

Geologia e Geomatica a supporto delle scelte di pianificazione: il riconoscimento degli argini naturali di un corso d'acqua

Maria Teresa Melis (*), Elisabella Danila Patta (**), Francesco Dessi (*),
Antonio Funedda (***), Luisa Manigas (****)

(*) Lab. TeleGIS, Università di Cagliari, Via Trentino 51, 09027 Cagliari – tel. +39 070 6757788, telegis@unica.it

(**) Geologo, Libero professionista, edpatta@tiscali.it

(***) Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche, Università di Cagliari, Via Trentino 51, 09027 Cagliari,
afunedda@unica.it

(****) Direzione Generale della Pianificazione, Assessorato EE., LL., Finanze e Urbanistica, RAS,
Imanigas@regione.sardegna.it

Riassunto

Il lavoro presenta l'applicazione di una nuova metodologia di analisi geomorfologica per il riconoscimento delle forme che definiscono l'alveo dei corsi d'acqua. La proposta intende rispondere all'esigenza normativa di tutelare i corsi d'acqua come prevede l'art 142, comma 1, lettera c del D. Lgs 42/2004, Codice dei beni culturali e del paesaggio, che recepisce la legislazione di tutela già esistente e da cui si rileva che sono sottoposti a tutela “i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua... e le relative sponde per una fascia di 150 metri ciascuna”. Questa fascia è cartografabile in modo semplice laddove il corso d'acqua è contenuto tra argini artificiali, dalla cui base esterna vengono calcolati i 150 metri. Se invece l'alveo è naturale le sue sponde non sono riconoscibili dalla sola cartografia topografica, ma esse devono essere individuate con un approccio geologico in senso lato. Nell'ambito del progetto comunitario RES-MAR (*Reseau pour l'environnement dans l'espace Maritime*), Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia “Marittimo” 2007-2013, il Dipartimento di Scienze chimiche e geologiche dell'Università di Cagliari, sulla base di un accordo di collaborazione scientifica con la Direzione Generale dell'Urbanistica della Regione Sardegna, ha studiato la problematica cartografica con un approccio che mette in relazione le morfologie elaborate su base geomorfometrica, una serie di fotografie aeree e di cartografie storiche e il rilevamento di dettaglio delle componenti geologiche.

La caratterizzazione geologica delle forme e il loro riconoscimento in un modello GIS permettono di associare i concetti di portata, e quindi di fenomenologia climatica legata alle precipitazioni (approccio strettamente idraulico), a quelli legati alla natura litologica, granulometrica e morfologica del letto del corso d'acqua e quindi alla sua peculiarità nei diversi contesti geologici.

Abstract

*The paper presents the application of a new methodology for geomorphological analysis for the recognition of shapes that define the bed of watercourses. The proposal addresses the need legislation to protect the watercourses as Article 142, paragraph 1, letter c of D. Decree 42/2004, Code of Cultural Heritage and Landscape, which incorporates protection legislation already exists and where it is revealed that "rivers, streams, rivers ... and their banks for a range of 150 meters each" are subject to protection. This shape is mapped in a simple way when the water course is contained between artificial embankments, from whose external base 150 meters are calculated. If the bed is natural, its banks are not already recognizable only by the topographical map, but they must be identified by a geological approach in a broad sense. As part of the European project RES-MAR (*Reseau pour l'environnement dans l'espace Maritime*), Cross-border Cooperation Programme Italy-France "Maritime" for 2007-2013, the Department of Chemical Sciences and*

geological of the University of Cagliari, on the the basis of a scientific cooperation agreement with the General Directorate of Land Planning of Sardinia Region, studied the mapping problem with an approach that brings together the morphologies developed on the geomorphometric basis, a series of aerial photographs and historical maps and a detailed geological survey. The geological characterization of the morphologies and their recognition in a GIS model allow to associate the concepts of water flow and therefore climatic phenomena related to precipitation (hydraulic closely approach) to those related to the lithological nature, particle size and morphology of the bed and therefore its peculiarity in different geological contexts.

Introduzione

Il Piano Paesaggistico Regionale (PPR) della Sardegna, in attuazione del Decreto legislativo 22.01.2004 n° 42, G.U. 24.02.2004, Codice dei beni culturali e dell'ambiente (Codice Urbani) - Parte III - Beni paesaggistici, riconosce ai fiumi e torrenti un valore paesaggistico come sistemi naturali sui quali porre particolare attenzione e instaurare azioni di tutela. Pertanto, ai sensi dell'art. 17, comma 3 del PPR sono sottoposti a tutela: "I fiumi, i torrenti e i corsi d'acqua e relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna...". In base a questa norma è di particolare interesse definire in modo univoco la metodologia da adottare per il riconoscimento degli argini naturali che costituiranno il limite da cui calcolare la fascia di rispetto. Questo lavoro presenta lo studio dell'alveo del Rio San Girolamo, un piccolo bacino idrografico della Sardegna meridionale, dove si verificano eventi alluvionali di forte entità, molto concentrati nel tempo e ripetuti negli anni (Figura 1). Lo studio parte dalla considerazione che il riconoscimento delle forme che limitano l'azione delle acque fluviali non è legato al solo rilievo topografico ma deriva dalla sintesi delle componenti di tipo geologico (litologico, geomorfologico, sedimentologico e idrologico), che permette di individuare il "sistema corso d'acqua" nel suo complesso. Lo studio è iniziato come attività specifica del Progetto RES-MAR (Reseau pour l'environnement dans l'espace Maritime), Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia "Marittimo" 2007-2013) ma i suoi risultati sono diventati di interesse più ampio in termini paesaggistici con una proposta metodologica che si allinea alla necessità di definire in modo "oggettivo", estendibile anche agli altri corsi d'acqua tutelati e alla scala adeguata la fascia dei 150 metri, riconosciuta di interesse paesaggistico.

Superficie 2D	15,12 km ²
Superficie 3D (al di sopra della quota 0 slm)	24,20 km ²
Quota max slm	734,22 m
Quota media slm	233,52 m
Deviazione standard	171,95
Quota sezione di chiusura Rio San Girolamo slm	0,13 m

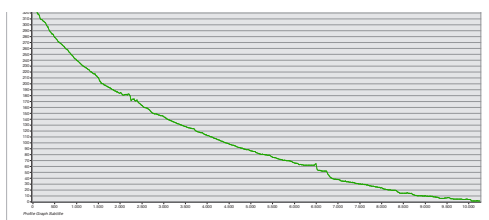


Figura 1. Caratteristiche fisiografiche del bacino del Rio San Girolamo, profilo longitudinale del corso d'acqua e localizzazione geografica.

Morfologia fluviale

La morfologia di un corso d'acqua è legata ai fenomeni di scorrimento delle acque e dei sedimenti di diversa natura e dimensione, presi in carico. Pertanto il riconoscimento delle forme che lo caratterizzano è legato alla comprensione delle azioni che determinano le variazioni sia in senso planimetrico sia altimetrico e che possono essere rilevate con strumenti di rilevamento sul campo e di telerilevamento. Lo studio dei processi di evoluzione di un sistema fluviale permette di tracciare le caratteristiche morfologiche e in particolare di definire a livello planimetrico le sue sponde naturali. Queste non sono sempre riconoscibili in modo netto poiché le esondazioni e le divagazioni dei canali fanno sentire l'influenza delle acque e dei sedimenti trasportati anche per aree molto vaste (Castiglioni, 1986).

La scala temporale di osservazione e le variazioni di tracciato

La scala temporale delle osservazioni deve permettere di ricostruire i processi che creano le morfologie dell'alveo. L'alveo subisce modificazioni molto veloci in seguito ad eventi eccezionali, ma anche molto lente rispondendo ai fenomeni tipici del regime ordinario che, perdurando per lungo tempo, sono spesso indicativi del comportamento del sistema fluviale nel passato. Il riconoscimento di questi fenomeni permette la comprensione delle tendenze evolutive e delle loro cause e consente di ricostruire con maggior dettaglio le forme e le relative fasce di pertinenza (Figura 2).

Alla scala di bacino possono essere valutate le variazioni che avvengono in tempi lunghi, alla scala geologica, causate da mutamenti climatici e strutturali climatici e strutturali, che determinano le modificazioni della rete idrografica nel suo complesso. Nell'ambito di studio del sistema alveo – pianura alluvionale possono essere lette le variazioni che avvengono in tempi storici e che riguardano gli aspetti geomorfologici dell'alveo quali il cambiamento del tracciato, della sinuosità o della pendenza.

Alla scala di dettaglio, dove l'ambito di studio è la sola morfologia dell'alveo vengono evidenziate quelle trasformazioni che avvengono in tempi molto brevi e riguardano le barre e le sponde, la variabilità delle portate liquide e solide e che seguito sono connesse ad eventi particolarmente intensi e improvvisi. Queste ultime modificazioni, per la loro velocità sono anche quelle che incidono in modo molto più evidente sull'ambiente.

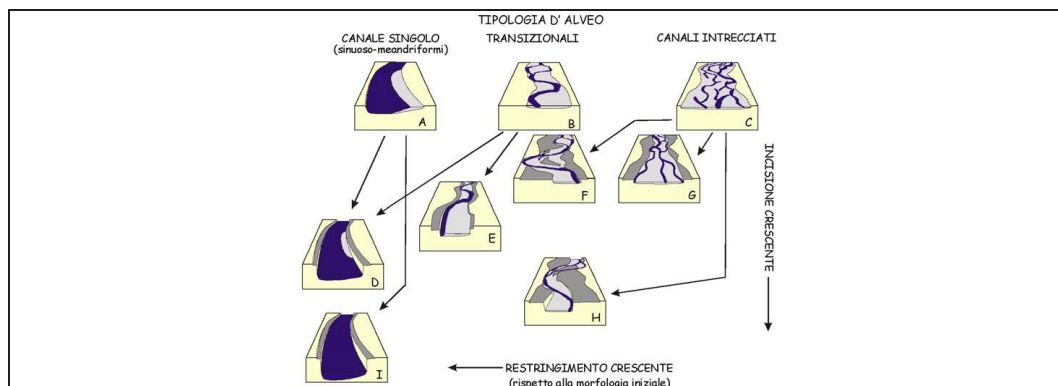


Figura 2. Schema di classificazione di alvei fluviali italiani in funzione del tipo di variazione morfologica (Surian & Rinaldi, 2003).

Si distingue un'evoluzione a lungo termine, riconoscibile con osservazioni ripetute a distanza di anni e attraverso il rilevamento dei depositi, e un'evoluzione continua che riguarda le variazioni della forma del letto, che si manifestano con lo spostamento del filo della corrente, con l'alternarsi dei periodi di piena e di magra, con episodi di erosione alternati a deposito.

Le modifiche delle morfologie d'alveo possono essere dovute sia a cause naturali, quali modifiche del regime climatico, variazioni tettoniche, variazioni di livello di base sia a e cause legate agli interventi antropici, quali le opere di regimazione, di mitigazione, di estrazione di materiale in alveo o interventi su argini, ponti e strutture. Queste ultime sono legate ai fenomeni di urbanizzazione che hanno sempre trovato lungo i corsi d'acqua i territori più idonei per svilupparsi, ma che negli ultimi 50/100 anni non hanno avuto il riguardo dovuto verso un territorio così delicato come il corso di un fiume. Pertanto l'analisi geomorfologica di un corso d'acqua deve prevedere uno studio basato su scale temporali che variano da tempi "geologici" (anche se "brevi": 1.000 – 10.000 anni) a poche ore a seconda del processo in atto.

A livello planimetrico la migrazione di un corso d'acqua evidenze può essere testimoniata dalla presenza di paleo-alvei più o meno antichi. I paleo-alvei rimangono comunque zone di circolazione d'acqua sub superficiale, ed è per questo che possono essere rilevati tramite la foto-interpretazione come linee di umidità anomala nella piana, di "colore" diverso rispetto all'intorno.

Le variazioni verticali del profilo longitudinale determinano la formazione di terrazzi, nel caso di prevalente erosione oppure la formazione di pianie e conoidi alluvionali se prevale la sedimentazione.

Relazione tra il concetto di portata di un corso d'acqua e la sua forma

La relazione esistente tra la portata di un corso d'acqua e la sua forma può essere molto importante per comprendere meglio quali sono gli eventi cui si fa riferimento nel comprendere la dimensione dell'alveo in termini idraulici. Le definizioni che la letteratura propone sono diverse e di seguito si sintetizzano i termini attualmente condivisi e che permettono di comprendere le metodologie di analisi geologica che in questo progetto vengono applicate per l'individuazione degli argini.

È infatti importante sottolineare che i criteri di riconoscimento idraulico della forma dell'alveo sono già scritti nelle evidenze sedimentologiche e morfologiche che possono essere rilevate in campagna in modo diretto e integrate con le analisi morfometriche di bacino.

In generale si definiscono tre regimi di portata di un corso d'acqua:

- La portata di magra, la cui durata nei sistemi climatici mediterranei è piuttosto prolungata, ma la cui entità è modesta, è responsabile della geometria del letto di magra.

- La portata "a piene rive": è la massima portata che può essere contenuta all'interno dell'alveo senza che superi le sponde (Leopold et al., 1964) ovvero è quella che riempie l'alveo da riva a riva. Tale portata corrisponde all'incirca a quella avente un tempo di ritorno di 1-2 anni, in media 1,5 (piene ordinarie). A questa portata si associa il livello idrometrico ad alveo pieno.

- La portata straordinaria o eccezionale è una portata in genere accompagnata dall'inondazione dei terreni circostanti l'alveo fluviale e si manifesta associata a eventi pluviometrici eccezionali.

Ma in termini geomorfologici ci si chiede quali siano le portate più efficaci nel modellare l'alveo e pertanto deve essere introdotto il concetto di portata formativa. L'alveo, infatti, non viene modellato in modo dominante né dalle portate di magra che, seppur molto frequenti, non sono in grado di trasportare grandi quantità di sedimenti né di incidere e modificare le sponde, e tantomeno dalle portate estreme che, seppur associate ad elevato trasporto solido e capacità di erosione, sono troppo rare per poter imprimere un effetto duraturo sulla forma dell'alveo.

La portata formativa, accettato in letteratura come coincidente con il termine di portata dominante e di portata a piene rive, è quella che nell'intervallo di variabilità delle portate fluviali è responsabile della formazione della geometria della sezione trasversale. Questa definizione permette di parlare di un'unica portata liquida rappresentativa dell'intero campo di variabilità delle portate e che è la più importante nel determinare la forma e le dimensioni dell'alveo..

Dati utilizzati e geomorfometria

La geomorfometria si definisce come la scienza che studia l'analisi quantitativa della superficie terrestre (Pike et al., 2009). L'elaborazione avviene utilizzando il modello digitale di elevazione (DEM) come *input* per l'estrazione dei parametri. La quantificazione delle forme si ottiene poiché

l'analisi geomorfometrica permette di assegnare un valore definito ad ogni pixel e quindi ad ogni porzione del terreno. In questo studio è stato utilizzato il DEM NextMap con una risoluzione spaziale di 5 metri. Si tratta di un prodotto in via di realizzazione da Intermap per l'intero globo e disponibile dal 2011 anche per l'Europa occidentale. I dati vengono rilevati con un sistema di acquisizione di tipo interferometrico radar montato su aereo. Il DTM viene realizzato dal DSM mediante applicazione di un algoritmo proprietario di Intermap. La risoluzione spaziale della copertura europea è 5 metri con un errore RMSE di 2 metri o meno per le aree con forti differenze di acclività e 1 metro o meno nelle aree piane

(<http://www.intermap.com/images/handbook/producthandbook.pdf>).

I dati relativi all'area in studio appartengono ad un rilievo svolto tra l'1/12/2007 e il 18/02/2008.

I parametri morfometrici utilizzati sono quelli classificati come locali ovvero si basano sui singoli valori dei *pixel* e permettono di studiare le caratteristiche geometriche delle superfici e in particolare l'acclività e la curvatura.

L'acclività dei versanti in questo studio è stata calcolata come definito in Burrough et al. (1998) e noto come "metodo di Horn" e in particolare:

$$\text{slope_degrees} = \text{ATAN}(\sqrt{[\text{dz}/\text{dx}]^2 + [\text{dz}/\text{dy}]^2}) * 57.29578$$

ossia rappresenta la variazione della quota z nelle due direzioni x e y , in questo caso espressa in gradi.

Il sistema di classificazione della curvatura applicato in questo studio è quello che si rifà all'equazione di Zevenbergen & Thorne (1987):

$$K = (\partial^2 Z / \partial S^2) \left[1 + (\partial Z / \partial S)^2 \right]^{3/2} \quad [1]$$

dove Z è la superficie quadratica calcolata con l'equazione:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad [2]$$

i cui coefficienti sono i 9 valori di elevazione dei nodi della matrice 3×3 e S è la direzione dell'acclività massima rispetto all'angolo di massima pendenza. I valori che si ottengono sono positivi e negativi in corrispondenza rispettivamente delle forme convesse e concave.

L'elaborazione finale prevede l'applicazione del prodotto:

$$M = S \times C \quad [3]$$

dove S è la griglia dell'acclività e C quella relativa alla curvatura.

La classificazione dei valori di acclività scelta in questo studio non ha seguito un criterio rigido ovvero basato su classi di acclività fissate a priori ma si è basato su un algoritmo di tipo *unsupervised ISO cluster*, senza quindi attribuire un valore noto alle classi ma scegliendo a priori solo il loro numero, in questo lavoro 7. Questo tipo di classificazione viene proposto in letteratura per superare il problema della scala di elaborazione e di rappresentazione delle unità morfologiche, condizionate da variazioni locali di forma piuttosto che da valori noti di parametri (Iwahashi et al., 2007, Gorini, 2009). I valori di curvatura vengono riclassificati in positivi e negativi (+1 e -1). Il prodotto [3] attribuisce ad ogni *pixel* un valore compreso tra -1 e +7, per un totale di 14 valori: 7 positivi e 7 negativi con valori di acclività crescenti. I valori +1 e -1 sono stati di seguito accorpatisi in una classe 0, per mantenere un'omogeneità della classe pianeggiante.

La forma dell'alveo del Rio san Girolamo e l'elaborazione morfometrica

Il tracciato fluviale del Rio San Girolamo può essere schematicamente diviso in due tratti: il tratto a monte della diga del laghetto di Poggio dei Pini, dove prevalgono dinamiche di tipo torrentizio, parziale scorrimento dell'alveo in roccia, discreta presenza di materiale proveniente dai versanti e il tratto a valle della diga stessa dove si rileva un'evoluzione legata alle dinamiche di piana alluvionale (Figura 3).

La forma dell'alveo del Rio San Girolamo è descritta di seguito mediante confronto con le definizioni morfologiche riportate da Trevisan (1968), che nella sua analisi distingue i diversi tratti dell'alveo in funzione delle caratteristiche di forma, di processo e di costituzione litologica.

La suddivisione proposta indica i tratti in cui il corso d'acqua modifica il suo andamento in funzione delle dinamiche d'alveo e quindi delle capacità erosive, di trasporto e sedimentazione che danno luogo alle forme di deposito e di erosione che rileviamo sul terreno. Questo schema rappresenta molto bene il nostro caso in studio e pertanto viene proposto come base geomorfologica per l'interpretazione delle forme elaborate su base morfometrica.

La Figura 3 riporta la classificazione morfometrica del bacino e le tracce dei profili della valle discussi nelle Figg. 4-8.

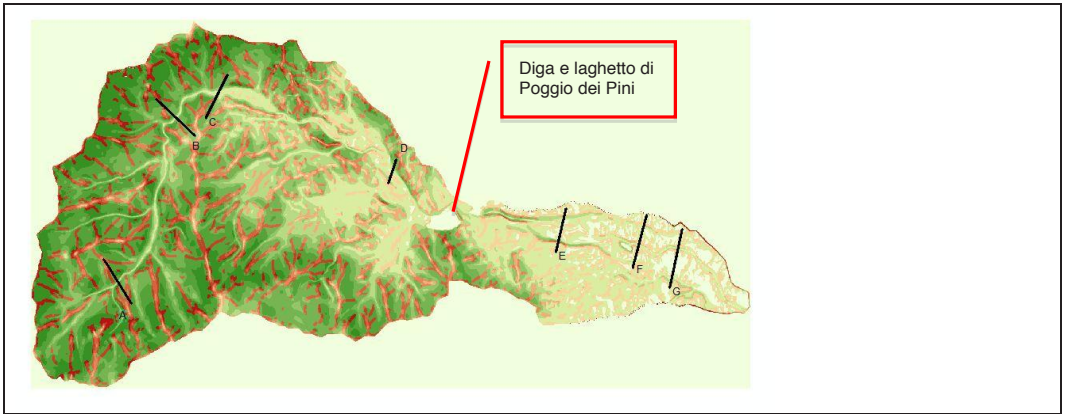


Figura 3. Elaborazione geomorfometrica del bacino in studio, in nero le tracce dei profili indicati nelle figg. 4-8. Nei toni del verde le aree concave e nei toni del rosso le aree convesse, entrambi con valori di acclività crescenti e decrescenti.

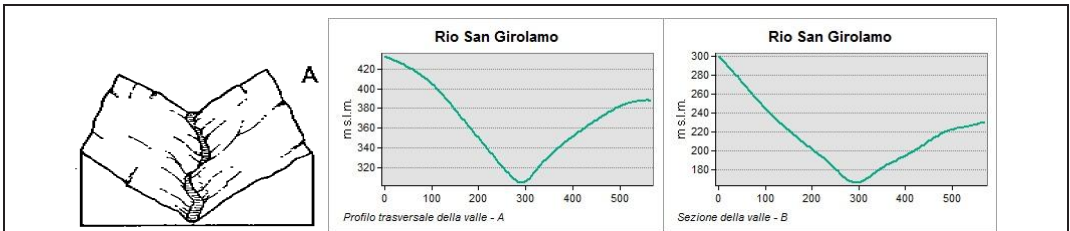


Figura 4. Tratto dell'alveo (A) della porzione più alta della valle (da Trevisan, 1968). La pendenza è significativa mentre le dimensioni sono spesso ridotte; la valle tende ad essere più profonda che larga. L'alveo può presentare alluvioni grossolane costituite da massi, ciottoli e ghiaie o essere direttamente in roccia.

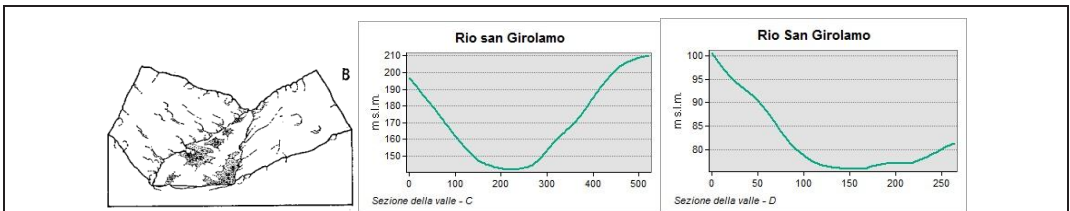


Figura 5. Alveo vallivo (B), in cui il fondo valle è più largo e la pendenza minore (da Trevisan, 1968). Il materiale alluvionale (ghiaie e ciottoli) è in quantità maggiore, vista la propensione alla deposizione. La profondità è molto minore rispetto alla larghezza.

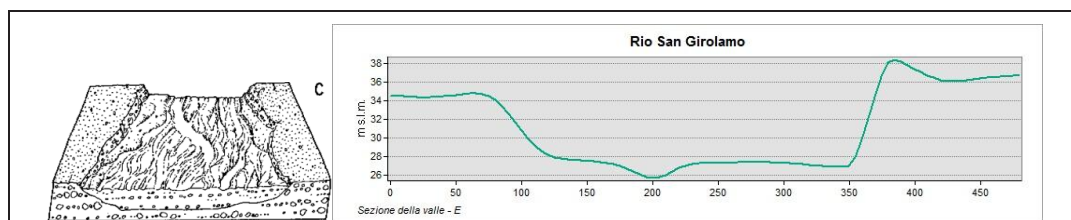


Figura 6. All'uscita della valle l'acqua è libera di scorrere all'interno di un esteso letto di alluvioni ghiaiose creando un intreccio di rami debolmente incisi e non persistenti nel tempo (C) (da Trevisan, 1968). La larghezza è molto elevata mentre la profondità dell'acqua è generalmente bassa.

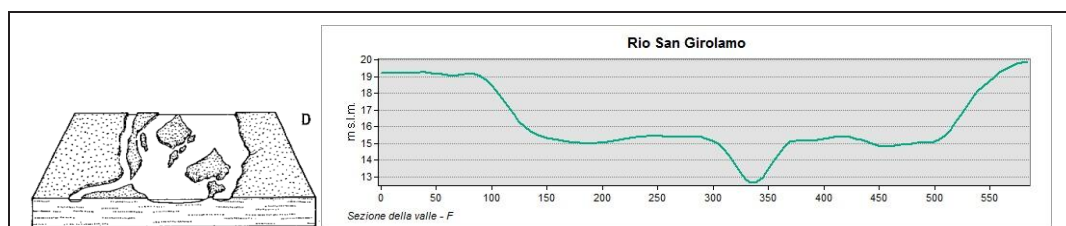


Figura 7. Situazione simile alla precedente, ma in questo caso l'alveo è costituito da materiale sabbioso dove tra i rami si presentano isole fluviali vegetate anche da specie arboree (D) (da Trevisan, 1968). La profondità inizia ad aumentare mentre diminuisce la velocità.

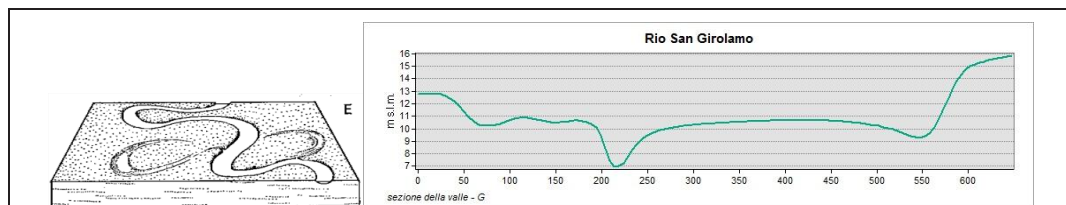


Figura 8. L'acqua è contenuta da arginature e la direzione è tortuosa (meandriforme) (E) (da Trevisan, 1968). La pendenza diminuisce ulteriormente e con essa varia la velocità dell'acqua.

Individuazione degli argini e conclusioni

Le morfologie evidenziate dall'analisi dei profili permettono di riconoscere le forme di erosione dei depositi legati alla stessa dinamica fluviale, o del substrato roccioso che sono definite terrazzi fluviali. I terrazzi che limitano le acque legate ai fenomeni di portata a piene rive o formativa rappresentano i limiti che si stanno cercando, da non confondersi con terrazzi relativi ad eventi minori e che spesso si rinvencono a quote più basse all'interno dell'alveo. Parallelamente dovranno essere riconosciuti i depositi relativi a queste fasi di vita del corso d'acqua. Pertanto l'analisi geomorfometrica deve essere accompagnata da un rilevamento geologico di dettaglio che riporti la componente geologica delle coperture quaternarie e in particolare i depositi alluvionali olocenici (Figura 9). Non è infrequente che sia fenomeni di antropizzazione che eventi relativi a portate straordinarie possano distruggere in parte le forme terrazzate legate alla portata formativa, in questi casi il riconoscimento di depositi ugualmente legati alle fenomenologie fluviali (barre ghiaiose, ecc.) o di altre forme (tratti meandriformi) permettono di riconoscere la reale estensione dell'alveo.

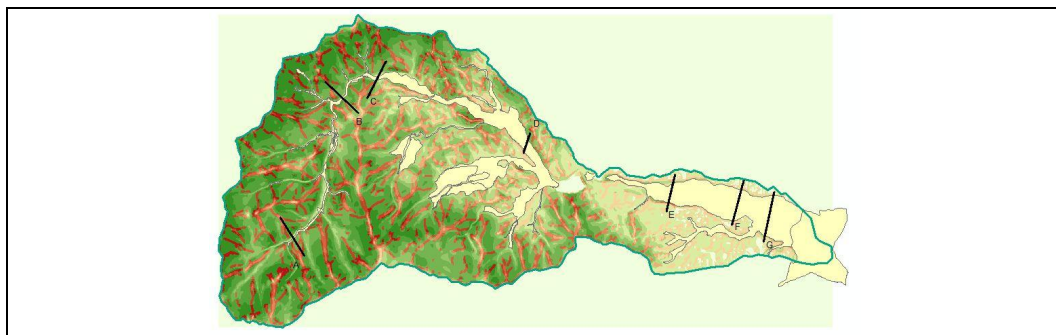


Figura 9. In giallo i depositi olocenici rilevati.

I dati vengono inseriti in un ambiente GIS e si procede con la selezione delle variabili di interesse. Vista la necessità di estrarre limiti e di utilizzarli integrati con tutti gli altri dati della cartografia tecnica, il modello raster utilizzato sino ad ora viene abbandonato per passare al modello vettoriale. La metodologia prevede di estrarre dalla carta morfometrica le aree appartenenti alle classi di concavità:

- 0: aree piane
- -1 e -2: aree concave con bassi valori di acclività.

Questi poligoni vengono uniti a quelli della litologia in modo da considerare le due variabili nello stesso livello informativo. Si ritiene pertanto che l'area di pertinenza del corso d'acqua e quindi i suoi argini naturali debbano essere delimitati con un processo che integri il limite delle coperture oloceniche (dove avviene quindi la sedimentazione) e il limite delle aree concave (dove avviene erosione e trasporto) di pertinenza, che intersecano il corso d'acqua principale. Infatti, andranno eliminate tutte le aree che includono gli affluenti (Figura 10).

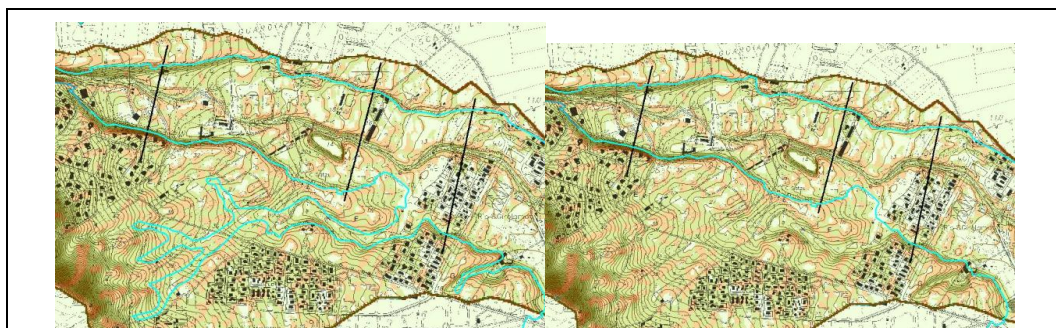


Figura 10. In verde il limite finale delle sponde e l'eliminazione delle aree non strettamente di pertinenza del Rio San Girolamo.

Il risultato ottenuto con questa metodologia permette di delimitare la fascia di pertinenza fluviale nella quale il corso d'acqua esplica la sua attuale azione di deposito di sedimenti, di erosione lungo le sponde e in alveo e di trasporto di materiale verso la costa. Il valore paesaggistico del corso d'acqua viene pertanto salvaguardato nel suo insieme così come deve essere e come la legislazione richiede.

Ringraziamenti

Questo lavoro fa parte del Progetto RESMAR: *Reseau pour l'environnement dans l'espace Maritime*), Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia "Marittimo" 2007-2013, cofinanziato con il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale.

Riferimenti bibliografici

- Burrough, P. A. and McDonell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems* (Oxford University Press, New York), p. 190.
- Castiglioni G.B., (1986). *Geomorfologia*, UTET Torino, seconda edizione, 1986, pp. 436
- Gorini M. A. V., (2009). *Physiographic Classification of the Ocean Floor: A Multi-Scale Geomorphometric Approach*. Proceedings of Geomorphometry 2009. Zurich, Switzerland, 31 August - 2 September, 2009.
- Iwahashi J, Pike R J. (2007), *Automated classifications of topography from SYMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature*, *Geomorphology* 86, pp 409–440.
- Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Courier Dover Publication, 1995.
- Pike R.J., Evans I.S., Hengl T. (2009). *Geomorphometry: A Brief Guide*. In: T. Hengl and H.I. Reuter (Ed.) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam, 227-254.
- Surian N., Rinaldi M., Pellegrini L. (2009). *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*. CLEUP, Padova
- Trevisan L. (1968). *I diversi tipi di alvei fluviali e la loro evoluzione*. Accademia Naz. Lincei, Quaderno n.112, Roma, 1968, pp.531-561
- Zevenbergen, L.W., and C.R. Thorne (1987). *Quantitative analysis of the land surface topography*. *Earth Surf. Proc. And Landf.*, 12, 47-56.