

Valutazione del rischio geomorfologico-idraulico per una corretta pianificazione territoriale: il caso dei corsi d'acqua dei bacini regionali romagnoli

Carlo Del Grande¹, Luca Magagnini¹, Alessandro Bertoni¹, Prof. Umberto Simeoni², Dott. Geol. Oscar Zani³

¹ Geologo, libero professionista

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Ferrara

³ Geologo, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

1. INTRODUZIONE ED OBIETTIVI

L'evoluzione geomorfologica dei corsi d'acqua naturali è un indicatore basilare per comprendere le dinamiche legate al trasporto solido, alla capacità di divagazione del corso, all'erosione di fondo e, indirettamente, all'evoluzione geomorfologica dei versanti e della costa. Gli interventi idraulici sui corsi d'acqua che non tengano in debito conto dei processi connessi alla dinamica fluviale, rischiano di innescare irreversibili e catastrofici effetti sull'equilibrio geologico di un determinato bacino, e dare origine a diffusi dissesti. Il presente studio definisce il quadro dei processi che

regolano i geoequilibri del bacino idrografico che sono di fondamentale importanza per avviare una politica di gestione del territorio.

Lo studio si propone d'approfondire le conoscenze sull'evoluzione geomorfologica di alcuni corsi d'acqua gestiti dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli; in particolare la ricerca è focalizzata sui seguenti fiumi e torrenti: F. Rubicone, F. Savio, T. Borello, F. Fanante, F. Bidente-Ronco, F. Montone, F. Lamone, T. Marzeno (Fig. 1).

In particolare è stata realizzata un'analisi comparata nel tempo dell'evoluzione delle aste fluviali con l'utilizzo di foto aeree, e una campagna di rilievi diretti su circa 90 tratti distribuiti su tutti gli alvei considerati (Fig. 2).

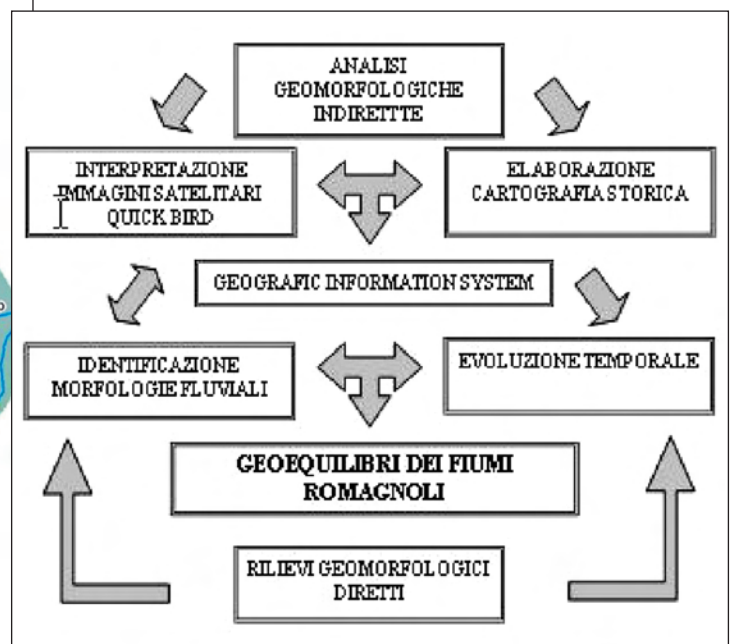
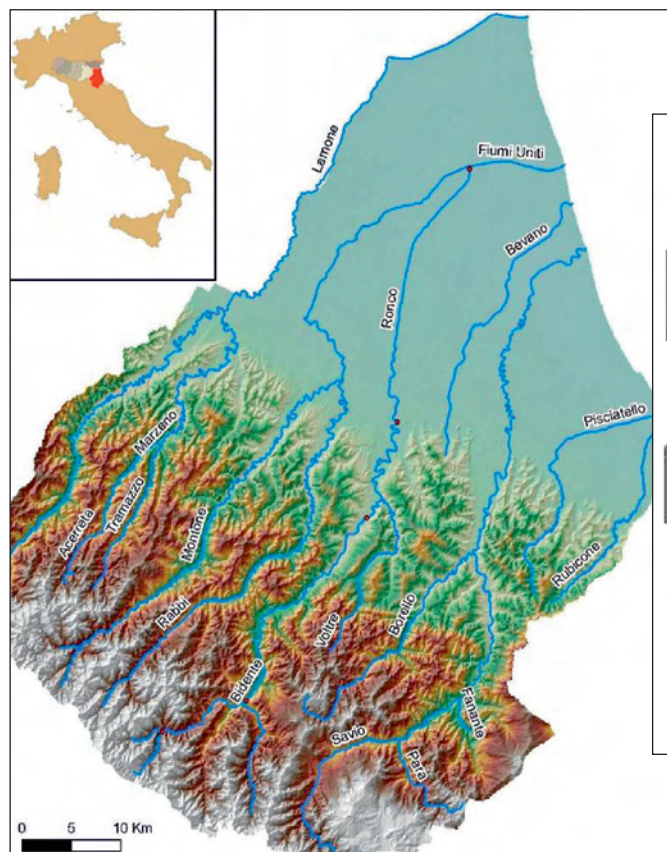


Figura 1 (a lato): territorio dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli
Figura 2 (sopra): procedimento decisionale volto alla definizione degli obiettivi.

2. CREAZIONE DEL GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM: ACQUISIZIONE ED INSERIMENTO DATI

La base di lavoro per le analisi indirette è stata sviluppata in ambiente G.I.S. E' stato creato un progetto all'interno del quale sono stati inseriti tutti i dati esistenti riguardanti il territorio in esame. Le informazioni cartografiche e alfanumeriche sono state omogeneizzate e georeferenziate, quando necessario, in modo da ottenere una base di lavoro sviluppabile e aggiornabile.

Il G.I.S. del Bacino dei Fiumi Romagnoli utilizza come base cartografica, vettoriale alcuni elementi derivati dai S.I.T. delle Province coinvolte (Ravenna e Forlì-Cesena) e dei Comuni all'interno dei quali si estendono le aste fluviali, georeferenziati nel sistema di coordinate UTM ED50 32 RER. Agli elementi cartografici vettoriali si aggiungono le Carte Tecniche Regionali in formato raster alla scala 1:5.000, la cartografia IGM risalente alla prima metà del 1900 alla scala 1:25.000 e, sempre alla medesima scala, la cartografia storica pregeodetica (1820-1840). Il quadro territoriale viene inoltre arricchito da foto aeree, restituite dai voli del progetto AIMA RER dell'anno 1995-1996 e da immagini satellitari QuickBird dell'anno 2003 che coprono tutta l'area in esame. Come sistema di coordinate di riferimento viene obbligatoriamente utilizzato il sistema UTM con datum ED50 fuso 32 e gli altri dati (in coordinate diverse) sono stati a questo adeguati. Tutte le trasformazioni di coordinate vengono effettuate attraverso gli idonei algoritmi in dotazione ai software adottati. L'originaria base cartografica viene poi implementata tramite la georeferenziazione di:

foto aeree, cartografia attuale in formato raster, cartografia vettoriale in vari formati e sistemi di coordinate. Il fine di questa operazione è quella di ottenere la migliore sovrapposizione possibile con la cartografia di base.

Per ottenere questo risultato, di ogni nuovo elemento è stata valutata l'attendibilità e la precisione iniziale al fine di fornire una oggettiva validazione dei dati.

Da menzionare è anche il catasto delle opere di difesa idraulica. Tale database, strumento essenziale per interpretare al meglio la dinamica fluviale, è stato messo a disposizione dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Romagnoli e, considerato l'anno di acquisizione dei dati (2005), si è rivelato idoneo al presente studio.

3. CARTA GEOMORFOLOGICA D'ALVEO E IDENTIFICAZIONE DELLE AREE A MAGGIORE DINAMICITA'

Il sistema morfogenetico fluviale comprende le aree che possono subire modellamenti conseguenti alle azioni dirette o indirette delle acque incanalate. Il sistema in oggetto non è quindi limitato alle sole aree prossime al corso d'acqua poiché, ad esempio, le acque di un fiume possono espandersi in occasione delle piene su superfici molto vaste.

Nella carta geomorfologica d'alveo sono stati usati diversi layers per definire le differenti parti dell'alveo stesso (Fig.3 e Fig.4).

– *Limite Alveo Attivo*

Per la maggior parte del tempo il fiume fluisce entro il letto ordinario, delimitato naturalmente dalle sponde.

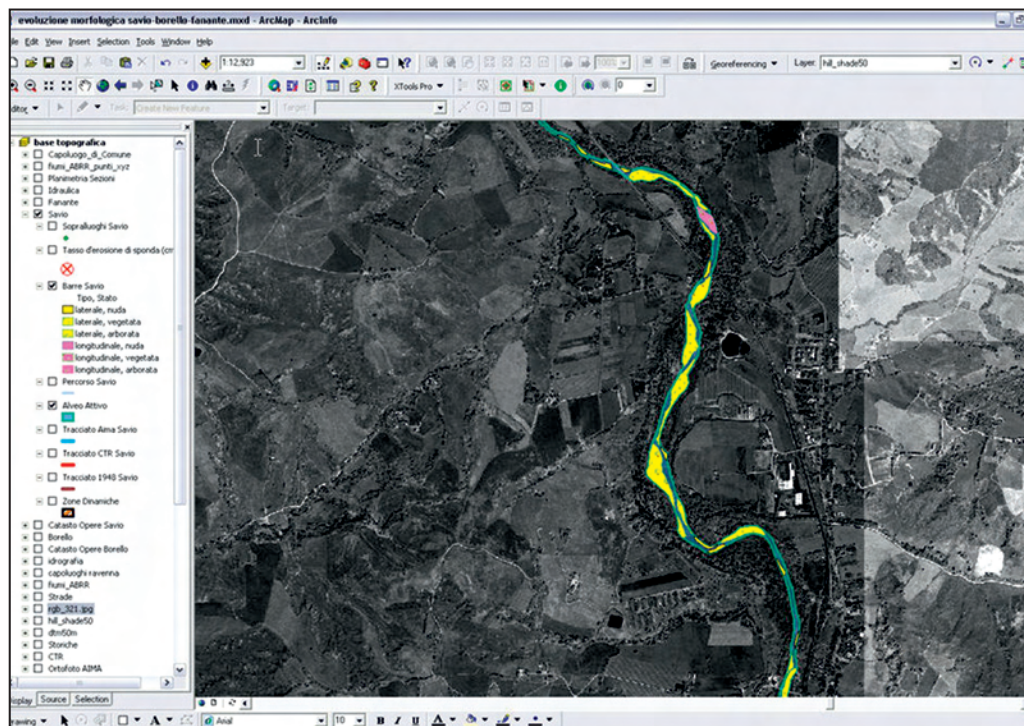


Figura 3: carta geomorfologica d'alveo.



Figura 4: legenda della carta geomorfologica d'alveo

Questo corrisponde alla sezione che può contenere "la piena ordinaria"¹ ed è occupato interamente soltanto per pochi giorni l'anno.

All'interno del letto ordinario affiorano barre alluvionali caratterizzate da differenti stadi di colonizzazione vegetale o da affioramenti del substrato, se prevalgono i processi erosivi su quelli deposizionali.

– Percorso

Nei tratti di alveo in cui non è possibile, per svariati motivi, definire una larghezza, la digitalizzazione del tracciato tramite il suo asse (shape polyline) si è rilevata un'ottima alternativa.

– Sezioni

Vengono individuate le tracce delle sezioni d'alveo. Per

¹ [PIENA ORDINARIA, definita come la portata in una sezione del corso d'acqua che, rispetto alla serie storica dei massimi livelli annui verificatisi nella stessa sezione, è uguagliata o supera il 75% dei casi.]

permettere una rapida consultazione ad ogni traccia è associato il numero della sezione corrispondente.

– Opere Idrauliche

Vengono riportate anche le ubicazioni delle opere idrauliche che alterano in maniera significativa il trasporto solido; con cromie diverse sono identificate tutte le briglie e le soglie presenti lungo l'asta fluviale.

Le barre sono state analizzate seguendo due classificazioni. Classificazione delle barre in base al loro stato di copertura vegetale:

– Nuda - Barra caratterizzata da vegetazione stagionale o assente.

– Vegetata - Barra caratterizzata dalla presenza di arbusti, generalmente pioppi o salici, di altezza non superiore ai 2-3 m e da piante palustri.

– Arborata - Barra caratterizzata dalla presenza di alberi, generalmente pioppi o salici, di altezza superiore ai 3 metri; barre di questo tipo possono ritenersi stabilizzate in quanto protette dai processi erosivi.

Classificazione delle barre in base alla tipologia in relazione al tipo di ambiente fluviale.

– Barra Longitudinale

– Barra Laterale

– Barra Di Meandro

Mediante l'analisi di cartografia, foto aeree e immagini satellitari realizzati in tempi diversi, sono state studiate l'evoluzione geomorfologica e le tendenze evolutive dei principali corsi d'acqua romagnoli, quali il fiume Lamone, il torrente Marzeno, il Bidente-Ronco, il fiume Montone, il fiume Savio, comprensivo degli affluenti Borello e Fanante, e il fiume Rubicone.

Partendo dalla digitalizzazione del tracciato fluviale più antico, desunto dalle tavv. IGM datate 1928 – 1948, alla

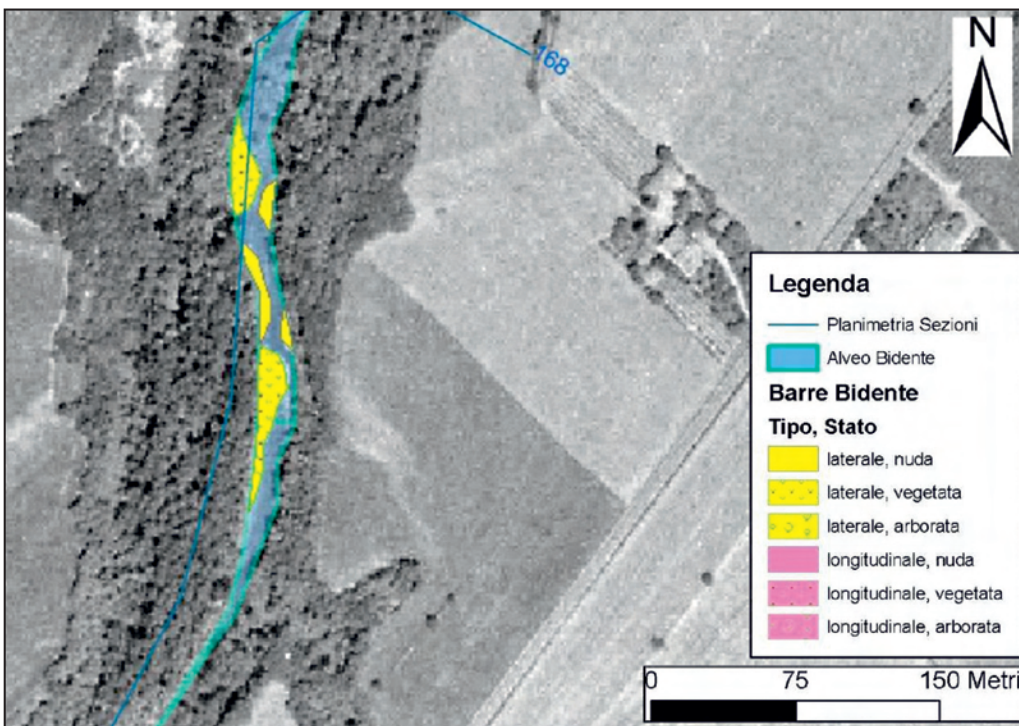


Figura 5: esempio di carta geomorfologica d'alveo (F. Bidente)

scala 1:25.000, si è poi passati a considerare il reticolo idrografico restituito dalle CTR del 1975 - 1976, per proseguire con foto aeree AIMA RER in epoche più recenti (1995 - 1996), concludendo con la cartografia attuale ricavata da immagini satellitari.

La sovrapposizione, in ambiente G.I.S., di forme lineari identificative dell'andamento degli alvei fluviali temporalmente diversi (1928-'48, 1975-'76, 1996, 2003), ha permesso di interpretare in maniera sufficientemente precisa e dettagliata le tendenze evolutive di ciascun corso d'acqua.

L'accuratezza nelle operazioni di sovrapposizione è derivata dalla corretta georeferenziazione di ogni serie cartografica; quando questa ultima manca od è imprecisa, come nel caso della cartografia storica datata 1820 - 1840, salvo pesanti e spesso inutili elaborazioni delle immagini non è possibile ottenere un'analisi di elevato dettaglio.

Confrontando però queste ultime con le morfologie di epoche più recenti e nel contempo considerando che ogni processo erosivo è stato accelerato nella seconda metà del 1900 a seguito dello sviluppo economico, è possibile trarre importanti informazioni. D'altro canto si è dovuto rinunciare ad estendere l'analisi delle velocità d'erosione agli ultimi due secoli.

Più in particolare, la sovrapposizione sopraccitata ha permesso l'individuazione di tratti in cui l'evoluzione risulta particolarmente importante: lo shape poligonale "Zone Dinamiche", raffigurato da un tratteggio, include porzioni di fiume intensamente sottoposte a processi erosivi/deposizionali verificatisi negli ultimi sessanta anni, anche se non ne definisce i limiti precisi.

Per procedere con la digitalizzazione dei poligoni, è stata prefissata una soglia minima di spostamento tra i diversi assi fluviali, così da poter concentrare l'attenzione su tratti di alveo maggiormente sensibili ai processi erosivi. Il valore minimo di spostamento è stato fissato in 0,5 metri/anno; l'aggettivo "stabile", quindi, non sottintende necessariamente porzioni di alveo in cui non si sono verificati spostamenti, ma anche tratti in cui questi sono inferiori alla soglia prefissata in fase di elaborazione.

Il materiale reperibile per lo studio ha reso possibile l'analisi dei trend evolutivi dell'ultimo sessantennio (questo nella peggiore delle ipotesi, per alcuni tratti l'analisi è riferita agli inizi del secolo scorso) sull'intera lunghezza di ogni alveo considerato.

Per rendere completa l'analisi delle aree fluviali a maggiore dinamicità si è abbinato allo shape poligonale "Zone Dinamiche", l'analisi qualitativa della prima cartografia (in ordine cronologico) disponibile: tali informazioni sono state considerate solo nel momento in cui si è riscontrato un netto divario tra le morfologie, in quanto modeste differenze sono automaticamente incluse all'interno della fascia di divagazione del fiume identificata dai poligoni "Zone Dinamiche".

Grazie all'analisi multitemporale appena descritta è stato possibile derivare informazioni attinenti a diver-

si sviluppi erosivi, differenziando erosioni di meandro da divagazione sostanzialmente rettilinea ed introducendo, inoltre, una classe intermedia fra le due precedenti.

Di seguito (Fig.7), si riporta un esempio tratto dai sistemi informativi territoriali creati.

L'analisi appena descritta ha restituito anche informazioni sui massimi tassi d'erosione anche in relazione alle litologie attraversate (Fig.6).

I valori medi maggiori sono stati misurati nel tratto più a monte del F. Ronco (approssimativamente 2 metri/anno) e nel T. Fanante (circa 1,55 metri/anno), dove in entrambe le situazioni sono coinvolti depositi di conoide limosi, mentre le condizioni meno evidenti si registrano nel F. Lamone e nel suo affluente principale, con spostamenti massimi dell'ordine di 0,80 metri/anno.

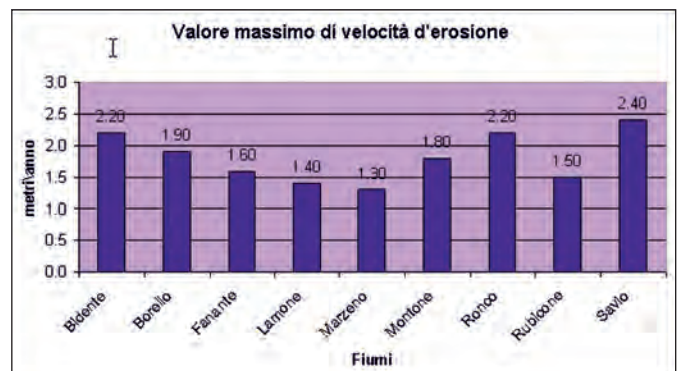
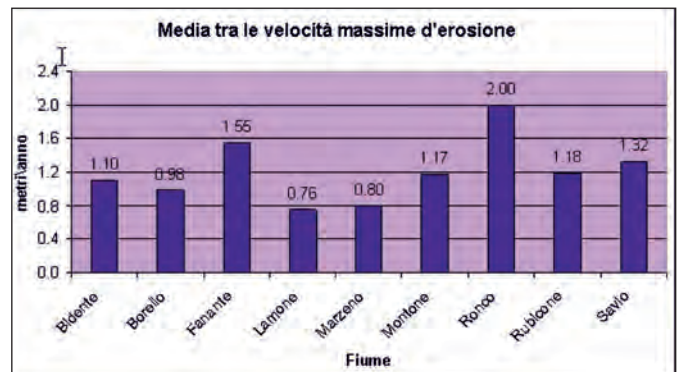
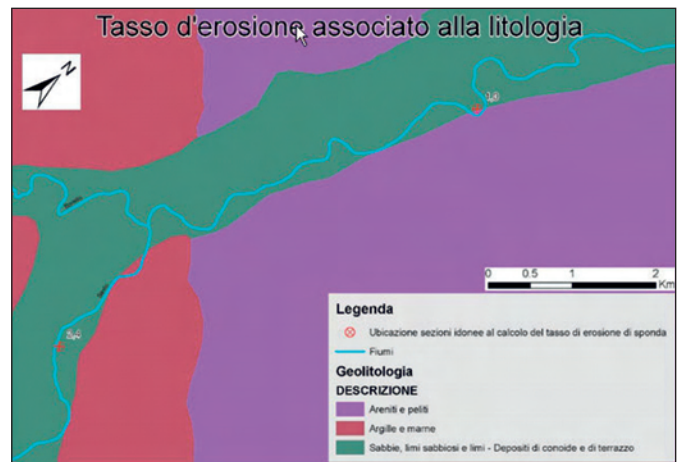


Figura 6a, b, c: tassi di erosione

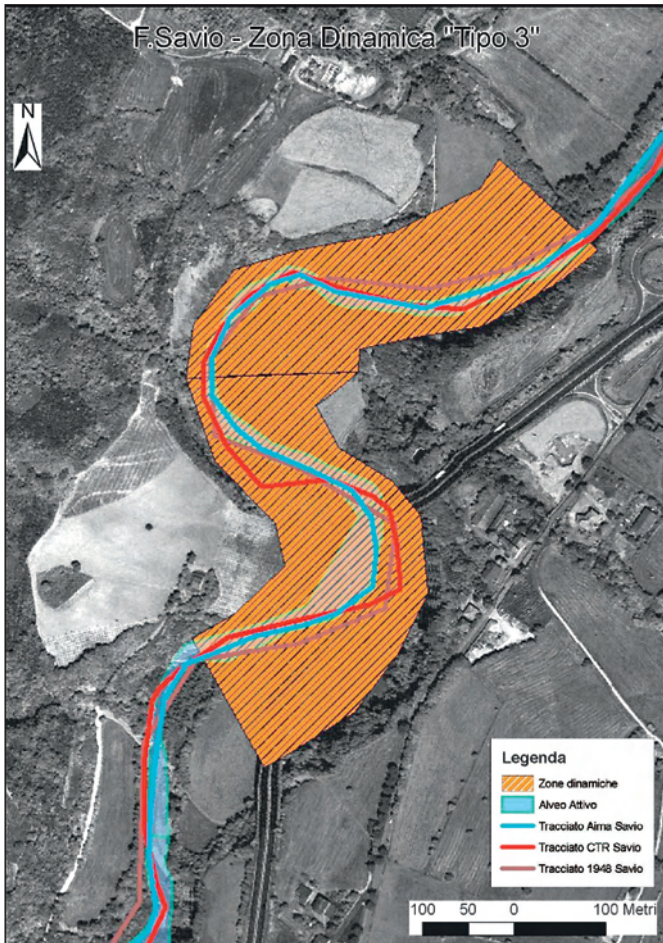


Figura 7: erosione di meandro del F. Savio

I singoli valori massimi di erosione invece sono invece stati misurati sul fiume Savio (2,40 metri/anno circa), Bidente (2,20 metri/anno circa) e Ronco (2,20 metri/anno circa), sempre in sabbie, limi sabbiosi e limi riconducibili a depositi di conoide.

4. CAMPAGNA DI RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO E CARATTERISTICHE DELL'ALVEO

Nel periodo compreso tra l'Ottobre e il Dicembre 2006 è stato effettuato un rilevamento geomorfologico di campo, al fine di descrivere e classificare le attuali morfologie dell'alveo e definire i processi dominanti.

Per la descrizione e la classificazione delle forme e dei processi sono state utilizzate apposite schede di rilevamento geomorfologico, in modo da ottenere una raccolta sistematica ed omogenea di informazioni, corredate da documentazione fotografica esemplificativa dei siti di rilevamento.

Contemporaneamente alla fase di rilevamento geomorfologico, è stata condotta un'indagine granulometrica finalizzata alla caratterizzazione e allo studio della variabilità in senso spaziale (da monte verso valle) dei sedimenti presenti in alveo.

Nella campagna di rilievi sono stati effettuati campiona-

menti di tipo superficiale seguendo la metodologia di campionamento con griglia: questo ha reso possibile una chiara interpretazione delle classi granulometriche ghiaiose; nel graficare il dato acquisito si è scelto di adottare come riferimento la scala granulometrica di Udden-Wentworth e Krumbein (1934) e distinguere una percentuale fine ($< 2 \text{ mm}$ o $< -1 \phi$), da una di dimensioni intermedie ($2 - 64 \text{ mm}$ o $-1 < \phi < -6$, corrispondenti ai granuli - ciottolotti), per finire con ciottoli e blocchi ($> 64 \text{ mm}$ o $> -6 \phi$) (Fig.8).

E' stato considerato nell'analisi come diametro minimo il limite sabbia - ghiaia, in quanto è risultato improprio distinguere nelle griglie elaborate anche frazioni più fini. Tale approssimazione è riconducibile alla massima riso-

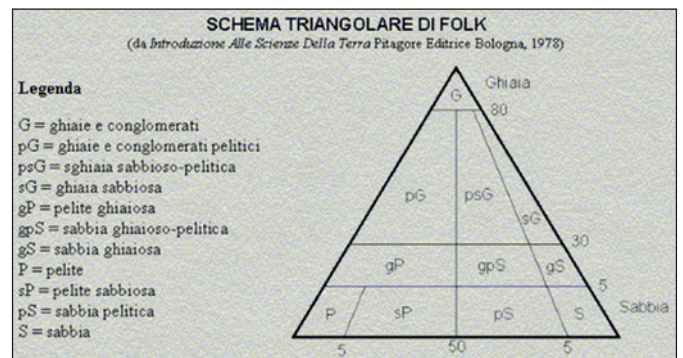
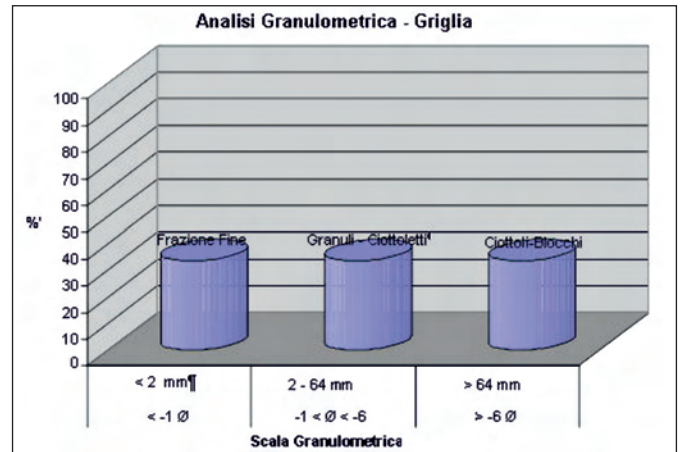
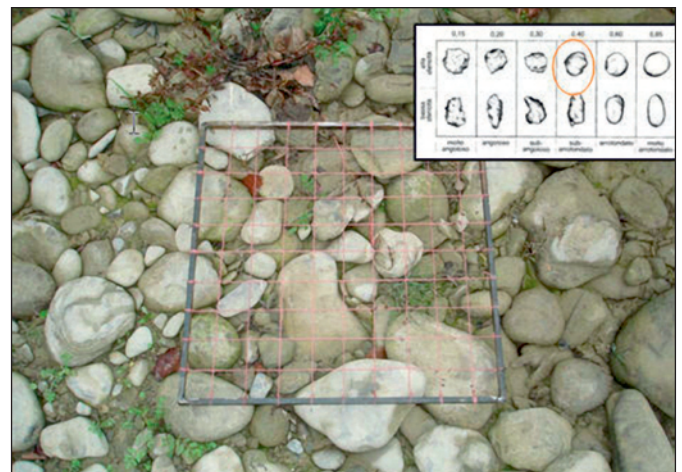


Figura 8a, b, c : dettaglio sulla metodologia di campionamento

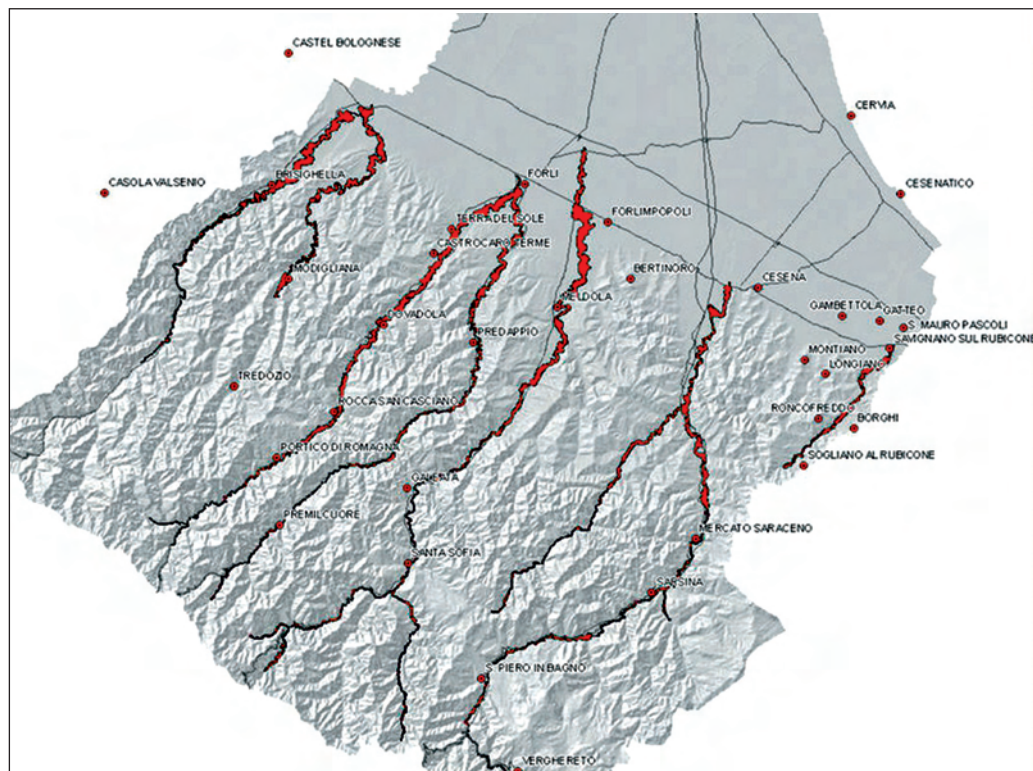


Figura 9: vista generale della Fascia di Mobilità Funzionale

luzione possibile nell'analisi del materiale fotografico acquisito.

Al fine di rendere l'analisi accurata si è ricorsi all'uso di comparatori visivi e alla sensibilità del rilevatore per la stima della frazione fine.

Tutte le analisi granulometriche sono state implementate dall'analisi della morfometria, analizzando gli aspetti geometrici della forma degli elementi clastici; il grado di arrotondamento di un granulo dipende dalle sue dimensioni e caratteristiche fisiche, dalla durata e dalle condizioni idrodinamiche del trasporto e infine dal clima.

Per permettere l'acquisizione di tale dato di norma si ricorre a carte di comparazione visiva.

5. DEFINIZIONE DI AREE FLUVIALI DI RISPETTO GEOMORFOLOGICO-IDRAULICO (FASCIA DI MOBILITÀ FUNZIONALE E CARTA DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO-IDRAULICO)

Lo scopo è stato quello di fornire elementi utili ad orientare la definizione dell'assetto dei fiumi romagnoli e del territorio limitrofo che sia più sostenibile dal punto di vista ambientale, socio-economico ed economico-finanziario, fornendo uno strumento utile all'amministrazione pubblica per pianificare al meglio i futuri interventi e la gestione delle opere esistenti.

L'introduzione della Fascia di Mobilità Funzionale è conseguenza di una visione dinamica dei fiumi, nella quale, dove possibile, si lascia che l'ambiente naturale si gene-

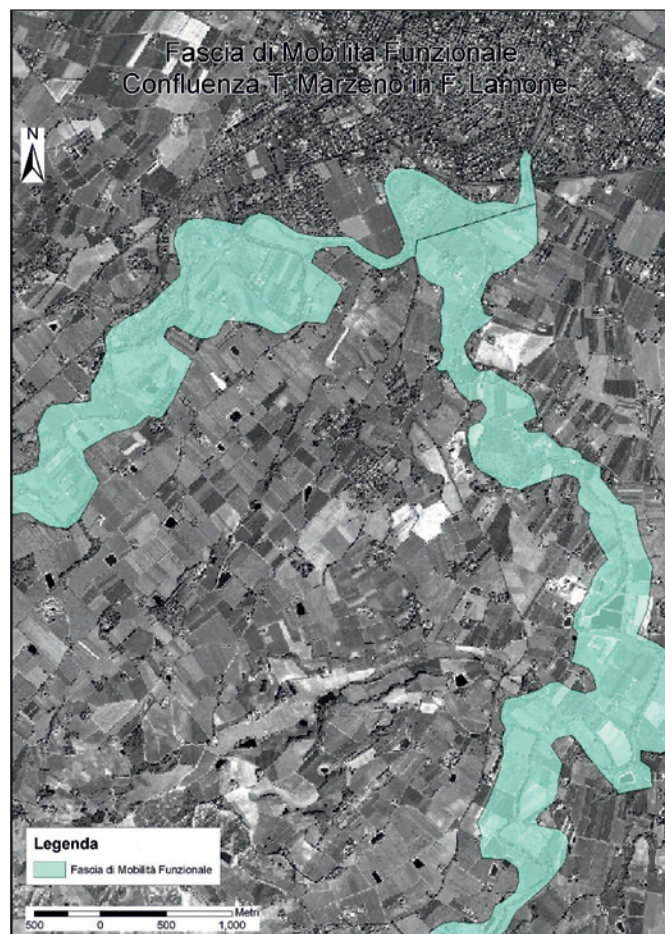


Figura 10: Fascia di Mobilità Funzionale all'immissione del T. Marzeno nel F. Lamone

ri e rigeneri spontaneamente, secondo dinamiche sue proprie; si punta perciò a “dare spazio ai corsi d’acqua”, contenendo i rischi e i costi attraverso una oculata pianificazione, delimitando e separando gli usi concorrenti del territorio.

L’analisi geomorfologica descritta nei paragrafi precedenti è risultata fondamentale per acquisire, elaborare e restituire peculiarità insite nella dinamica dei fiumi romagnoli: disporre infatti di un accurato e completo database dedicato alla morfologia fluviale in periodi storici differenti si è rilevato uno strumento importante per gli obiettivi del presente studio.

L’esatta posizione degli alvei fluviali in questione in diversi anni, dalla prima metà del ’900 al 2003 correlata da un’indagine qualitativa degli stessi risalente addirittura ai primi anni del 1800, non si è rivelata di per se soddisfacente per la definizione della Fascia di Mobilità Funzionale.

Sono stati quindi introdotti nello studio altri elementi di base, quali il *Digital Elevation Model (DEM)* del territorio interessato. Nel medesimo progetto G.I.S. sono stati immessi ulteriori *shapefiles* rappresentanti tutte le aree allagabili durante gli eventi di piena con tempo di ritorno di 200 anni, derivate da un accurato studio precedentemente condotto dall’ABRR.

L’analisi esclude tutti i tratti di corso d’acqua situati a nord della Via Emilia, in quanto ormai da decenni soggetti ad intensi interventi di regimazione idraulica (Fig.9). Considerando le superfici interessate dalle piene con tempi di ritorno di 200 anni, le massime divagazioni fluviali registrate negli ultimi due secoli e rapportando ogni interpretazione alle quote locali tramite foto aeree, immagini satellitari ad alta definizione e modelli digitali del terreno, sono stati tracciati i confini dell’area di competenza fluviale; questi ultimi, pur essendo provvisti di una elevata precisione insita nel trattamento dei dati, necessitano di un controllo sul campo per la verifica dell’esatto posizionamento dei limiti.

Va inoltre precisato che tale fascia include tutti i corsi d’acqua oggetto del presente studio, non considerando perciò gli affluenti secondari che costituiscono il reticolo idrografico romagnolo.

Poter disporre di una dettagliata cartografia digitale dell’uso del suolo e riportando ad essa alcuni degli elaborati precedenti, ha consentito di evidenziare e differenziare porzioni di territorio maggiormente sensibili alla dinamica fluviale; in altri termini, è stato possibile introdurre e redigere una vera e propria Carta del rischio geomorfologico idraulico (Fig.11).

Per comprenderla al meglio, è necessario introdurre la definizione di rischio (UNESCO):

$$R = H \cdot E \cdot V$$

RISCHIO (*total risk R*): atteso numero di perdite in conseguenza di un particolare fenomeno naturale.

PERICOLOSITA' (*hazard H*): la probabilità che un fenomeno

potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato tempo e in una determinata area.

ELEMENTI A RISCHIO (E): popolazioni, proprietà, attività economiche a rischio in una determinata area.

VULNERABILITA' (V): grado di perdita prodotto su un certo elemento esposto a rischio risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una certa intensità.

Nello specifico, la pericolosità è definita dalla Fascia di Mobilità Funzionale associata alle Zone Dinamiche, mentre proprio le informazioni riguardanti l’uso del suolo sintetizzano gli elementi a rischio di ogni diversa porzione di territorio (E=1 corrisponde a zone naturali/incolte; E=2 identifica porzioni di suolo destinate all’attività agricola; E=3 è attribuito alle zone urbanizzate).

Il coefficiente V viene posto uguale ad uno in quanto è presupponibile, data la scala di analisi, la stessa risposta degli elementi a rischio alla dinamica fluviale.

Una volta calcolato il rischio lo si è normalizzato al fine di ottenere due distinte classi (rischio alto - basso), a loro volta suddivise in sottoclassi (rischio 1, 2, 3 - 4, 5, 6) (Fig.11).

L’importanza del risultato ottenuto è esemplificato negli stralci di Carta del rischio geomorfologico-idraulico riportati di seguito (Fig.11).

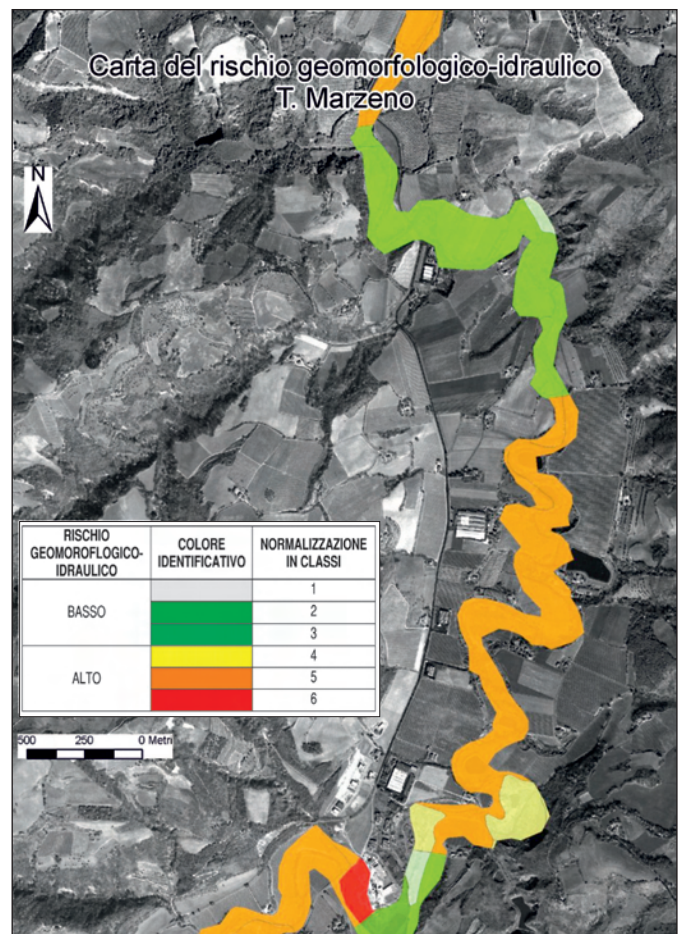


Figura 11: Suddivisione in classi del rischio geomorfologico-idraulico, ed esempio di cartografia in un tratto del F. Marzeno

6. CONCLUSIONI

L'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua naturali è un indicatore basilare per comprendere le dinamiche legate al trasporto solido, alla capacità di divagazione del corso d'acqua, all'erosione di fondo e, indirettamente, all'evoluzione geomorfologica dei versanti e della costa.

Lo studio condotto ha avuto come obiettivo di apprendere i processi che regolano i geoequilibri dei bacini regionali romagnoli; nello specifico, sono stati considerati, tra i fiumi delle province di Ravenna e Forlì – Cesena, il F. Lamone, il T. Marzeno, il F. Montone, il F. Bidente – Ronco, il F. Savio, il T. Borello, il T. Fanante e il F. Rubicone. Le stesse conoscenze sono di fondamentale importanza per avviare una corretta e consapevole politica di gestione del territorio.

Le elaborazioni condotte hanno consentito di identificare varie morfologie fluviali, tramite rilevamento geomorfologico indiretto (prevalentemente immagini satellitari ad alta definizione QuickBird) e diretto (rilievi di campagna), e di redigere una dettagliata cartografia geomorfologica d'alveo.

Sono state definite le diverse parti dell'alveo stesso: limite dell'alveo attivo, percorso, sezioni di riferimento, opere idrauliche presenti e barre. Queste ultime sono state suddivise in base alla tipologia in relazione al tipo di ambiente fluviale (longitudinale, laterale, di meandro) ed allo stato di copertura vegetale (nuda, vegetata, arborata). Nello studio condotto, attraverso analisi tessiturali dei sedimenti dell'alveo, sono stati quindi identificati e cartografati, oltre agli elementi propri del sistema morfogenetico fluviale, i sedimenti potenzialmente mobilizzabili di ogni corso d'acqua ed i vari processi geomorfologici in atto al momento delle indagini. La risoluzione massima della carta geomorfologica d'alveo prodotta si attesta attorno alla scala 1:5.000, e copre totalmente i fiumi regionali romagnoli per una lunghezza di 435 km.

Successivamente è stata realizzata un'analisi comparata dell'evoluzione temporale delle aste fluviali con l'utilizzo di cartografie pregresse e foto aeree. L'analisi è iniziata con l'individuazione e la digitalizzazione degli assi fluviali da carte IGM. L'analisi quantitativa dell'evoluzione morfologica si estende per un lasso di tempo notevole dato che alcune di queste carte IGM, in scala 1:25.000, risalgono alle annate 1928-1929. Per altre porzioni di fiume sono state ricavate informazioni risalenti al 1934, al 1937 e, infine, al 1948.

Lo stesso procedimento di elaborazione delle immagini è stato poi adottato per le Carte Tecniche Regionali 1:5.000 risalenti al 1975-1976 (la scala estremamente particolareggiata di queste ha permesso una restituzione completa dei dati) e per le foto restituite dai voli AIMA RER del 1996.

La disamina è stata poi integrata con l'analisi qualitativa delle variazioni morfologiche più rilevanti desunte da cartografia storica pregeodetica (Catasto austriaco 1820-1840). Queste, pur non essendo fornite di una corretta georeferenziazione, estendono l'analisi temporale a poco meno di due secoli, lasso di tempo paragonabile agli studi idraulici dei tempi di ritorno.

Il materiale reperibile per lo studio ha reso possibile l'analisi

dei trend evolutivi per l'intera lunghezza di ogni alveo considerato.

Più in particolare, la sovrapposizione temporale degli assi fluviali ha permesso l'individuazione di tratti in cui l'evoluzione risulta particolarmente importante (Zone Dinamiche) perchè includono porzioni di fiume sottoposte a evidenti processi erosivi/deposizionali verificatesi negli ultimi sessanta anni, anche se i limiti delle aree non presentano un'elevata precisione.

L'esame delle aree fluviali a maggiore dinamicità è poi proseguito con la stima delle velocità d'erosione.

Il dato, espresso in metri/anno, non vuole essere un riferimento statistico medio di ogni di diversione cartografata, ma un valido riferimento sui massimi tassi d'erosione verificatisi nei corsi d'acqua naturali solcanti il territorio romagnolo.

I dati ottenuti sono stati poi riferiti alle proprietà litologiche di ciascuna delle formazioni attraversate dai fiumi, prevedendo velocità d'erosione direttamente proporzionali alla resistenza al flusso delle formazioni.

La medesima previsione si è dimostrata attendibile in tutti quei casi in cui i fenomeni erosivi si esplicano direttamente sulle litologie affioranti, mentre valori anomali sono riscontrati dove l'erosione ha interessato i terrazzi fluviali.

I maggiori valori medi sono stati misurati nel tratto più a monte del F. Ronco (2 metri/anno circa) e nel T. Fanante (1,55 metri/anno circa) in corrispondenza di limi e limi sabbiosi di conoide, mentre i minori si registrano nel F. Lamone e nel suo affluente principale, con spostamenti medi massimi dell'ordine 0,80 metri/anno. I valori sono giustificati dalla presenza, lungo il loro tracciato, di depositi ghiaiosi e sabbiosi.

Infine i valori massimi di erosione invece sono stati determinati sul fiume Savio (2,40 metri/anno circa), Bidente (2,20 metri/anno circa) e Ronco (2,20 metri/anno circa).

Al fine di completare lo studio geomorfologico e considerare, oltre alle coordinate planimetriche X e Y, l'altimetria Z è stato introdotto nel sistema informativo territoriale il dataset DEM. L'integrazione tra i dati di tipo vettoriale elaborati e descritti nella precedente discussione ed il DEM della porzione di territorio amministrata dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli ha permesso l'estrapolazione e l'analisi altimetrica di ciascuna delle aste fluviali.

I profili altimetrici realizzati hanno permesso d'evidenziare i dislivelli e le pendenze che, congiuntamente ad altre informazioni, hanno permesso la suddivisione di ciascun fiume in tratti omogenei.

Per realizzare un quadro conoscitivo diretto delle caratteristiche dell'alveo è stata effettuata una campagna di rilevamento geomorfologico. Essa ha consentito di descrivere e classificare le attuali morfologie dell'alveo nei vari tratti e definire i processi dominanti.

Durante i rilievi sono state condotte misure granulometriche speditive (metodo della griglia) per la caratterizzazione e lo studio della variabilità in senso spaziale (da monte verso valle) dei sedimenti presenti in alveo. Nella scelta dei 95 punti di campionamento sono stati prediletti tratti d'alveo

non intensamente sottoposti a regimazione idraulica, attribuendo maggior peso a quei tratti caratterizzati da intensi processi erosivi/deposizionali, o laddove l'interpretazione delle foto aeree e delle immagini satellitari fosse risultata incerta.

Lo studio in oggetto ha permesso di documentare e ricostruire, attraverso il materiale disponibile (cartografie, foto aeree, rilievi topografici), la morfologia dei fiumi romagnoli nel passato (nella prima metà del '900), di identificare come si è modificata nel tempo e d'avanzare ipotesi sulle cause di tali variazioni. La ricerca ha evidenziato come i fiumi in questione sono profondamente cambiati nell'ultimo sessantennio.

Ciò pone in rilievo la necessità di una definizione, su base geomorfologica e idraulica, di un corridoio entro il quale i fiumi, gestiti dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, possano divagare (Fascia di Mobilità Funzionale). La perimetrazione di questa fascia di riassetto fluviale contribuirebbe alla sicurezza idraulica delle aree esterne e alla salvaguardia delle componenti naturali dell'ambiente all'interno della fascia stessa.

A tal fine sono stati tracciati i confini dell'area di competenza fluviale che, pur essendo provvisti di una elevata precisione insita nel trattamento dei dati, necessitano di un ulteriore controllo sul campo per la verifica dell'esatto posizionamento.

Il prodotto davvero essenziale, in termini di pianificazione territoriale, è stato ottenuto dal confronto della Fascia di Mobilità Funzionale, conservante anche tutte le caratteristiche delle porzioni d'alveo a maggiore dinamicità, con le informazioni concernenti la destinazione finale del territorio (cartografia dell'uso del suolo). Ciò ha consentito di produrre una Carta del rischio geomorfologico – idraulico, ricorrendo al procedimento suggerito dall'UNESCO ($R = H E V$).

Nello specifico, la pericolosità (H) è stata definita dalla Fascia di Mobilità Funzionale associata alle Zone Dinamiche, mentre gli elementi a rischio (E) sono stati desunti dalle informazioni riguardanti l'uso del suolo. Al parametro V, indistinguibile a tale scala, è stato associato il valore 1.

Al fine di definire diverse categorie di elementi a rischio, vengono attribuite alle zone urbanizzate $E = 3$, alle porzioni di suolo destinate all'attività agricola $E = 2$, per concludere con zone naturali/incolte ($E=1$).

Una volta calcolato il rischio lo si è normalizzato per ottenere sei distinte classi. Ad esempio nella classe "1" sono incluse tutte le porzioni perifluviali non ricadenti all'interno delle Zone Dinamiche e in cui il suolo sia incolto o allo stato naturale; al contrario, sono incluse nella classe "6" tutte le porzioni di territorio urbanizzate ricadenti all'interno delle Zone Dinamiche.

Lo studio propone inoltre la realizzazione di una attività di monitoraggio che consenta di osservare l'evoluzione del territorio, di aggiornare le priorità degli interventi sullo stesso e di prevedere i loro sul territorio. Il monitoraggio dovrà consentire di migliorare le attuali conoscenze da un lato per meglio descrivere i principali fenomeni naturali ed antropici e la loro evoluzione e dall'altro individuare i vincoli da porre agli usi del territorio e delle risorse.

L'attività di monitoraggio, che dovrà essere svolta

dall'Autorità di Bacino, dovrà promuovere ed attivare un sistema efficiente ed efficace di condivisione delle informazioni tra i vari Enti pubblici e Soggetti che operano nel territorio e, nel contempo, sviluppare sistemi informativi integrati su temi di interesse per la pianificazione di bacino.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dott. Stenio Naldi Segretario dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli e il Presidente Mario Luigi Bruschini, Assessore Regionale alla SICUREZZA TERRITORIALE, DIFESA DEL SUOLO E DELLA COSTA, PROTEZIONE CIVILE, che ha finanziato lo studio presentato nell'articolo.

7. BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Asioli A., Bondesan M., Cibin U., Colalongo M. L., Correggiari A., Pasini G., Preti D., Roveri M., Sarti G., Severi P., Stefani M., Trincardi F., Vaiani S. C. e Vincenzi S. (1999) - *Dalle conoidi Pedemontane al mare aperto: l'architettura stratigrafica tardo quaternaria dell'Adriatico settentrionale e della pianura costiera Emiliana romagnola*. Atti del Convegno: Le Pianure, Ferrara 8-11 novembre 1999.
- Church M. A. (1992) - *Channel Morphology and Typology*. The rivers handbook vol. 1. Oxford, 126-143.
- Cooke R.U. e Dornkamp J.C. (1990) - *Geomorfology in environmental management*. Clarendon Press, London, pp. 410
- Kellerhals R. e Bray D.I. (1971) - *Sampling procedures for coarse fluvial sediments*. Proc. ASCE, Journal of Hydraulics Division, 97: 1165 - 1179
- Meunier M. e Carion C. (1987) - *Étude méthodologique de la détermination des courbes granulométriques des lits des cours d'eau*. Cemagref, Groupement de Grenoble, Division Protection contre les erosions
- Nardini A. (2005) - *Studio propedeutico a un piano partecipato di gestione e di intervento sostenibile per la zona fluviale del T. Gesso tra Borgo San Dalmazzo, Boves e Cuneo*. Atti del convegno: Torrente Gesso: idee per una gestione sostenibile. 24 Giugno 2005, Cuneo
- Rinaldi M. (2005) - *La prospettiva geomorfologica e le applicazioni nella gestione degli alvei fluviali*. Atti del convegno: Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra. 24 - 25 Ottobre 2006, Sarzana (SP).
- Rinaldi M. e Simoncini C. (2005) - *Studio geomorfologico del fiume Magra e del fiume Vara finalizzato alla gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità*. Atti del convegno: Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra. 24 - 25 Ottobre 2006, Sarzana (SP).
- Sestini G. (1992) - *Implications of climatic changes for the Po delta and Venice Lagoon*. Climatic Change and the Mediterranean, 429-490. Arnold, Sevenoaks, U.K.
- Stefani M. e Vincenzi S. (2005) - *The interplay of eustasy, climate and human activity in the late Quaternary depositional evolution and sedimentary architecture of the Po Delta system*. Marine Geology 222-223: 19 - 48
- www.protezionecivile.it
- www.igmi.org
- www.adbpo.it
- www.regione.emilia-romagna.it/baciniromagnoli