

# **Ripartizione del territorio collinare-montano della Lombardia in bacini idrografici e condivisione delle informazioni territoriali fra gli Enti competenti tramite l'utilizzo di un unico sistema di codifica.**

Dal Puppo Donata, De Donatis Simonetta, Laffi Roberto, Peggion Monica\*, Carrara Alberto\*\*, Pancaldi Massimo\*\*\*

\*Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio e Urbanistica, UO Infrastruttura per l'Informazione Territoriale – Via Sasseti 32/2 – 20124 MILANO 02/67651

donata\_dal\_puppo@regione.lombardia.it, simonetta\_de\_donatis@regione.lombardia.it,  
roberto\_laffi@regione.lombardia.it, monica\_peggion@regione.lombardia.it

\*\*CNR – IEIIT, viale Risorgimento 2 – 40136 BOLOGNA 051.2093551 acarrara@bo.ieiit.cnr.it

\*\*\*Autorità di bacino del fiume Po – via Garibaldi 75 – 43100 Parma –0521/2761 massimo.pancaldi@adpo.it

## **Riassunto**

Per il territorio collinare-montano della Regione Lombardia, è stato generato automaticamente un reticolo connesso e ordinato delle linee di drenaggio e dei relativi spartiacque e sono stati calcolati i principali parametri morfologici di ciascun sottobacino elementare, utilizzando diversi gradi di risoluzione spaziale. Per il codice di calcolo sono stati utilizzati, come dati d'ingresso, un modello digitale del terreno (DTM passo 20m) ed un reticolo idrografico digitalizzato, ambedue derivati dalla Carta Tecnica della Regione Lombardia. A tale strato informativo è stata quindi attribuita la codifica SIBAPO dell'Autorità di Bacino del fiume Po, con lo scopo di consentire il dialogo fra tutti gli Enti coinvolti nella gestione delle informazioni associate ai bacini.

## **Abstract**

A fully connected, articulated hydrographic pattern of Regione Lombardia's hilly and mountainous areas has been automatically created. The main morphological parameters of each elementary basin have been calculated too, using different degrees of spatial resolution. A digital terrain model (DTM 20x20m) and a digitalized hydrographic network, both derived from the Regional Technical Map, have been used as input data for the algorithm. The SIBAPO codex system (elaborated by the Autorità di Bacino del Fiume Po) has been assigned to this information level, in order to allow the data exchange and the dialog between all the public and private bodies involved in hydrographic basins management.

## **Creazione dello strato informativo "bacini idrografici"**

Per il territorio alpino ed appenninico della Regione Lombardia, di superficie complessiva pari a 12780 Km<sup>2</sup>, è stato generato automaticamente un reticolo pienamente connesso e ordinato delle linee di drenaggio e dei relativi spartiacque. Sono stati inoltre calcolati i principali parametri idro-morfologici di ciascun sottobacino ed emisottobacino elementare in cui l'area in esame è stata suddivisa. Tale elaborato è stato realizzato sulla base di un primo progetto sperimentale, terminato nel febbraio 2003, che, per i territori appartenenti alla Valtellina, intesa quale area pilota dell'intero territorio collinare e montano regionale, ha portato all'individuazione automatica delle linee di impluvio e di displuvio, alla suddivisione dell'area di studio in sottobacini elementari ed in versanti principali, ed al calcolo dei principali parametri morfologici. Lo strato informativo relativo alla Valtellina, è stato usato come prototipo da estendere all'intero territorio montano regionale.

Il codice di calcolo utilizza, come dati d'ingresso, un modello digitale del terreno (DTM) ed un reticolo idrografico ("blue-lines") digitalizzato, ambedue derivati dalla carta tecnica della Regione Lombardia. Il primo permette l'identificazione delle linee di impluvio e di displuvio nelle aree collinari/montuose. Il secondo integra l'informazione del dato altimetrico (DTM) nelle aree pianeggianti, prive di una caratterizzazione morfologica adeguata. Tutte le cartografie realizzate

sono state quindi convertite in coverage ArcInfo per una loro semplice integrazione con gli archivi cartografici della Regione Lombardia.

### **Studi precedenti**

Tradizionalmente, il calcolo dei parametri morfologici del reticolo idrografico viene effettuato misurando o digitalizzando la rete idrografica riportata sulle basi topografiche. Questa operazione è però lunga e non priva di errori. Il numero di aste ("blue-lines") presenti sul documento cartografico è infatti funzione, oltre che della scala, dei criteri adottati dal topografo e dal disegnatore nel preparare l'elaborato in questione. Più complessa risulta la determinazione delle linee di displuvio e la conseguente perimetrazione di ogni sottobacino. Tanto che pochi sono gli studi geomorfologici ed idrologici nei quali siano stati presi in considerazione i parametri morfologici connessi alla superficie e alla forma dei sottobacini elementari. Alla luce di quanto sopra esposto, appare evidente l'importanza di poter individuare automaticamente il reticolo idrografico e gli spartiacque e, quindi, suddividere l'area di un bacino nei suoi sottobacini o emi-sottobacini (versanti principali) elementari, ciascuno corredato dei principali parametri morfologici (superficie, perimetro, pendenza, esposizione, etcetera), partendo da un DTM. Nel corso degli ultimi anni è stata messa a punto una procedura che, a partire da un DTM raster, è in grado di individuare le linee di impluvio e di displuvio, suddividere l'area di un bacino in sottobacini elementari e calcolare i parametri morfologici di ciascuno di essi.

### **Estrazione del reticolo e determinazione dei parametri morfologici di bacino**

Alla luce di quanto sopra esposto i dati digitali di "input" per l'identificazione automatica del reticolo idrografico, dei limiti di bacino-sottobacino e dei relativi parametri morfologici-idrologici potranno essere costituiti:

- dai soli dati altimetrici (DTM " raster");
- dai dati altimetrici e da quelli idrografici ("blue-lines").

Si è ritenuto dunque utile sviluppare un insieme di procedure in grado di operare sia utilizzando i soli dati altimetrici, sia integrando l'informazione del rilievo con quella del reticolo idrografico. Utilizzando queste due sorgenti di dati è quindi possibile ottenere:

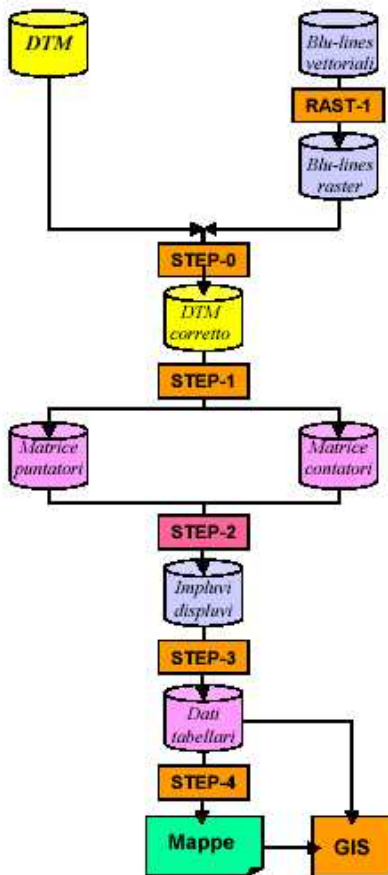
- la generazione di un reticolo pienamente connesso e gerarchicamente ordinato delle linee di drenaggio e dei relativi spartiacque, basata esclusivamente sull'andamento del rilievo (DTM raster) dell'area in esame, da cui ricavare la suddivisione dell'area in sottobacini elementari e la determinazione dei principali parametri morfologici del reticolo e di ciascun sottobacino;
- è altresì possibile generare, su base esclusivamente morfologica, il reticolo per quelle porzioni di un bacino a forte rilievo e di integrare il dato orografico con quello delle " blue-lines" per le parti pianeggianti, generalmente prossime alla foce, del sistema fluviale.

Circa la struttura dei dati, si è convenuto di effettuare tutte le elaborazioni su dati organizzati in forma matriciale (raster). Pertanto, quando i dati altimetrici sono in forma di curve di livello digitalizzate (struttura vettoriale), è necessaria la loro conversione in un DTM raster.

Parimenti, il reticolo idrografico, comunemente digitalizzato in continuo, deve essere convertito in un raster con passo di campionamento pari a quello del corrispondente DTM. Per le procedure di conversione vector-raster è stata messa a punto una tecnica specifica. Questa prevede preliminarmente l'ordinamento gerarchico (secondo Strahler) dei rami del reticolo e quindi la loro "rasterizzazione" procedendo dai rami d'ordine più elevato a quelli d'ordine inferiore. In tal modo viene garantita la connessione dei rami più importanti del reticolo, preservata l'integrità topologica del medesimo, nonché stabilito un criterio gerarchico per l'eliminazione o spostamento dei punti appartenenti a rami diversi del reticolo, che risultino ricadere in una stessa cella del raster. In conclusione, i dati d'input saranno costituiti da una matrice di quote (DTM) dell'area in esame ed eventualmente da una matrice del reticolo idrografico, rasterizzato con passo di campionamento uguale a quello del DTM.

## Caratteristiche Generali del Software Sviluppato

La figura riportata rappresenta il diagramma di flusso del programma BACINI. Le sigle poste nei riquadri corrispondono ai moduli (tutti scritti in C++) secondo cui si articolano le diverse elaborazioni, mentre le frecce indicano lo sviluppo logico-temporale delle stesse, in relazione ai dati di ingresso e prodotti; in particolare il modulo:



- RAST-1: crea una rete connessa e gerarchizzata delle aste fluviali derivate dalla carta tecnica regionale; converte quindi tale rete vettoriale in una equivalente a struttura "raster", preservandone le caratteristiche topologiche e, per quanto possibile, geometriche.
- STEP-0: pre-elabora ("corregge") le quote di un DTM al fine di eliminare tutti i punti in depressione ("pits") tramite algoritmi che si basano o sul solo andamento altimetrico dell'intorno di ciascun "pit" o sull'informazione integrata tra morfologia locale e percorso delle "blue-lines" "rasterizzate".
- STEP-1: determina il percorso e la concentrazione dei deflussi teorici superficiali sulla base della sola morfologia del terreno o integrando il dato altimetrico con quello relativo all'andamento delle "blue-lines".
- STEP-2: ricostruisce un reticolo idrografico pienamente connesso, gerarchizzato e codificato dalla "foce", individua le linee di displuvio di ciascun sottobacino; infine, identifica e codifica le aree di ciascun sottobacino ed emi-sottobacino (versante principale). A tal fine estende le aste di I ordine fino alla linea di displuvio ("sorgente" dell'asta).
- STEP-3: calcola i principali parametri morfologici lineari ed areali del reticolo idrografico e di versanti principali, da cui è possibile derivare numerosi altri parametri a mezzo di semplici operazioni matematiche.
- STEP-4: converte in vettoriale la struttura raster dei dati e genera le tabelle dei parametri morfologici in formato ASCII.

## I prodotti realizzati

La procedura per l'estrazione del reticolo idrografico e degli spartiacque è stata quindi impiegata nel territorio collinare-montuoso della Regione. Per ovvie motivazioni di efficienza, i settori alpino e appenninico sono stati elaborati separatamente con la conseguente produzione di due distinti insiemi di elaborati.

Come sopra ricordato, per tutte e due le aree, i dati di ingresso sono stati il modello digitale del terreno (DTM), con passo di campionamento di 20x20m, e la rete idrografica digitale, ambedue derivati dalla carta tecnica regionale e forniti dal Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia.

A mezzo del modulo STEP-0, sono stati individuati e corretti oltre 200.000 punti del modello costituenti depressioni (pit) chiuse, prive cioè di deflusso delle acque superficiali. Tali punti hanno una duplice origine: la prima è semplicemente costituita da errori dell'algoritmo di generazione del DTM, la seconda è riferibile ad aree naturalmente (doline, laghi, ecc.) o artificialmente (invasi, scavi, ecc.) depresse. A prescindere dalla loro origine, dette depressioni devono essere necessariamente eliminate, al fine di permettere il corretto funzionamento di qualsiasi algoritmo di generazione della rete degli impluvi e displuvi.

Il reticolo idrografico ottenuto per digitalizzazione è stato corretto eliminando tutte le interruzioni e incongruenze a mezzo del modulo RAST-1 e di interventi di editing interattivo. Al termine di dette operazioni è stata ottenuta una rete idrografica pienamente connessa ed ordinata.

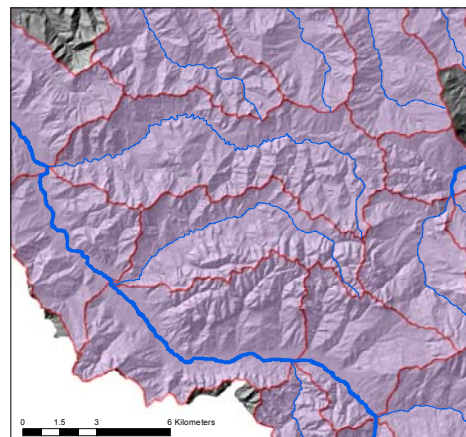
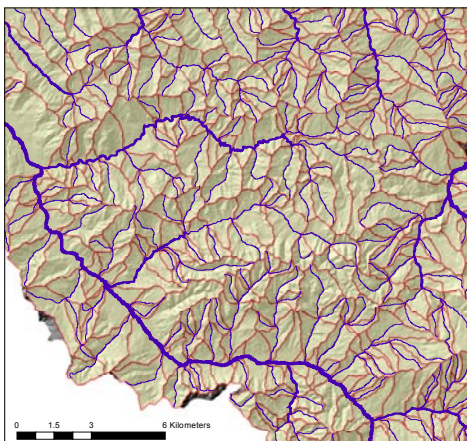
Il DTM idrologicamente corretto e la rete drenante rasterizzata sono stati quindi utilizzati dai moduli STEP-1 e STEP-2 per l'identificazione automatica delle linee di impluvio e di displuvio. È possibile controllare la densità di drenaggio della rete idrografica generata a mezzo dei tre seguenti parametri del modulo STEP-2:

- area minima contribuente delle aste di I ordine;
- lunghezza minima delle aste di I ordine;
- rapporto tra l'area del bacino di I ordine e la lunghezza della relativa asta.

Il primo parametro di soglia stabilisce quando l'algoritmo di generazione delle aste deve fermarsi, risalendo con tecnica ricorsiva dalla sezione di chiusura del bacino. Il secondo elimina le aste di I ordine con lunghezza inferiore alla soglia prefissata. Il terzo elimina le aste di I ordine il cui bacino ha una superficie che non soddisfa il rapporto area/lunghezza dell'asta prefissato. Tutti e tre i parametri controllano in forma diversa il grado di generalizzazione della rete generata e quindi la dimensione media dei sottobacini/versanti principali, in modo analogo a quanto si verifica riportando lo stesso reticolo idrografico su documenti cartografici a scala diversa. Si sottolinea che la dimensione e la forma dei bacini d'ordine superiore al I sono essenzialmente controllate dalla morfologia generale del territorio.

Tenendo conto che le informazioni in questione devono soddisfare le esigenze di utenti diversi (ingegneri idraulici, geologi, forestali, agronomi, ecc.), si è ritenuto opportuno assegnare ai parametri sopra elencati valori tali da ottenere una suddivisione del territorio in sottobacini elementari con una superficie media prossima al  $\text{Km}^2$ . A tale valore si è pervenuti assegnando alle aste di I ordine nel modulo Step-2 un'area minima contribuente di 30 ettari. Si è altresì stabilito di generare una seconda suddivisione del territorio in sottobacini utilizzando per le aste di I ordine una soglia minima di  $10 \text{ Km}^2$ .

Le seguenti immagini riportano una porzione del bacino del Torrente Staffora, per la quale si è attuata una ripartizione, a mezzo del modulo STEP-2, del territorio in sottobacini elementari utilizzando per le aste di I ordine un'area minima contribuente pari rispettivamente a 30 ettari e a  $10 \text{ Km}^2$ .



Per ognuno dei due settori collinari-montuosi di studio (appenninico ed alpino) del territorio regionale e per ognuno dei due livelli di risoluzione prescelti (aree contribuenti delle aste di I ordine pari a 30 ettari e a  $10 \text{ km}^2$ ), il programma BACINI ha generato un insieme di layer informativi e di dati tabellari che sono stati convertiti in cover ArcInfo. Questi, unitamente ai parametri morfologici di ciascun sottobacino elementare calcolati, quali ad esempio l'area del sottobacino, la lunghezza

dell'asta, la sua pendenza media, la magnitudo, sono stati integrati nel sistema informativo territoriale regionale e resi quindi disponibili sul sito web [www.cartografia.regione.lombardia.it](http://www.cartografia.regione.lombardia.it) anche in modalità download.

### **Sistema SIBAPO per la codifica dei corpi idrici naturali superficiali e dei bacini idrografici**

La Regione Lombardia ha quindi provveduto ad attribuire allo strato informativo “bacini idrografici” il sistema di codifica SIBAPO. L'adozione di tale codifica permette di definire un sistema per l'identificazione univoca dei bacini idrografici e dei corpi idrici naturali superficiali ivi compresi, tale da poter essere condiviso tra tutti gli enti nazionali e locali che si debbano scambiare dati alfanumerici e cartografici, relativi alla rete idrografica del territorio della Regione Lombardia: Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio, APAT, Autorità di Bacino del fiume Po, AIPO, Regione Lombardia, ARPA Lombardia, Province, Comunità montane, Comuni, Gestori dei servizi idrici integrati, etc.

Va sottolineato che i sistemi di codifica già utilizzati e consolidati vengono salvaguardati, in quanto il sistema SIBAPO si aggiunge alle codifiche esistenti, senza sostituirle. Si tratterà di gestire, eventualmente, apposite tabelle di decodifica.

Il sistema è finalizzato all'identificazione dei bacini idrografici e dei corpi idrici superficiali naturali (fiumi e laghi). Non modella alcuna caratteristica geomorfologica o amministrativa o relativa ad altri tematismi. L'unico elemento espressamente considerato riguarda il livello gerarchico dei bacini idrografici e dei corpi idrici superficiali naturali appartenenti a ciascun bacino.

Il sistema è caratterizzato dai seguenti aspetti:

- essenzialità, per evitare la trasmissione di elementi ridondanti o comunque inutili al fine dell'identificazione del corpo idrico superficiale naturale;
- facile identificazione dei bacini idrografici e dei corpi idrici fino al settimo ordine o successivi, poiché anch'essi possono risultare importanti per quanto attiene i regimi idraulici e/o le emergenze (dissesti, alluvioni) o, ancora, particolari apporti di sostanze;
- identificazione univoca di ogni corpo idrico superficiale naturale, anche se di natura diversa (esempio: nessun lago avrà il codice uguale a quello di un fiume).

Il sistema prevede un codice alfanumerico di 20 caratteri al massimo, strutturato gerarchicamente per descrivere il reticolo fino al settimo ordine, assimilando all'ottavo - secondo quanto specificato nel seguito – tutti i corpi idrici di livello inferiore. Il sistema di codifica è così costituito, nel rispetto della normativa attualmente vigente:

- la lettera che identifica la tipologia del bacino: N (che sta per Nazionale);
- il numero progressivo a tre cifre 008;
- due progressivi di tre cifre ciascuno fino ai corpi idrici di terzo ordine,
- cinque progressivi di due cifre ciascuno dal quarto all'ottavo ordine (e corsi d'acqua di ordine successivo).

Viene sempre mantenuta coerenza fra il codice del bacino idrografico e quello dei corsi d'acqua ad esso appartenenti.

Ad esempio:

| <b>corpo idrico</b> | <b>ordine</b> | <b>codice</b> |     |     |    |    |
|---------------------|---------------|---------------|-----|-----|----|----|
| Po                  | I             | N008          |     |     |    |    |
| Adda                | II            | N008          | 001 |     |    |    |
| Mallero             | III           | N008          | 001 | 016 |    |    |
| Valle Sissone       | IV            | N008          | 001 | 016 | 06 |    |
| Valle Ventina       | V             | N008          | 001 | 016 | 06 | 01 |

La procedura di attribuzione della codifica si compone di due fasi:

- l'attribuzione della codifica per arrivare ad uno stato di prima condivisione dei codici
- il processo di approfondimento nell'attribuzione della codifica che riguarda l'attribuzione dei codici via via a livello di maggior dettaglio

L'attribuzione della codifica è stata effettuata in prima istanza da parte dell'Autorità di Bacino del Po per i corsi d'acqua del Sistema Informativo della stessa Autorità, derivati dalla cartografia alla scala 1:25.000 IGM; la medesima codifica è stata quindi applicata da Regione Lombardia ai bacini idrografici ed ai relativi corsi d'acqua presenti nel Sistema Informativo Territoriale -SIT- regionale. Si precisa che alla data del luglio 2005 i bacini idrografici presenti sono riferiti alle aree montane e collinari del territorio regionale e sono derivati da una procedura di calcolo che parte dal Modello digitale del terreno con risoluzione di 20 x 20m e dalle blu line del SIT. Il reticolo idrografico del SIT è derivato geometricamente dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 ed integrato con informazioni provenienti da approfondimenti sviluppati dal Sistema Informativo Beni Ambientali, dal Reticolo Idrografico Principale e dal Modello digitale del Terreno stesso.

I bacini idrografici ed i corsi d'acqua ad essi appartenenti vengono codificati con un processo di approfondimento nell'attribuzione della codifica di livello sempre più dettagliato in modo da mantenere la congruenza tra i sistemi, esso si svolge tramite un processo coordinato tra Regione ed Autorità di Bacino del Fiume Po.

### **Conclusioni**

Lo strato informativo bacini idrografici costituisce dunque il dato territoriale di riferimento per la Regione Lombardia ed attualmente è disponibile agli utenti sotto forma di servizio web, anche in modalità download dal sito [www.cartografia.regione.lombardia.it](http://www.cartografia.regione.lombardia.it). Attraverso l'applicazione del sistema di codifica SIBAPO è possibile mettere in relazione informazioni differenti, provenienti da Enti con specifiche competenze settoriali, associate alla stessa unità territoriale bacino idrografico. Il sistema SIBAPO si basa sull'ordinamento gerarchico del reticolo idrografico ed è un metodo di codifica coerente sia con le prescrizioni normative in vigore, sia con le decisioni del gruppo di lavoro INTESA GIS volto alla definizione di standard comuni a livello nazionale.

### **Bibliografia**

- Carrara A. (1988), "Drainage and divide networks derived from high-fidelity digital terrain models". In: Chung C.F. et al. (eds.), Quantitative analysis of mineral and energy resources, NATO-ASI, June22-July4,1986, p. 581-597, D. Reidei Pub. Co., Dordrecht.
- Carrara A. et al., (1988), "Reticoli idrografici e parametri morfologici di bacino da modelli digitali del terreno". CNR-Linea 3, Gruppo Naz. Difesa Catastrofi Idrogeol., 60 p., Genova.
- Carrara A. et al., (1995), "GIS technology in mapping landslide hazard". In Carrara A & Guzzetti F. (eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, p. 135-176, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- Jenson S. K. (1991) "Applications of Hydrologic Information Automatically Extracted From Digital Elevation Models". Hydrological Processes. v. 5(1), p. 31-44.
- Zavoianu I. (1985), "Morphometry of drainage basins. Developments in Water Science", 20. Elsevier, Amsterdam