

Ann. Mus. civ. Rovereto	Sez.: Arch., St., Sc. nat.	Vol. 18 (2002)	187-199	2003
-------------------------	----------------------------	----------------	---------	------

TOMMASO VISINTAINER

STUDIO GRANULOMETRICO E IDENTIFICAZIONE DI PALEOALVEI IN AMBIENTE IDROGEOLOGICO CON TECNICHE DI TELERILEVAMENTO

Abstract - TOMMASO VISINTAINER - Particle size study and paleoriverbeds identification in a hydrogeological system with remote sensing techniques.

The paper deals with the study of stony deposited material granulometry and the research of underground flows on a braided reach of Rio Ridanna.

Particle size samples and surveys of the site were available in addition to remote sensing data acquired by a station fixed on ground in the bands of blue, green, red, near infrared and thermal infrared and subsequently matched as a mosaic and made overlappable. Water, surfaces covered by vegetation and bare ones have been enucleated from the context using numeric masks based on specific properties of single bands and their relations.

A texture analysis on bare surfaces made it possible to create a map of granulometry, while through the study of heat capacity and conductivity former wanderings no more active on the surface were identified.

In order to verify the procedures adopted for the description of granulometry, experimental shots over a laboratory channel have been conducted that show a very good correlation between particle size percentage and texture values.

Key words: Remote sensing, Thermography, Texture, Granulometry, Paleoriverbeds.

Riassunto - TOMMASO VISINTAINER - Studio granulometrico e identificazione di paleoalvei in ambiente idrogeologico con tecniche di telerilevamento.

Viene descritto lo studio granulometrico di materiale lapideo depositato e la ricerca di flussi sotterranei su un tratto d'alveo intrecciato del Rio Ridanna.

La campagna di misure svolta ha reso disponibili saggi granulometrici, rilievi topografici e dati telerilevati acquisiti da postazione fissa a terra nelle bande del blu, verde, rosso, infrarosso prossimo e infrarosso termico. I dati raccolti nelle varie bande sono stati montati a mosaico e resi sovrapponibili. Maschere numeriche create sulla base di proprietà specifiche delle singole bande e di loro relazioni hanno permesso di enucleare dal contesto l'acqua, le superfici spoglie e quelle vegetate.

Per le superfici spoglie lo studio di tessitura, capacità e conduttività termica ha permesso di mettere in evidenza gli aspetti legati alla granulometria e all'individuazione di precedenti divagazioni attualmente non più percorse in superficie.

A verifica delle procedure adottate per la descrizione della granulometria sui rilievi in campo, sono state attuate riprese sperimentali su canaletta di laboratorio ottenendo un'ottima correlazione tra percentuali granulometriche e valori di tessitura.

Parole chiave: Telerilevamento, Termografia, Tessitura, Granulometria, Paleoalvei.

INTRODUZIONE

L'articolo illustra i risultati di uno studio condotto presso il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale della Facoltà di Ingegneria di Trento ⁽¹⁾ quale lavoro di tesi, rivolto allo sviluppo di metodi di estrazione di informazioni morfologiche da un sistema idrogeologico con il contributo di tecniche di telerilevamento.

Il campo di studio è rappresentato dall'alveo intrecciato del Rio Ridanna nel tratto dell'Aglsboden (alta Val Ridanna), oggetto di una campagna di misure svolta nell'estate 2002 che ha permesso di disporre di saggi granulometrici, rilievi topografici e dati telerilevati acquisiti da postazione fissa a terra nelle bande del blu, verde, rosso, infrarosso prossimo e infrarosso termico.

L'informazione nelle varie bande è stata raccolta impiegando macchina fotografica e telecamera per l'intervallo del visibile, telecamera adattata con filtro di reiezione del visibile ad acquisire nell'infrarosso prossimo e termografo per la banda di emissione.

I dati raccolti nelle varie bande sono stati montati a mosaico e resi sovrapponibili con programmi specifici al fine di renderli tutti compatibili tra loro per le successive operazioni numeriche tra pixel. Maschere numeriche create sulla base di proprietà specifiche delle singole bande e di loro relazioni consentono poi di definire univocamente classi di superficie ed enucleare quindi dal contesto l'acqua, le superfici spoglie e quelle vegetate.

Si concentra qui l'attenzione sull'analisi delle sole superfici inerti asciutte nell'intento di definire da una parte la distribuzione granulometrica del materiale lapideo sedimentato e dall'altra i tracciati di precedenti divagazioni della rete attualmente non più percorse in superficie.

⁽¹⁾ Lo studio trova spazio in un più ampio progetto di ricerca, riguardante gli alvei intrecciati, coordinato dal prof. M. Tubino e dall'ing. G. Zolezzi.

Studio della tessitura su immagini di campo

Lo studio della tessitura consiste nel mettere a confronto l'ampiezza della radianza associata ad un elemento-immagine con quella di elementi-immagine contigui. Questa operazione dà risultati diversi se applicata ad oggetti di dimensione diversa, cosicché risulta un utile strumento per ricavare informazioni sulla dimensione di oggetti o forme visibili in superficie.

Partendo dal principio che la risoluzione geometrica condiziona l'ampiezza del contrasto spaziale della radianza riflessa o emessa, restando nel campo della radianza riflessa, è corretto affermare che superfici costituite da oggetti di dimensione molto minore della risoluzione geometrica del sistema di acquisizione, per effetto dell'integrazione del contributo alla riflessione dei singoli oggetti sull'area minima risolta, tendono a presentare valori di intensità uguali in pixels contigui (fig. 1). Quando gli oggetti hanno dimensioni paragonabili alla risoluzione del sistema di acquisizione, la probabilità che un pixel rispetto a quello adiacente dia intensità diversa cresce. Quando la dimensione degli oggetti è grande rispetto alla risoluzione geometrica il contrasto spaziale rileva il contorno degli oggetti.

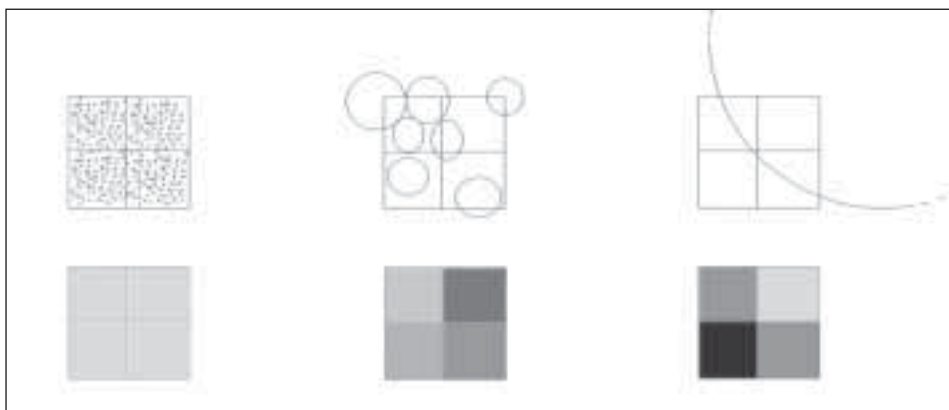


Fig 1 - Il contrasto spaziale su una sottomatrice 2x2 pixels al variare dell'ordine di grandezza delle dimensioni del materiale.

Nel presente studio il contrasto spaziale è definito come differenza fra il massimo e il minimo valore dell'intensità della radianza riflessa su una sottomatrice di dimensione $n \times n$. L'analisi della tessitura si può realizzare direttamente con il contrasto spaziale oppure in forme che confrontano l'intensità di pixel contigui come rapporto, logaritmo o arcotangente.

L'immagine è stata scomposta nei canali H, L e S, dove la luminanza L coincide con l'intensità divisa per il numero di bande. Per calcolare il contrasto spaziale sono stati applicati a due copie della luminanza due filtri opposti come sottomatrici a scorrimento di dimensione 2x2 pixel:

- il primo ricerca il valore di DN (digital number, ossia il valore di radianza associato al singolo pixel) più elevato tra quelli dei pixel della sottomatrice e lo estende a tutta la sottomatrice;
- il secondo procede nella stessa maniera ma ricerca il valore più basso.

Si riporta qui lo schema del procedimento adottato:

- matrice originale;
- scomposizione in H, L, S;
- selezione e duplicazione di L ;
- filtro max(2x2) su L₁;
- filtro min(2x2) su L₂;
- [max(2x2)L- min(2x2)L];
- stretching lineare;
- slicing a colori.

Successivamente si è cercato di realizzare una mappa di classi granulometriche utilizzando come sistema di taratura le curve granulometriche a disposizione relative ad alcune aree della superficie e in particolare il valore del d_{50} (diametro caratteristico di una curva granulometrica corrispondente ad un percentuale di passante in peso del 50%).

A causa dell'elevata varianza della distribuzione dei valori di DN dei pixel costituenti le aree oggetto del campionamento granulometrico, si è dimostrato improponibile, in quanto poco credibile, assegnare un valore di DN medio ad ogni area e realizzare una vera e propria curva di taratura DN - d_{50} . Quello che invece è sembrato ragionevole fare è stato mediare l'immagine in maniera da limitare l'importanza dei valori accidentali e aumentare quella dei valori statisticamente più presenti. Sono stati quindi definiti degli intervalli di DN e i corrispondenti valori in termini di d_{50} in maniera da ottenere un'immagine a pochi valori ma sicuri. Chiaramente si è cercato di realizzare quante più classi possibili assumendo però alcune aree come controllo e arrestandosi quando valori di d_{50} simili risultavano ricadere in classi diverse.

Il risultato (tavola 2) è una mappa a colori a quattro classi definibili dagli intervalli:

- blu $d_{50} < 40$ mm;
- verde 40 mm $< d_{50} < 140$ mm;
- rosso 140 mm $< d_{50} < 210$ mm;
- giallo $d_{50} > 210$ mm.

Verifiche di laboratorio

Il lavoro ha evidenziato come i limiti di risoluzione geometrica delle immagini rispetto alle dimensioni degli oggetti da investigare comportino incertezze non irrilevanti nella classificazione granulometrica. I saggi puntuali realizzati in campo sono stati utilizzati esclusivamente con una funzione di orientamento nella separazione delle classi e in parte di verifica del grado di successo ottenuto; si è dimostrato impossibile infatti, proprio per il motivo sopra descritto, basarsi su questi per realizzare una vera e propria taratura dell'immagine. Da qui il tentativo di verificare se un procedimento completo di questo tipo sia attuabile in condizioni ottimali, ossia con una risoluzione geometrica tale da poter apprezzare il contributo di radianza del singolo grano di sedimento, con campioni a composizione granulometrica nota e con una sufficiente ripetibilità delle prove.

Per la realizzazione del lavoro è stato utilizzato un canale artificiale presente presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale di Trento.

Il fondo del canale è costituito da due materiali con granulometria diversa, ma entrambi con una distribuzione pressoché uniforme: il primo (materiale A) presenta diametro medio di 0.5 mm, mentre il secondo (materiale B) ha diametro medio di 2.2 mm.

Per poter disporre di un metodo efficace di taratura delle immagini elaborate, sono stati realizzati dei campioni di terreno con diverse percentuali volumetriche dei due materiali, tramite asciugatura e pesatura delle singole componenti. Si riportano di seguito le percentuali volumetriche dei materiali A e B nelle nove miscele:

CAMPIONE n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% vol. di A	0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100
% vol. di B	100	87.5	75	62.5	50	37.5	25	12.5	0

Fig. 2 - Percentuali volumetriche dei materiali A e B nei campioni utilizzati.

Per l'acquisizione delle immagini è stata usata la fotocamera digitale Nikon D1X con un obiettivo di lunghezza focale pari a 60 mm, posizionata su carrello a un'altezza di 140 cm dal suolo, che consente una risoluzione geometrica sulla verticale intorno a 0.15 mm.

Il tratto di canaletta rilevato è di circa 150 cm ed è stato coperto con una serie di cinque immagini giuntate tra loro. Per facilitare il riconoscimento dei punti omologhi sui margini delle giunzioni sono stati posizionati sul terreno alcuni mini-target quadrati bianchi e neri di lato 8 mm.

Vari tentativi sono stati fatti utilizzando come criterio discriminante la den-

sità della frontiera (i contorni del singolo grano), ossia partendo dal presupposto che a un'area coperta da materiale grosso compete un numero di frontiere inferiore a quello di un'area equivalente coperta da materiale sottile.

Si sono utilizzati, in prove diverse, i seguenti metodi:

- filtro Laplaciano;
- rapporto fra valore massimo e minimo su sottomatrici a scorrimento di dimensioni 2x2 e 3x3 pixels (tali da poter cogliere i contorni anche dei grani più sottili);
- sommatoria delle differenze tra l'immagine originale e quelle spostate di 1 pixel nelle quattro direzioni

$$\sum_{i=1}^4 (M_{ORIG.} - M_{SHIFT_i})$$

con

$M_{ORIG.}$ = matrice originale;

M_{SHIFT_i} = matrice spostata di 1 pixel nella direzione i-esima;

- procedimento identico al precedente con l'arcotangente del rapporto che sostituisce la differenza.

Nessuna di queste strade si è dimostrata di successo in quanto, alla verifica sull'immagine dei campioni, non presentano variazioni apprezzabili dell'intensità media tra un provino e l'altro e tanto meno una tendenza.

La soluzione si è infine trovata modificando il criterio discriminante, ossia aumentando la scala spaziale utilizzata per «leggere» le variazioni della matrice sino al punto di non poter più apprezzare i contorni dei grani del materiale sottile. In questo modo il contrasto su superfici a grana sottile risulta molto basso e tende ad aumentare al crescere della percentuale di materiale grosso, i cui contorni rimangono apprezzabili.

In particolare la luminanza dell'immagine è stata mediata su una sottomatrice di dimensioni 8x8 pixels e si è calcolata la somma delle differenze tra questa e le due immagini ottenute con uno spostamento rispettivamente in alto e a destra di 8 pixels. Il risultato è stato infine mediato su sottomatrice 16x16 pixels.

La verifica sui campioni è risultata soddisfacente, con valori di DN medi decrescenti (dal giallo al rosso cupo) dal campione n. 1 al n. 9 (fig. 3).

Per ogni campione è stato valutato il valore di DN medio su una sottomatrice di dimensioni 400x400 pixels e riportato in un grafico in funzione della % volumetrica del materiale B (fig. 4).

Per verificare l'entità dell'errore commettibile nella stima della % volumetrica, sono stati utilizzati a turno sei punti per l'interpolazione e tre per il controllo. L'incertezza risulta contenuta entro l'11 % con un valore medio del 5.5 %.

L'immagine elaborata può essere utilizzata come una mappa della composi-

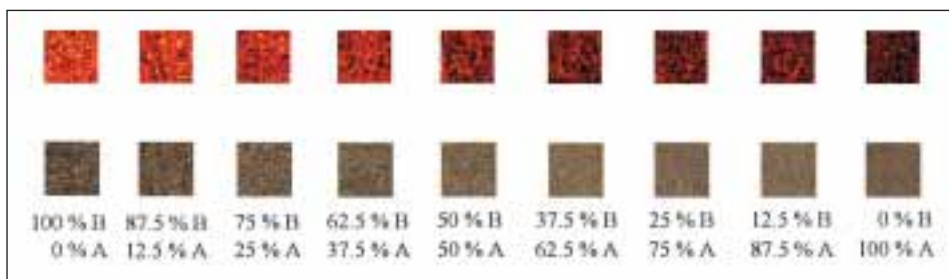


Fig. 3 - In basso i campioni nel visibile, in alto lo studio della loro tessitura.

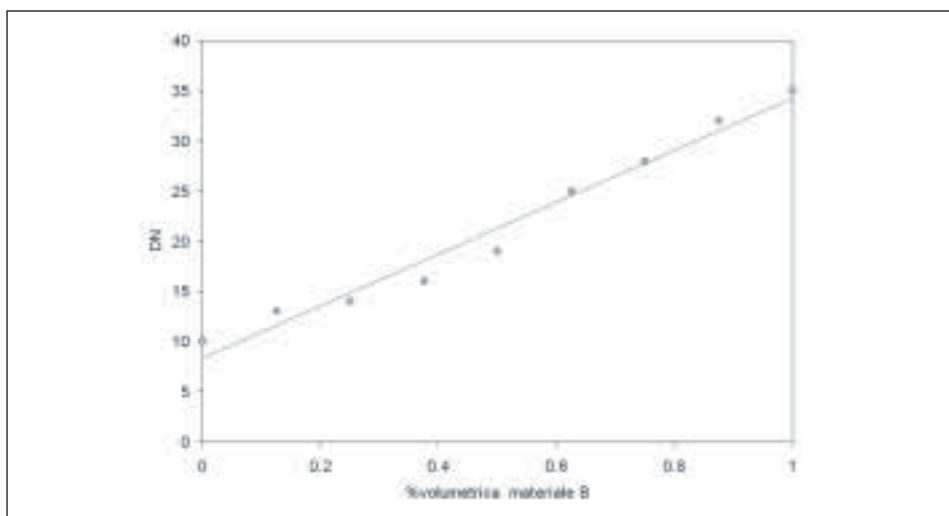


Fig. 4 - Curva di taratura della matrice di tessitura.

zione granulometrica del terreno. Si tenga comunque conto che non ha senso considerare il valore di DN del singolo pixel: l'area minima investigabile ha lo stesso ordine di grandezza di quella utilizzata per definire i valori di DN medi dei vari campioni, in questo caso si parla quindi di 10-15 cm².

I PALEOALVEI

Spesso i canali non più percorsi in superficie risultano ancora dotati di un discreto deflusso profondo a causa della loro elevata permeabilità. È quindi possibile individuare le zone umide e i paleoalvei percorsi, note le caratteristiche di elevata capacità termica e conducibilità termica dell'acqua e quindi delle terre bagnate.

Capacità termica

Per quanto riguarda questo genere di approccio è necessario premettere due considerazioni:

- il campo che si cerca di definire è proporzionale alla capacità termica, dal momento che non si dispone dell'albedo della superficie sull'intero spettro di riflessione;
- per definire l'innalzamento termico disponendo di un'unica serie temporale di dati nel TIR non si può fare a meno di ipotizzare l'uniformità termica su tutto il campo al termine della notte (in condizione di buio). Si considera quindi di acquisire le immagini nel pieno del transitorio di riscaldamento.

In questo caso si può esprimere la capacità termica come

$$C = \frac{Q}{(T - T_0)} = \frac{k \cdot Co(VIS)}{(T - T_0)}$$

con

C = capacità termica;

Q = calore assorbito tra il termine della notte e l'istante del rilievo;

T = temperatura misurata dal termografo;

T₀ = temperatura al termine della notte, assunta costante sull'intera superficie;

k = costante di proporzionalità;

Co(VIS) = coalbedo nel visibile.

Operativamente la coalbedo nel visibile è ottenuta come negativo dell'albedo. Questa è costruita partendo dalle bande R, V e B, facendone una somma ponderata in base all'andamento della curva di emissione solare in questo intervallo spettrale: l'emissione massima è nel verde, segue il blu e poi il rosso.

Il campo della capacità termica risultante (tav. 1, in centro) mette in evidenza alcune forme coerenti a capacità termica più elevata del terreno circostante, facilmente riconoscibili come paleoalvei ancora percorsi dall'acqua. In particolare sulla destra orografica, in prossimità della prima biforcazione sia a monte che a valle di questa, sono visibili due vecchie biforcazioni abbandonate.

A conferma di quanto detto si presenta il confronto tra il tracciato dei paleoalvei e il tracciato della rete come era nel luglio 2001, ricondotti entrambi su ortofoto (tav. 3). Il tracciato della rete è stato ricavato da una diapositiva scattata lo scorso anno nell'occasione dell'individuazione del sito, una volta che questa è stata stirata sull'ortofoto. L'immagine mostra una notevole coerenza tra i due tracciati e dimostra come sia in parte possibile ricostruire a posteriori la conformazione precedente della rete.

Conduttività termica

Una via alternativa alla precedente, che si è dimostrata altrettanto efficace nell'evidenziare le zone umide della rete, è quella di basarsi sul fatto evidente che le aree umide hanno conduttività termica elevata e quindi gradienti termici sul piano campagna contenuti.

Il campo della conduttività termica è qui espresso come rapporto tra il contrasto spaziale della coalbedo del visibile e quello del campo delle temperature, considerato che una superficie caratterizzata da alternanze nei valori di assorbimento mostra alternanze corrispondenti di temperatura più o meno consistenti in maniera inversamente proporzionale alla sua conduttività termica.

$$Ict(x, y) = \frac{Sc[CoVIS(x, y)]}{Sc[T(x, y)]}$$

Ict = indice di conduttività termica;

Sc = contrasto spaziale;

CoVIS (x,y) = coalbedo del visibile.

T (x,y) = campo delle temperature misurato dal termografo.

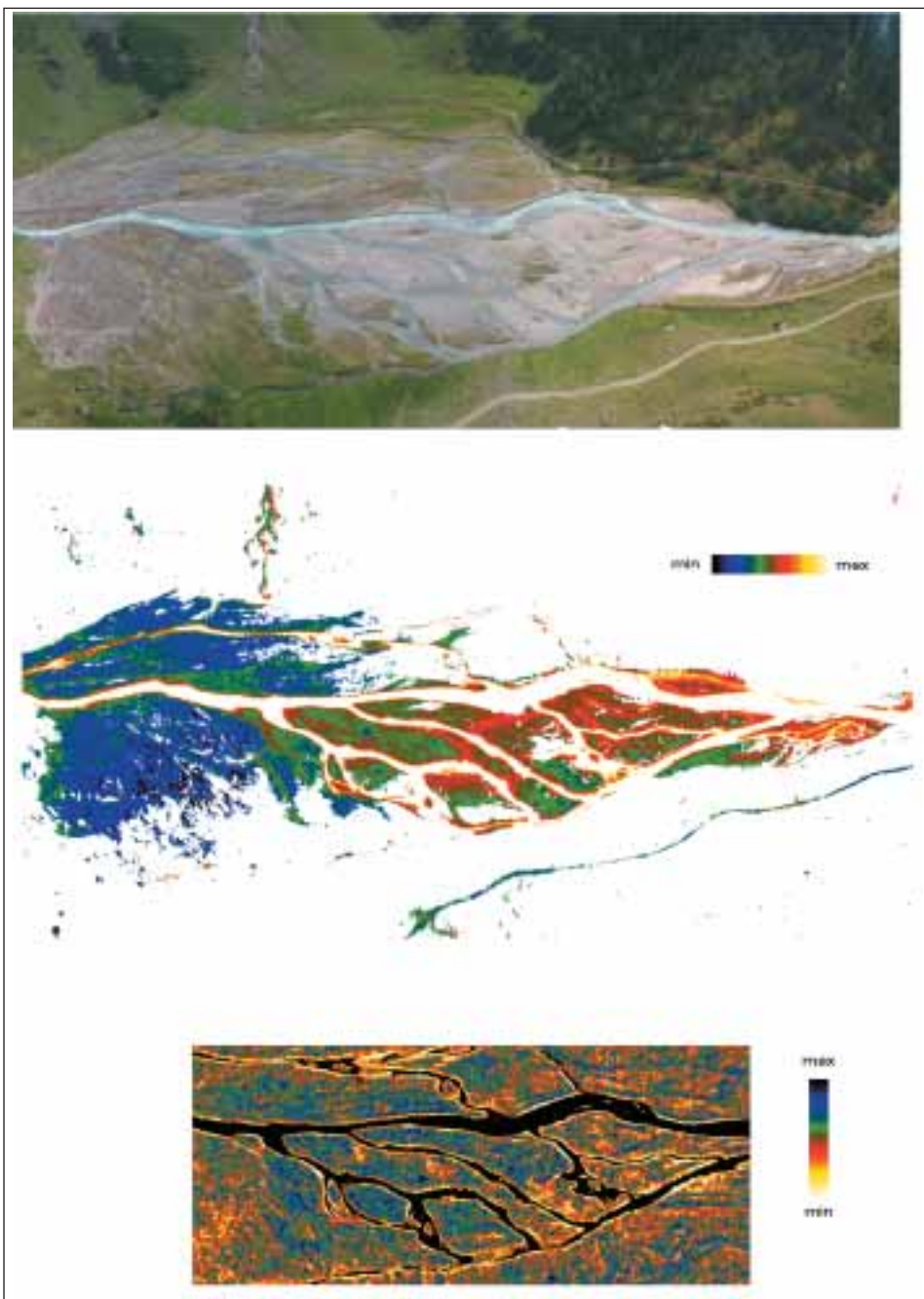
Il contrasto spaziale è espresso come rapporto tra il valore massimo di radianza e quello minimo su una sottomatrice a scorrimento di dimensioni opportune.

Anche in questo caso si sono messe in evidenza zone a deflusso profondo più intenso, caratterizzate da bassi gradienti termici, che contrastano con le zone meno umide a gradiente termico più elevato (tav. 3).

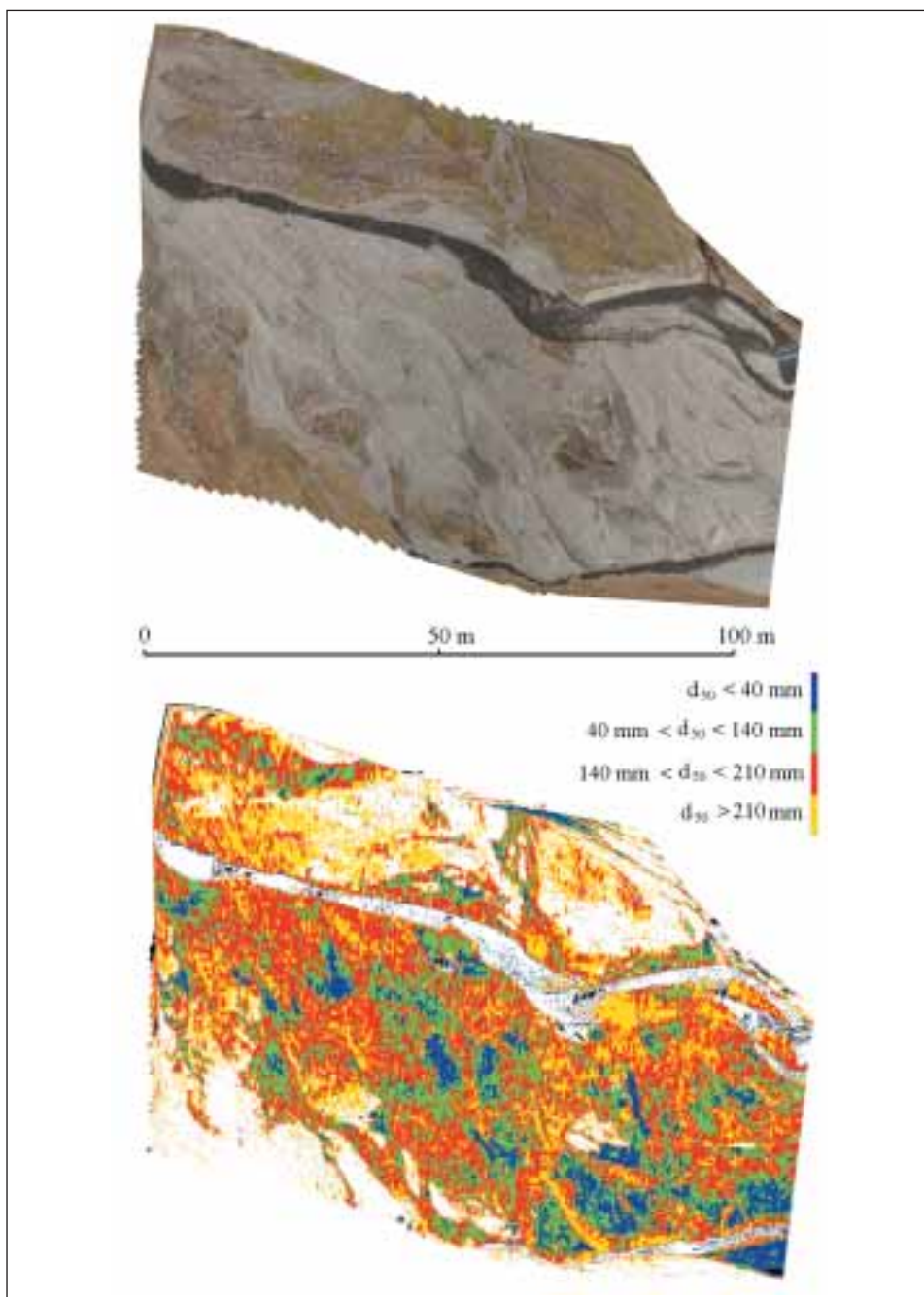
CONCLUSIONI

A conclusione si può affermare che i metodi di telerilevamento mostrano la loro utilità pratica nell'estrapolazione di saggi locali ad aree estese per la descrizione della distribuzione granulometrica.

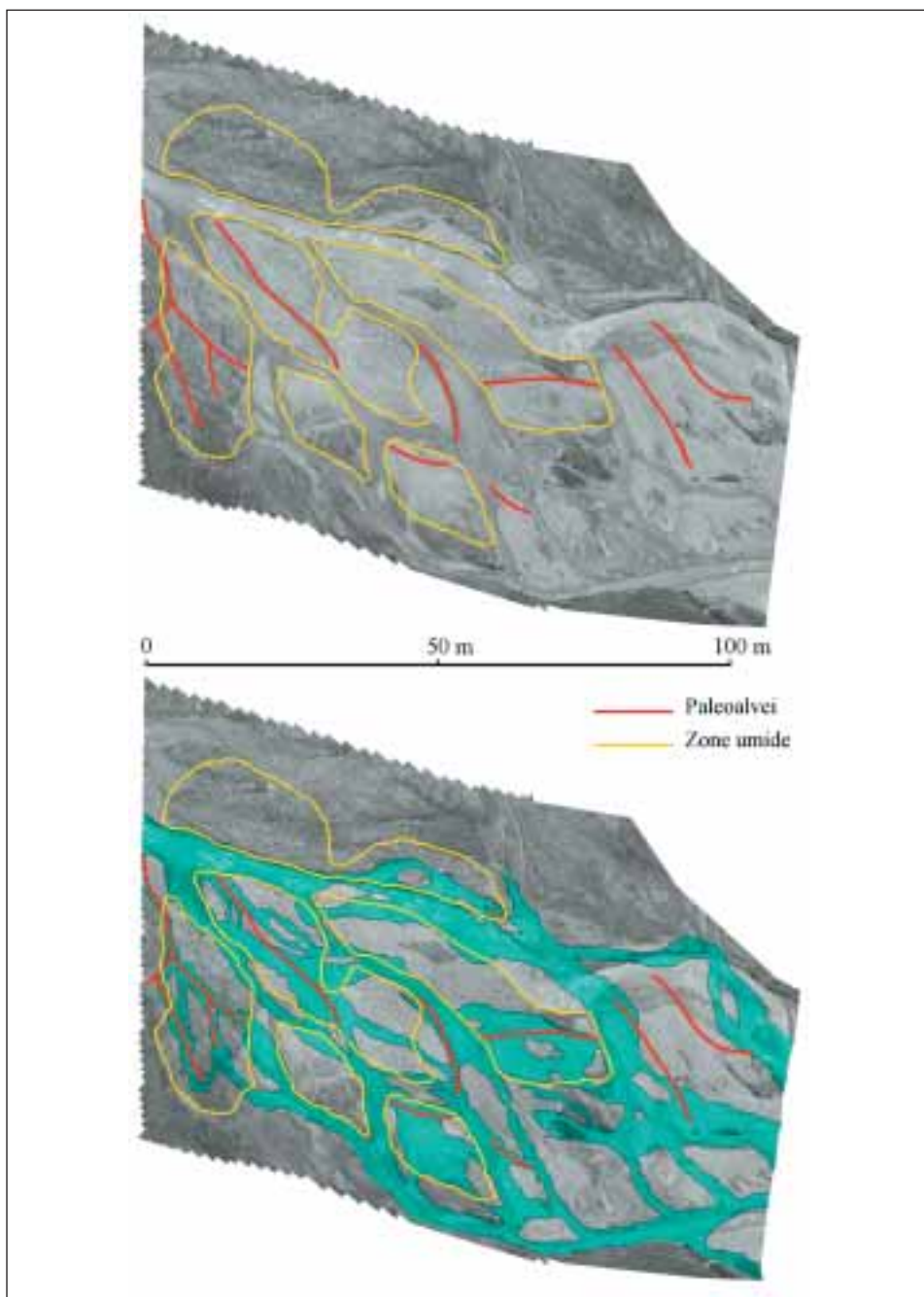
Capacità e conduttività termica peraltro hanno confermato la loro validità nella descrizione di configurazioni pregresse della rete.



Tav. 1 - In alto l'immagine a colori reali, in centro lo studio della capacità termica, in basso lo studio della conduttività termica.



Tav. 2 - In alto l'immagine a colori reali ortoproiettata, in basso la mappa delle classi granulometriche.



Tav. 3 - In alto i tracciati dei paleovalvei e delle zone umide su ortofoto, in basso la stessa immagine con le superfici coperte dall'acqua nel 2001.

BIBLIOGRAFIA

- THE AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 1975 - Manual of remote sensing, Vol 1, 2.
- H. J. BUITEN AND J. GP. W. CLEVERS, 1993 - Land observation by remote sensing. Theory and applications, Vol 3. *Gordon and Breach publishers*.
- G. LECHI, 1999 - Dispense del corso di Telerilevamento. *Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria*, Anno Accademico 1999-2000.
- A. M. TONELLI, 1998 - Complementi di Telerilevamento. *Luni Editrice*.
- A. M. TONELLI, 2000 - Some operative applications of remote sensing. *Annali di Geofisica*, 43(6): 1177-1196.

Indirizzo dell'autore:
Tommaso Visintainer - Viale Trento, 32 - I- 38068 Rovereto (TN)
