso per via, come detto, dell'antropizzazione. Per poter osservare meglio gli effetti dell'impermeabilizzazione del territorio dovuti all'attività umana e alle variazioni di destinazioni d'uso dei suoli, sono stati utilizzati due modelli differenti per calcolare l'afflusso superficiale e il deflusso. Il primo modello utilizzato è quello sviluppato nel 1972 dalla Soil Conservation Service (SCS), il quale consente di delineare gli afflussi delle acque meteoriche. La sua notevole adattabilità e semplicità di applicazione legata solo alla conoscenza dei parametri fondamentali di un bacino idrografico lo ha reso come uno dei modelli più utilizzati per il calcolo degli afflussi. Di seguito viene riportata la sua formula (Dessena,

<sup>2</sup> L'ietogramma è la distribuzione cronologica della pioggia, che può essere rappresentata in modo puntuale, in quanto riferita ad un singolo punto del bacino, e il profilo di pioggia analizzato può essere osservato o sintetico in quanto le formulazioni analitiche sono basate sulla sintesi di informazioni storiche.



livello territoriale, come l'allagamento di aree urbane e conseguente inagibilità delle infrastrutture, distruzione delle coltivazioni e deposito di materiale detritico dovuto al trasporto dell'acqua del fiume, ecc. Per poter attuare un'azione adeguata di prevenzione e conoscenza delle aree che sono soggette ad un rischio idrogeologico dovuto all'esondazione di un fiume, occorre perciò studiare e conoscere tre fattori fondamentali, ossia la portata, il flusso e il regime del corso d'acqua.<sup>4</sup>

Nei periodi in cui non vi sono apporti meteorici i fiumi hanno un deflusso molto scarso in quanto alimentati solo dalle falde sotterranee; con il manifestarsi delle precipitazioni, l'acqua che si canalizza lungo un punto di accumulo determina un aumento di portata, che viene definito flusso di piena, il quale si verifica in un momento successivo alle precipitazioni e tende a crescere in modo molto rapido raggiungendo la portata di colmo. Questo implica, oltre ad un aumento del volume dell'altezza d'acqua trasportata dal fiume, anche un incremento della sua velocità, provocando la cosiddetta onda di piena. Si tratta di un fenomeno occasionale che si manifesta in seguito a delle precipitazioni eccezionali e può subire delle alterazioni nelle aree fortemente antropizzate. Nelle aree disboscate viene a mancare l'intercettazione delle acque per mezzo delle piante e l'azione frenante che queste svolgono sulle gocce della pioggia, garantendo anche una maggiore infiltrazione nel suolo. Le aree urbanizzate e quelle soggette a pratiche agricole intensive determinano una riduzione della permeabilità dovuta alla compattazione del suolo o alla sua cementificazione, ma anche a un aumento della velocità di scorrimento dovuta all'impermeabilizzazione o, ancora, alla lavorazione con mezzi meccanici dei versanti lungo la direzione di massima pendenza. Il fenomeno geomorfologico che ha ripercussioni maggiori all'interno dei processi che riguardano il territorio è, quindi, l'erosione del suolo ad opera delle acque superficiali. Esso rappresenta un serio problema per quanto concerne gli effetti che si ripercuotono sull'ambiente e sul tessuto sociale ed economico, soprattutto nelle aree in cui la loro manifestazione ha un'intensità molto elevata e frequente. Per questo motivo, all'interno del bacino idrografico occorre svolgere una valutazione sul grado di erosione causata dal ruscellamento delle acque piovane che, con l'asportazione di quantità elevate di suolo causata spesso dalla riduzione, se non dalla mancanza, di copertura vegetale, ne denuda la superficie e la rende inadatta a qualsiasi uso. Un aggressività maggiore può essere provocata da eventi meteorici importanti e/o eccezionali i quali, insistendo in aree con agricoltura irrazionale, un pascolo eccessivo, ecc., possono causare un'erosione più incisiva rispetto ad altre aree con caratteristiche morfo-climatiche simili.

All'inizio degli anni '30 l'agenzia americana United States Department of Agriculture (USDA) diede inizio alle prime sperimentazioni empiriche per calcolare la perdita dei suoli dovuta all'erosione, ma solo nel 1965, con Wischmeier e Smith venne introdotto il primo modello empirico con il quale si riusciva a stabilire la perdita dei suoli su base media annuale dovuta all'azione erosiva per mezzo del dilavamento, Universal Soil Loss Equation (USLE). A partire dalla fine degli anni '90 la USDA affinò ulteriormente questo modello, che prese il nome di Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Il potenziale erosivo di un territorio, secondo entrambi i modelli, si calcola mediante l'espressione matematica (Panizza M, 1988):

$$A = R * K * L * S * C * P^5$$

<sup>4</sup> Quando si parla di portata  $Q$  di un fiume ci si riferisce al volume d'acqua che passa attraverso una determinata sezione in una data unità di tempo, essa si esprime in metri cubi al secondo e la sua formula è  $Q = \frac{V}{t}$  (Pinna, 2002).

<sup>5</sup> Dove: **A**: esprime la perdita di suolo media annua per ettaro; **R**: esprime la capacità erosiva delle precipitazioni, le quali sono strettamente legate alla loro intensità e costanza; infatti, più sono irregolari, maggiore è il loro grado di erosione. Il cui valore è stato calcolato mediante l'utilizzo dell'equazione sviluppata da D'Asaro e Santoro (1983) che mette in relazione la quota della stazione pluviometrica "q", la piovosità media annua "P" espressa in mm e il numero medio annuo dei giorni piovosi "NGP". I dati ottenuti vengono successivamente interpolati tramite l'utilizzo di un software GIS, in modo da poter attribuire dei valori alle aree non campionate tramite l'utilizzo dei poligoni di Thiessen (Conoscenti, 2006); **K**: esprime l'erodibilità di uno specifico suolo, in base alla composizione, alla sua coesione e alla sua granulometria. Il fattore **LS** determina invece l'energia con cui l'acqua meteorica esercita il suo potere di dilavamento nei confronti della superficie, questo è dovuto alla lunghezza "L" e al grado di pendenza "S" di un versante e di solito viene calcolato mediante alcune formule. **C**: è il rapporto tra la perdita di superficie in una determinata area avente uno specifico uso del suolo e un'area uguale coltivata a maggese, calcolata con la formula

Il percorso seguito per la determinazione dell'erosione è illustrato nella figura seguente.

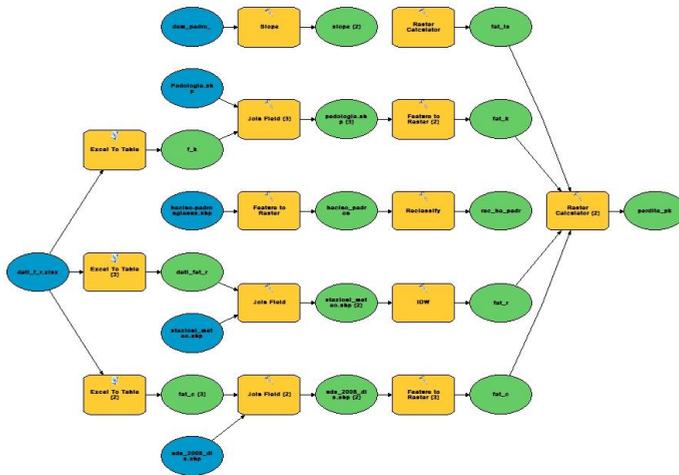


Figura 4 - Layout del metodo di calcolo utilizzato per il calcolo dell'erosione in ambiente GIS.

Per capire e riuscire ad interpretare i valori del grado di erosione, ottenuti dall'analisi empirica sulla perdita dei suoli, si utilizza la Classificazione sviluppata dalla F.A.O. e U.N.E.S.C.O. (Mancebo Quintana, 2009):

Perdita di suolo A (t/ha*anno)	Grado di erosione idrica
<10	Nessuna o leggera
10-50	Moderata
50-200	Alta
>200	Molto alta

Come emerge dalle figure 5 e 6, che rappresentano l'erosione (in rosso) dell'area nel 1990 e nel 2010 determinata sulla base dei modelli di calcolo descritti sopra, in alcune zone, rispetto al 1990, si è verificata una riduzione del fenomeno, mentre in altre zone si riscontrano incrementi importanti. I fenomeni erosivi sono concentrati in percentuale più elevata nelle aree di limite, ossia tra zone boschive e agricole, oppure fra le aree montuose e quelle collinari. Le acque superficiali, infatti, non trovando più "ostacoli" che possono provocare una riduzione di velocità, incrementano la loro forza erosiva causando una maggiore asportazione di suolo che determina così un impoverimento dello stesso. La riduzione dell'effetto erosivo in alcune zone è dovuta prevalentemente a un incremento della copertura vegetale e quindi a una diminuzione della superficie agricola, oppure a un incremento della superficie urbanizzata con la conseguente traslazione del fenomeno nelle aree adiacenti. Ne consegue una disomogeneità della distribuzione dell'erosione che non interesserà più le zone di transizione tra caratteri morfologici o di copertura del suolo differenti, ovvero quelle aree,

sviluppata da Overland (1990, sviluppato dal USDA, e pubblicata da Schmidt e Schulze (1987) per il calcolo del deflusso o delle infiltrazioni delle acque meteoriche dovute alle tipologie di colture e agli utilizzi del suolo (Conoscenti, 2006). **P**: è il rapporto tra la perdita di suolo con opportune pratiche di controllo dell'erosione e quella che si ha con una lavorazione secondo le linee di massima pendenza. Con questo parametro vengono prese in considerazione le tecniche di sistemazione e di difesa dei terreni presenti all'interno del bacino idrografico, come terrazzamenti e gradonamenti.

per così dire, *borderline* o di limite, ma sarà assolutamente frammentata e interesserà tutte le aree sprovviste di copertura vegetale o di urbanizzazione. Se osserviamo infatti il settore occidentale o quello centrale del territorio in esame, così come altre aree diffuse, si può rilevare bene come le zone erosive visibili nella carta del 2010 risultano estremamente frammentate rispetto a quelle del periodo precedente: il caso della frazione di Pittulongu, poco a nord di Olbia è di per sé eclatante. L'eccessiva antropizzazione del territorio oltre a provocare un consumo di suolo, con l'impoverimento di quest'ultimo, fa sì che vi sia un aumento della superficie impermeabile dovuta all'urbanizzazione e alla conseguente riduzione delle aree agricole o boschive. Queste ultime, peraltro, oltre a garantire un maggiore infiltrazione dell'acqua meteorica nei suoli, mediante l'apparato radicale ne riducono la velocità e conseguentemente la portata, ma anche il suo potere erosivo. Le variazioni di questi parametri vengono registrati nelle dinamiche dei deflussi delle acque superficiali, le quali portano a variazioni della loro velocità di corrivazione, andando a modificare il grado di infiltrazione nei suoli, ovvero il processo che controlla i volumi di acqua restituiti al corpo idrico recettore. Come detto precedentemente, queste dinamiche vanno ad incidere sulla portata d'acqua di un corso fluviale, provocando, qualora l'alveo non riesca più a contenere quel "determinato" apporto idrico, delle alluvioni in quanto il fiume esondando invade le aree limitrofe, portando delle gravi conseguenze a livello territoriale: l'esempio dell'allagamento di Olbia nel 2013 è evidente.

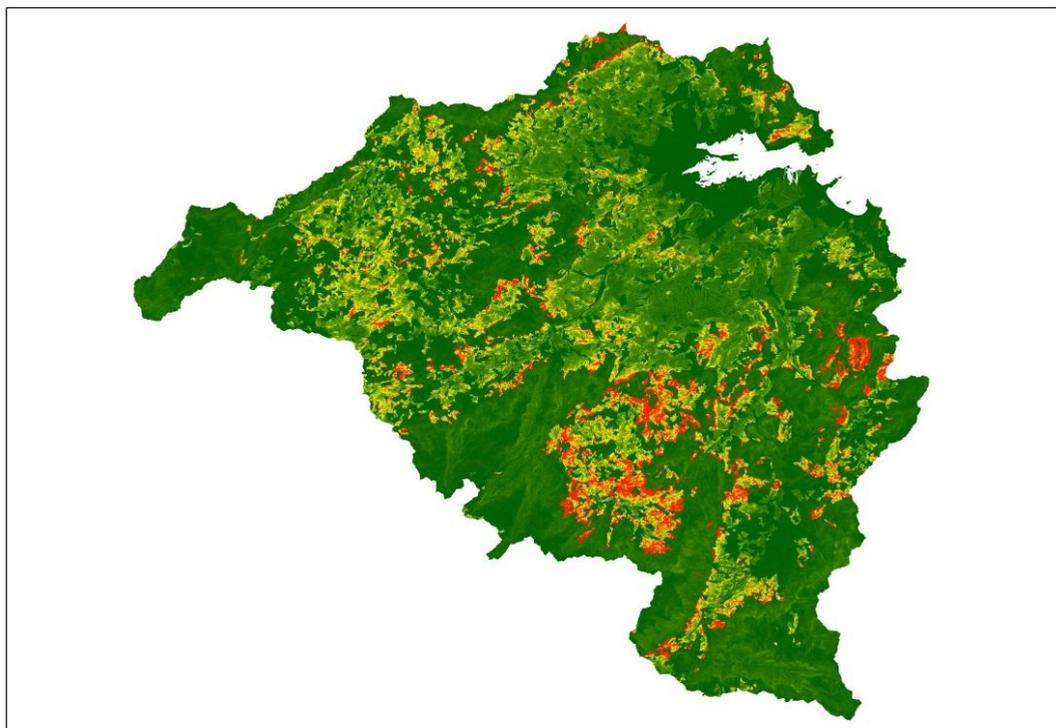


Figura 5 - Rappresentazione dell'erosione nel 1990 secondo il modello U.S.L.E.

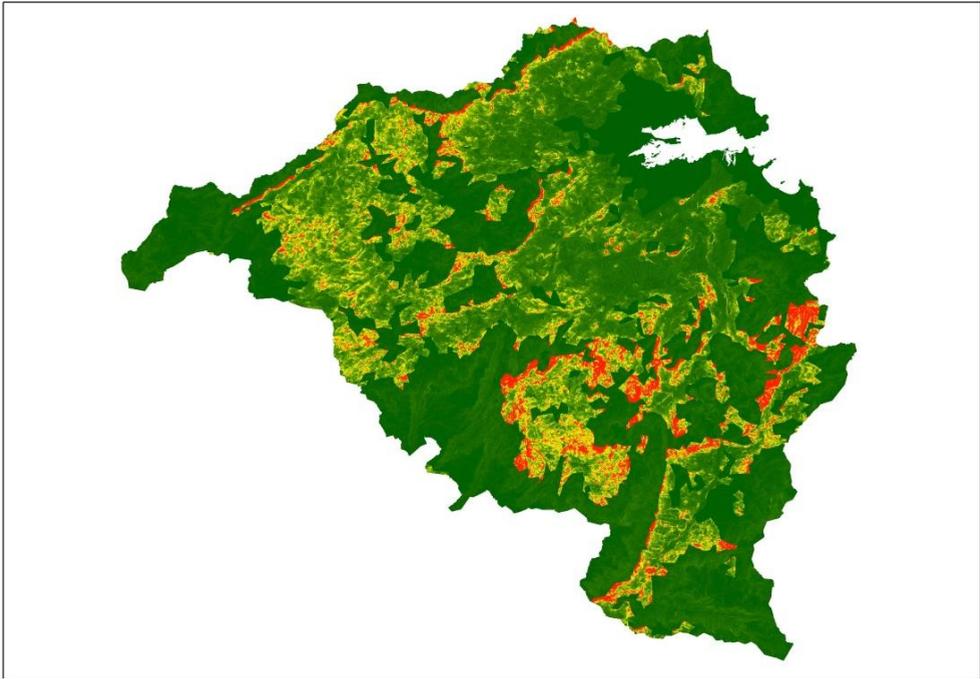


Figura 6 - Rappresentazione dell'erosione nel 2010 secondo il modello U.S.L.E.

### Riferimenti bibliografici

- Ballestra G., Bertozzi R., Buscaroli A., Gherardi M., Vianello G. (1996), *Applicazione dei Sistemi Informativi Geografici nella valutazione delle modifiche ambientali e territoriali*, Franco Angeli, Milano
- Barbieres R., Di Fabbio A., Giordano F., Guerrieri L., Leoni I., Munafò M., Viti S. (2006), "Impermeabilizzazione e consumo dei suoli nelle aree urbane", *Qualità dell'ambiente urbano. III Rapporto Apat*, APAT, Roma, 631-650
- Bauducco F., Dematteis A. De Luca D. A., Masciocco L. (1994), "La valutazione delle potenzialità idriche di un bacino alpino: il metodo Kennessey applicato alla valle Varaita (Alpi Coize - Cn)",
- Becciu G., Paoletti A., Sanfilippo U. (2013), "Sistemi di tipo diffuso per il contenimento dei deflussi meteorici urbani", *IX Rapporto: Qualità dell'ambiente urbano*, ISPRA, Roma, 213-218
- Bernardi R., Salgaro S., Smiraglia C. (a cura di) (1994), *L'evoluzione della Montagna italiana fra tradizione e modernità*, Pàtron, Bologna, 39-52
- Castiglioni G. B. (1989), *Geomorfologia*, UTET, Torino
- Conoscenti C. (2006), "Valutazione dell'erosione prodotta dai processi di dilavamento nel bacino del fiume della Mendola", *Naturalista sicil., S. IV, XXX (1)*, Palermo, 107-124
- Cumer A. (1994), "Il progetto Corine Land Cover in Italia: un modello da seguire", *Documenti del Territorio*, VIII, 28/29 giugno/dicembre
- D'Asaro F., Grillone G. (2012), "Empirical investigation of Curve Number method parameters in the Mediterranean area", *Journal of Hydrologic Engineering*, 17: 1141-1152
- Dessena M. A., Dettori B., Greppi M., Porcheddu A. (1988 - 1992), "Analisi e simulazioni delle trasformazioni afflussi - deflussi del fiume Temo a Reinamare", *Annali della facoltà di agraria dell'Università di Sassari*, 34, Sassari, 65-85

- Di Gregorio F. (1990), “L’uomo e le acque: il dissesto idrogeologico in Sardegna”, Scanu G. (a cura di), *Sardegna nel mondo mediterraneo*, Pàtron, Bologna, 133-150
- FAO (2006), *World reference base for soil resources*, Roma
- Ghiglieri G., Barbieri G., Vernier A. (2006), *Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: dall’analisi conoscitiva alle strategie di salvaguardia e tutela*, ENEA, Roma
- Ippolito F. (1966), “In margine al problema delle alluvioni: disboscamenti e sistema idrogeologico”, *Geol. Appl. e Idrogeologia*, 1, Bari, 221-225
- ISPRA (2015), *Rapporto annuale sul consumo di suolo in Italia*, Roma
- Mancebo Quintana S., Ortega Pérez E., Valentin Criado A. C. (2009), *LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental: ejercicios*, Madrid
- Napoletano N., Capolongo D., Marsico A., Pennetta L. (2013), “Problematiche connesse con la progressiva impermeabilizzazione dei terreni dell’area industriale di Bari”, *Atti 17° Conferenza Nazionale ASITA*
- Panizza M. (1988), *Geomorfologia Applicata, Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d’Impatto Ambientale*, NIS, Roma
- Petroselli A., Grimaldi S., Alonso G., Nardi F. (2010), “Modelli afflussi deflussi per piccoli bacini non strumentati”, *Atti XXXII Congresso Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Palermo
- Pinna S. (2002), *Rischi ambientali e difesa del territorio*, Angeli, Milano
- Pistocchi A., *Il ruolo della modellistica delle georisorse nei processi di pianificazione territoriale*, Tesi di Dottorato XIII Ciclo, Bologna
- Sambucini V., Marinosci I., Bonora N., Chirici G., Corona P., Bologna S., Morgante L., Oradini O., Bagnoli M., Papini F., Marchetti M. (2010), “La realizzazione in Italia del progetto Corine Land Cover 2006: uno strumento di monitoraggio delle dinamiche di uso e copertura del suolo”, *Atti 14° Conferenza Nazionale ASITA*

### Sitografia

<http://www.sardegnaoportale.it/>

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

<http://www.istat.it/it/>

<http://www.pcn.minambiente.it/PCNDYN/catalogowms.jsp?lan=it>