

Applicazioni GIS allo studio di un bacino idrografico: il caso del Torrente Lemme (Alpi liguri).

Ileana Balduzzi (*,**), Francesca Ferrarsi (**), Marco Firpo (**)

(*) Dip.Pro.Ve., Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano, +39 02 50316541,
Ileana.Balduzzi@unimi.it

(**) Dip.Te.Ris., Università degli Studi di Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova, +39 010 3538224,
atlante@dipteris.unige.it

Riassunto

L'utilizzo di ambienti GIS è stato recentemente applicato con successo allo studio di bacini idrografici. In particolare, in anni recenti, una serie di nuovi parametri facilmente misurabili a partire da modelli digitali del terreno ad alta risoluzione ha permesso di accelerare sia la fase di estrapolazione che quella di elaborazione di forme e strutture geologiche (Frankel, Pazzaglia, 2006). Il bacino del torrente Lemme è uno dei principali bacini idrografici drenanti il versante padano delle Alpi liguri e copre una superficie di circa 185 km²; si sviluppa in corrispondenza del passaggio dal sistema alpino a quello appenninico e rappresenta, perciò, un settore di indubbio interesse geologico e geomorfologico (Vanossi *et al.*, 1984; Crispini, Capponi, 2001).

Essendo il sistema erosivo dell'area controllato principalmente dall'incisione fluviale ed essendo inoltre a tutt'oggi ampiamente accettata dalla comunità scientifica la connessione tra le caratteristiche dei canali di incisione fluviale ed il substrato roccioso che caratterizza il settore, si è scelto di analizzare sia le caratteristiche morfometriche del reticolo idrografico che il profilo longitudinale dell'asta fluviale principale.

I risultati ottenuti hanno evidenziato l'elevato controllo strutturale sui *pattern* di drenaggio, in particolare nel settore meridionale del bacino. L'analisi del profilo longitudinale del Torrente Lemme ha inoltre permesso di evidenziare la presenza di numerose anomalie legate a contatti litologici e, allo stesso tempo, di localizzare alcuni bruschi cambi di gradiente in substrati per lo più omogenei, sintomo della forte influenza di lineamenti tettonici sull'evoluzione del canale fluviale principale.

Abstract

In the last years GIS instruments have been successfully applied to the study of drainage basins evolution. In particular some new parameters extrapolated from high-resolution digital terrain models (DTMs) allowed to accelerate the exploitation and the analysis of the geological structures (Frankel, Pazzaglia, 2006).

*The Lemme basin is one of the main drainage basins of the Ligurian Alps and it is 185 km² wide. This basin developed between the Alpine and the Apenninic chain and the connection between the structural complexity of this sector and its geomorphological asset has long been investigated (Vanossi *et al.*, 1984; Crispini and Capponi, 2001).*

Being the erosive system of the area mainly controlled by river incision and considering the connection between the characteristic of the river channels and the geological structures (today widely accepted by the international scientific community) we decided to investigate both the morphometric characteristics of the drainage basin and the channel longitudinal profile.

Results highlight the high structural control on the drainage pattern, in particular in the southern sector of the basin. The long profile analysis of Lemme river allowed to identify several anomalies (knickpoints) due to lithologic contacts and, furthermore, to localize several abrupt gradient

changing on homogeneous substrate, possibly linked to the influence of tectonic lineaments on the channel evolution.

Inquadramento dell'area

Il bacino del Torrente Lemme fa parte del versante padano delle Alpi liguri e si sviluppa, in direzione Sud-Est / Nord-Ovest, al confine tra le regioni Liguria e Piemonte; dallo spartiacque padano-ligure il Lemme scende, dopo circa 35 km di percorso, fino alla piana alessandrina dove confluisce con il Torrente Orba ad una quota di circa 130 metri s.l.m.. Il torrente mantiene una forte pendenza per i primi 10 km del suo percorso; l'alta Val Lemme risulta, pertanto, piuttosto impervia e contraddistinta da forte erosione e scarsi depositi alluvionali.

Dal punto di vista geologico l'area di studio fa parte di un settore di indubbio interesse, sia per gli svariati litotipi affioranti, sia per le strutture tettoniche che fra questi regolano i rapporti (Vanossi *et al.*, 1984; Cortesogno, Haccard, 1985; Crispini, Capponi, 2001). L'area è interessata, infatti, a Sud-Ovest da rocce appartenenti al Dominio Piemontese-Ligure ricoperte, verso Nord, da una successione sedimentaria trasgressiva di età oligocenica, riferibile al Bacino Terziario Piemontese, e tagliata a sua volta da rocce ascrivibili alla zona "Sestri-Voltaggio". Nel settore settentrionale, verso la pianura padana, il substrato è ricoperto da depositi alluvionali pliocenici (Argille di Lugagnano) e depositi alluvionali recenti (Pleistocene ed Eocene).



Figura 1 – Localizzazione del bacino del Torrente Lemme

Metodi

A partire dall'inizio degli anni Cinquanta, lo studio delle forme del paesaggio e dei processi geomorfologici, basato sino ad allora soltanto su osservazioni di tipo puramente descrittivo, ebbero un primo approccio all'uso di metodi statistico-matematici.

I recenti sistemi informatici per la ricerca e lo sviluppo, nello specifico i Sistemi Informativi Geografici (GIS), hanno fornito un nuovo rilancio agli studi applicati a fini cartografici e di analisi spaziale.

Per lo studio dei bacini idrografici da un punto di vista morfometrico, attraverso cioè le loro caratteristiche geometriche, già a partire dagli studi di Strahler (1964) sono stati individuati tre

principali gruppi di parametri: lineari, che descrivono proprietà come la lunghezza, il numero e l'ordine gerarchico dei corsi d'acqua, areali (area superficiale e descrizione della forma dei bacini) e topografici (quote, dislivelli e pendenze delle aste fluviali e dei versanti).

In questo lavoro l'attenzione è stata focalizzata in particolare sullo studio della gerarchizzazione del reticolo idrografico, caratteristica che ci permette di valutare il grado di evoluzione di un corso d'acqua, inteso come la capacità di questo ultimo di organizzarsi e disporsi in modo geometrico all'interno del suo bacino di drenaggio. I primi studi condotti nel settore portarono a presupporre che i reticoli che presentavano un alto grado di gerarchizzazione potessero essere considerati antichi e di conseguenza maturi, non considerando, però, che una tale correlazione è attuabile solo in casi di condizioni climatiche, litologiche e strutturali costanti per lunghi periodi (Gregory, Gardiner, 1975; Hancock *et al.*, 1998).

Attualmente, si procede attraverso un'analisi più approfondita, valutando anche fenomeni interni al bacino, quali movimenti tettonici recenti, catture e arretramento degli spartiacque. Questi fenomeni, specie nei sistemi alpino e appenninico, possono aver modificato sensibilmente l'organizzazione gerarchica dei reticoli, facendoli apparire più "giovani" di quanto in realtà non siano.

La geometria e lo stato di organizzazione di un reticolo idrografico possono essere espressi quantitativamente mediante una serie di parametri che, nel caso del bacino del Torrente Lemme e dei suoi sottobacini, sono stati interpretati in modo relativo al fine di individuare uno *standard* medio di riferimento ed eventuali anomalie rispetto ad esso.

Digitalizzazione del reticolo idrografico ed elaborazioni

Tutti i dati presentati ed elaborati in questo lavoro provengono dall'analisi di carte topografiche IGM a scala 1:25.000, di Carte Tecniche Regionali alla scala 1:10.000, di un DTM (passo 50 metri) e da lavoro diretto di campagna.

Per quanto concerne l'analisi morfologica di un reticolo idrografico, tutti i corsi d'acqua sono considerati come linee, indipendentemente dalla loro larghezza. Quindi, un reticolo può essere caratterizzato dal numero, dalla lunghezza e dalla disposizione delle linee sulla proiezione del reticolo su di un piano orizzontale.

La classificazione gerarchica dei reticoli, basata sulla definizione delle entità geometriche (aste e nodi), è caratterizzata dalla suddivisione del reticolo secondo un ordine convenzionale, che può essere "da monte" o "da valle". In questo lavoro è stato utilizzato il primo criterio, più comunemente noto come "metodo Horton-Strahler" (Horton, 1945).

La digitalizzazione del reticolo idrografico del bacino del Torrente Lemme è avvenuta a video, tramite l'acquisizione informatica delle aste di diverso ordine che lo compongono ed ha evidenziato la presenza di 2334 aste fluviali, di cui 1829 di primo ordine, 400 di secondo ordine, 82 di terzo ordine, 17 di quarto ordine, 5 di quinto ed 1 di sesto ordine.

A seguito della gerarchizzazione delle aste fluviali, è stato suddiviso il poligono del bacino principale in sottobacini secondari, riferiti al quarto ordine gerarchico, ottenendo un totale di 17 sottobacini.

Il software GIS utilizzato (ESRI-ARCGIS 9.2) ha permesso di calcolare, tramite l'inserimento di apposite formule, sia l'area che il perimetro di tutti i sottobacini, valori poi utilizzati per il calcolo di alcuni dei parametri morfometrici necessari all'analisi geomorfologia dell'area in esame.

L'utilizzo del modello numerico di terreno (DTM) ha permesso di mettere in evidenza la struttura tridimensionale del bacino attraverso l'utilizzo di determinate funzioni installate nel modulo 3D Analyst di ESRI ARCGIS 9.2 quali, nello specifico, la funzione "HILLSHADE", ovvero il rilievo ombreggiato del bacino (con valore numerico normalizzato tra 0 e 255) ottenuto considerando l'illuminazione come fonte posta all'infinito e tenendo conto degli effetti dell'orizzonte locale in ogni cella.

Un'ulteriore elaborazione del DTM ha permesso di calcolare la carta delle pendenze del bacino: per ogni pixel, lo strumento "SLOPE" calcola il tasso massimo di variazione di ogni singola cella

rispetto a quelle vicine. In pratica, il massimo valore di variazione di altezza, riferita al livello medio mare, tra la cella e gli otto pixel confinanti identifica il valore della pendenza più ripida. Il raster in output, riportato in figura 2, ha come riferimento la scala in percentuale.

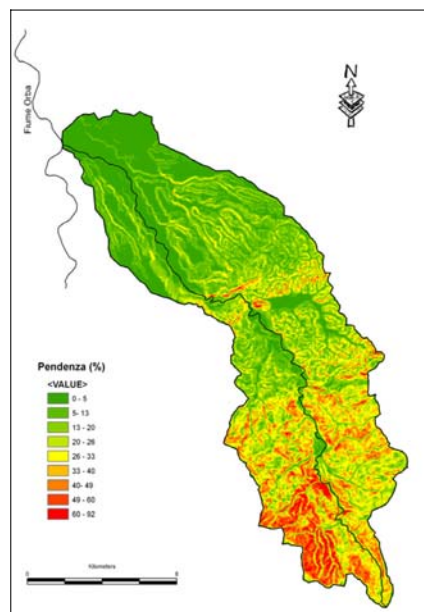


Figura 2 – Carta delle pendenze

Analisi del profilo longitudinale

Lo studio dei profili longitudinali dei fiumi ha una rilevante importanza in relazione alle variazioni climatiche e/o tettoniche recenti. Infatti, l'analisi della curva caratteristica, che mette in relazione le quote con la distanza lungo l'asta fluviale, ha dal punto di vista strutturale un primo approccio interpretativo in relazione all'irregolarità che la curva stessa assume lungo il profilo (Gomez *et al.*, 1996; Rhea, 1989). La presenza lungo il profilo longitudinale di particolari anomalie (*knickpoints*), quali ad esempio rotture di pendenza (a livello geometrico determinate da flessi o meglio da cambi di gradiente del profilo stesso), è spesso la manifestazione dei cambiamenti avvenuti in tempi più o meno recenti (Hack, 1973).

Il profilo longitudinale dell'asta principale è stato analizzato per verificare la presenza di anomalie a partire dai reticoli precedentemente acquisiti. Individuando i *knickpoints* tra le serie di dati e riportandoli sul progetto di lavoro in ESRI-ARCGis, è possibile ricercare le cause delle anomalie e correlarle eventualmente con cambiamenti litologici consistenti e la conseguente risposta all'erosione fluviale, con movimenti tettonici (presenza di faglie ed eventuale sollevamento o abbassamento del piano di scorrimento) oppure con l'intersezione con grossi affluenti, il cui apporto liquido può accentuare il gradiente a valle della confluenza (Cox, 1994; Demoulin, 1998).

Il corso d'acqua di riferimento per l'analisi dei profili longitudinali è stato tracciato secondo il criterio della massima lunghezza: ogni qual volta, partendo dalla foce, un corso d'acqua si divide in due affluenti, viene preso in considerazione ed incluso nel profilo il più lungo dei due affluenti.

Per l'elaborazione, sono stati utilizzati i *tools* di ESRI-ARCGis "EZProfiler" e "ARC - Hydro". Il primo modulo è in grado di tracciare un profilo grafico a partire da una polilinea, da un TIN o da un *raster* e la distanza dei diversi punti è stabilita da un intervallo fisso, specificando il numero dei

punti o attraverso il metodo dell'algoritmo Douglas - Poiker (Christman, 2002); in questo lavoro si è scelto di definire 100 punti lungo il profilo dell'asta principale.

Con il modulo "ARC - Hydro", invece, è possibile effettuare analisi sul territorio con particolare riferimento alle sue risorse idriche; tra le diverse elaborazioni, sono stati creati i *raster* di "Flow Direction" e quello di "Flow Accumulation".

In figura 3 sono presentati il profilo longitudinale del Torrente Lemme, la tabella delle principali anomalie riscontrate e la carta tematica rappresentativa delle direzioni del flusso (*flow direction*).

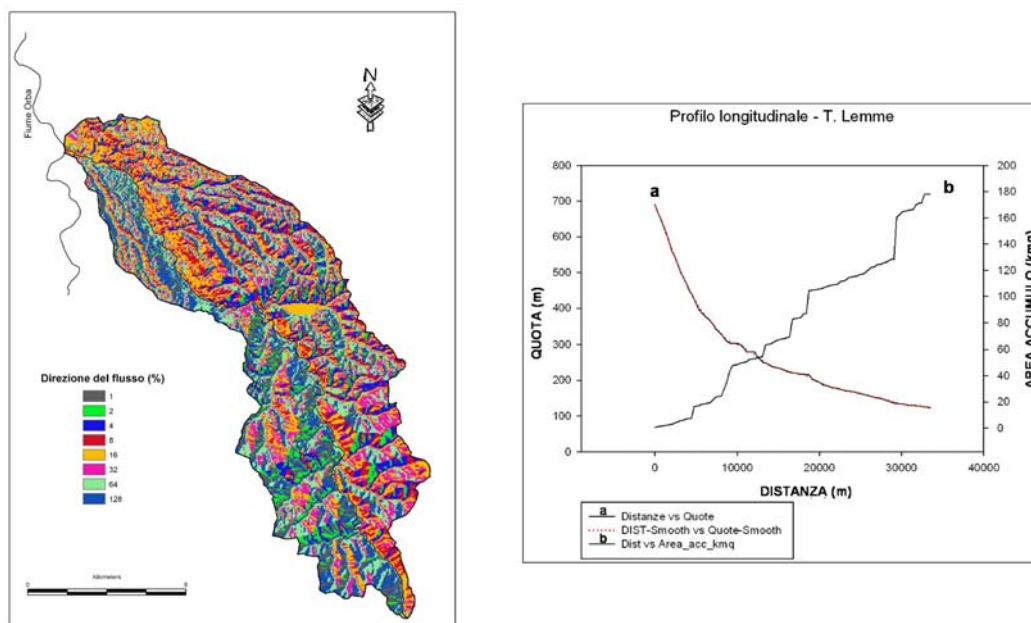


Figura 3 – Carta delle direzioni di flusso (alto a sinistra), profilo longitudinale del Torrente Lemme e tabella delle principali anomalie

Risultati preliminari

Il bacino del Torrente Lemme è risultato particolarmente complesso dal punto di vista morfologico; la sua evoluzione morfodinamica è, infatti, strettamente correlata ai diversi litotipi caratterizzanti il substrato.

Dalla carta delle pendenze (Fig. 2) si riscontra come i valori più alti si ritrovino nel settore Sud-occidentale del bacino, in corrispondenza dell'Unità Erro - Tobbio, ovvero dei litotipi meno permeabili e più resistenti all'erosione fluviale (lherzoliti e serpentiniti). I valori di pendenza diminuiscono, poi, verso valle evidenziando un secondo settore particolarmente acclive nella zona del sottobacino Neirone, al contatto tra le Arenarie di Serravalle e le Marne di Cessole (zona centrale del bacino del Torrente Lemme).

Con l'integrazione dei dati morfometrici e l'analisi del profilo longitudinale è stato possibile riconoscere tre differenti settori:

- settore meridionale, caratterizzato da un substrato serpentinitico e lherzolitico particolarmente resistente all'erosione, con flusso idrico incanalato secondo linee di fragilità di origine, per lo più, tettonica. La situazione evolutiva risulta strettamente connessa alla presenza della zona Sestri-Voltaggio, che sembra aver guidato l'impostazione del reticolo sia dal punto di vista litologico che dal punto di vista tettonico;

- settore centrale, caratterizzato da conglomerati marini, marne e arenarie, tutte appartenenti al Bacino Terziario Piemontese e maggiormente erodibili rispetto al precedente. Il reticolo presenta in quest'area le più evidenti anomalie, come la forte asimmetria della valle principale ed il ripiegamento dell'asta fluviale verso Ovest che conferisce al bacino del Lemme la sua forma caratteristica. In questo settore confluisce il Torrente Neirone, uno dei principali affluenti del Lemme che, a sua volta, mostra un reticolo anomalo, un bacino asimmetrico e la presenza di un'estesa piana alluvionale bruscamente interrotta verso Ovest. Il substrato non sembra poter, in questo caso, aver guidato l'evoluzione del paesaggio, le cui dinamiche sarebbero invece strettamente connesse a strutture sepolte o alla presenza di una paleovalle forse collegata ai già noti cambiamenti dei *pattern* di drenaggio caratterizzanti i bacini ad Est dell'area studiata (Torrente Scrivia) (Cortemiglia, Cortemiglia, 2003).

- settore settentrionale, caratterizzato da depositi alluvionali pliocenici (Argille di Lugagnano) e depositi alluvionali recenti (Pleistocene ed Eocene), dove il reticolo idrografico si è impostato liberamente con un notevole ampliamento del letto. Questo meccanismo di erosione sembrerebbe confermato dalla curva ipsografica che, in corrispondenza di questo settore, sembra evidenziare un ringiovanimento del bacino imputabile all'alta erodibilità dei depositi derivanti dalla conoide alluvionale dell'adiacente Torrente Scrivia.

Bibliografia

- Christman N. P., (2002), *Exploring Geographic Information Systems*, 2nd Ed, Wiley&Sons, New York, 298 pp. .
- Crispini L. & Capponi G., (2001), "Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (southern limit of the NW Alps): a review." *Ofioliti*, 26(2a): 161-164.
- Cortemiglia G.C., Cortemiglia F., (2003), "La storia geologica e geomorfologica del territorio tortones." Estratto da *Derthona Historia Patriae*, Ed. Pro Iulia Dertona, Tortona, 1: 13-56.
- Cortesogno L., Haccard D., (1985), *Carta Geologica della Zona Sestri - Voltaggio*, SELCA Ed., Firenze.
- Cox R.T., (1994), "Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt - block tectonics: an example from the Mississippi Embayment." *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106, 571 - 581.
- Demoulin A., (1998), "Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe).", *Geomorphology*, 24, 189 - 208.
- Frankel K.L. & Pazzaglia F.J., (2006), "Mountain fronts, base level fall and landscape evolution. Insights from the southern Rocky Mountains." In: Willet S., Hovius N., Brandon M. & Fisher D. (eds), *Tectonics, climate and landscape evolution*, Geological Society of America, Special Paper, 398 pp.

- Gomez F., Barazangi M., Bensaid M., (1996), "Active tectonism in the intracontinental Middle Atlas Mountains of Morocco: synchronous crustal shortening and extension.", *J. Geol. Soc. London*, 153: 389-402.
- Gregory K.J., Gardiner V., (1975), "Drainage density and climate." *Z. Geomorphol.*, Neue Folge, 19: 287 - 298.
- Rhea S., (1989), "Evidence of uplift near Charleston, South Carolina." *Geology*, 17, 311-315.
- Hack J.T., (1973), "Stream profile analysis and stream gradient index." *U.S. Geol. Survey Journal Of Research*, 1: 421 - 429.
- Hancock G.S., Anderson R.S. & Whipple K.X., (1998), "Beyond power: bedrock river incision process and form." In Tinkler K.J. & Wohl E.E. Eds in: *Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels*, American Geophysical Union, Geophysical Monograph 107: 35 - 60.
- Strahler A.N., (1964), "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks." In: *Handbook of Applied Hydrology*, edited by V.T. Chow, McGraw - Hill, New York, 4: 40 - 74.
- Vanossi M., Cortesogno L., Galbiati B., Messiga B., Piccardo G., Vannucci R., (1984), "Geologia delle Alpi liguri: dati, problemi, ipotesi." *Mem. Soc. Geol. It.*, 28: 5 - 76.

