

Mapping fluviale e produzione dei sedimenti: applicazione di GIS Open Source (GRASS GIS)

Ivan Marchesini

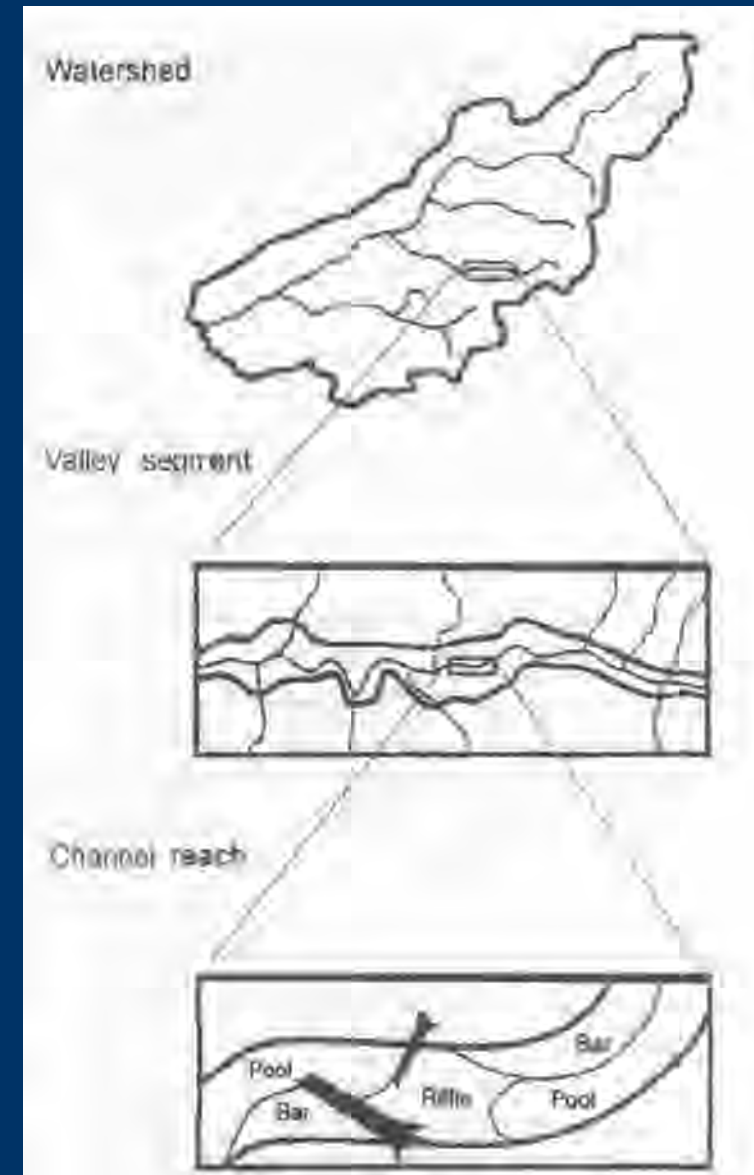
*Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale
Università di Perugia*

Mapping fluviale e produzione dei sedimenti: applicazione di GIS Open Source (GRASS GIS)

- Uno dei problemi più frequenti nel campo della cartografia tematica e dello studio di bacino è quello delle risorse software (estremamente costose e talvolta poco efficienti) necessarie per eseguire un lavoro completo e ben fatto.
 - Da ciò l'idea di utilizzare, per questi fini, il software libero ed in particolare GRASS GIS.
 - L'applicazione di GRASS al mapping fluviale ed allo studio della produzione dei sedimenti nasce dalla necessità di integrare dati di campagna, documenti cartografici e modellistica in un unico ambiente di lavoro, libero e quindi accessibile a tutti.
-
-

Struttura dell'intervento

- Scale spaziali differenti >> utilizzo del sistema geografico a scala di alveo ed a scala di bacino
- I parte: grande scala >> mapping fluviale - Esempi di applicazione
- II parte: piccola scala >> produzione dei sedimenti dai versanti - Esempi di applicazione



Cosa si intende per "mapping fluviale"

- Acquisizione in campagna del dato,
- Importazione e gestione all'interno di un sistema geografico,
- Restituzione cartografica e/o digitale

Sezione 1



Parametri principali

Data del rilevamento: 7-3-03

Dati relativi al livello di Bankfull

Ampiezza (m)	30.2
Profondità media (m)	0.792
Profondità massima (m)	1.43
Area bagnata (mq)	23.91
Perimetro bagnato (m)	30.56
Raggio idraulico (m)	0.78
Entrenchment ratio	1.63
Width/Depth ratio	38.14

Dati relativi al giorno 7-3-03

Area bagnata (mq)	16.56
Perimetro (m)	24.58
Raggio (m)	0.67
Profondità media (m)	0.682
Metodo stima velocità	galleggiamento
Velocità media (m/s)	0.759
Portata calcolata (mc/s)	7.3

Sinuosità: 1.02

Pendenza dell'alveo: non rilevata

Pendenza del pelo libero: non rilevata

Metodo stima granulometrie: visuale

D₅₀: boulders

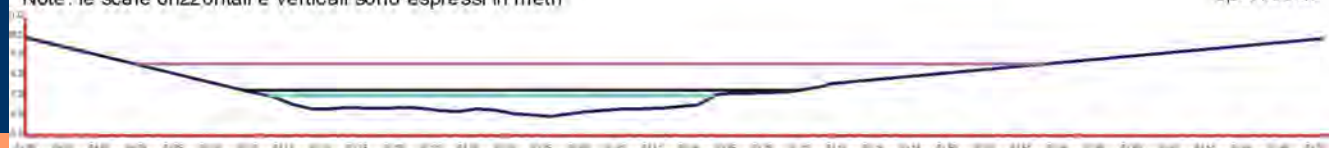
Sezione trasversale:

- Pelo libero
- Limite bankfull
- Limite flood prone area



Note: le scale orizzontali e verticali sono espressi in metri

Sponda sx



Acquisizione del dato tramite rilevamento dei caratteri geomorfologico-sedimentari ed antropici dell'alveo

Precisione



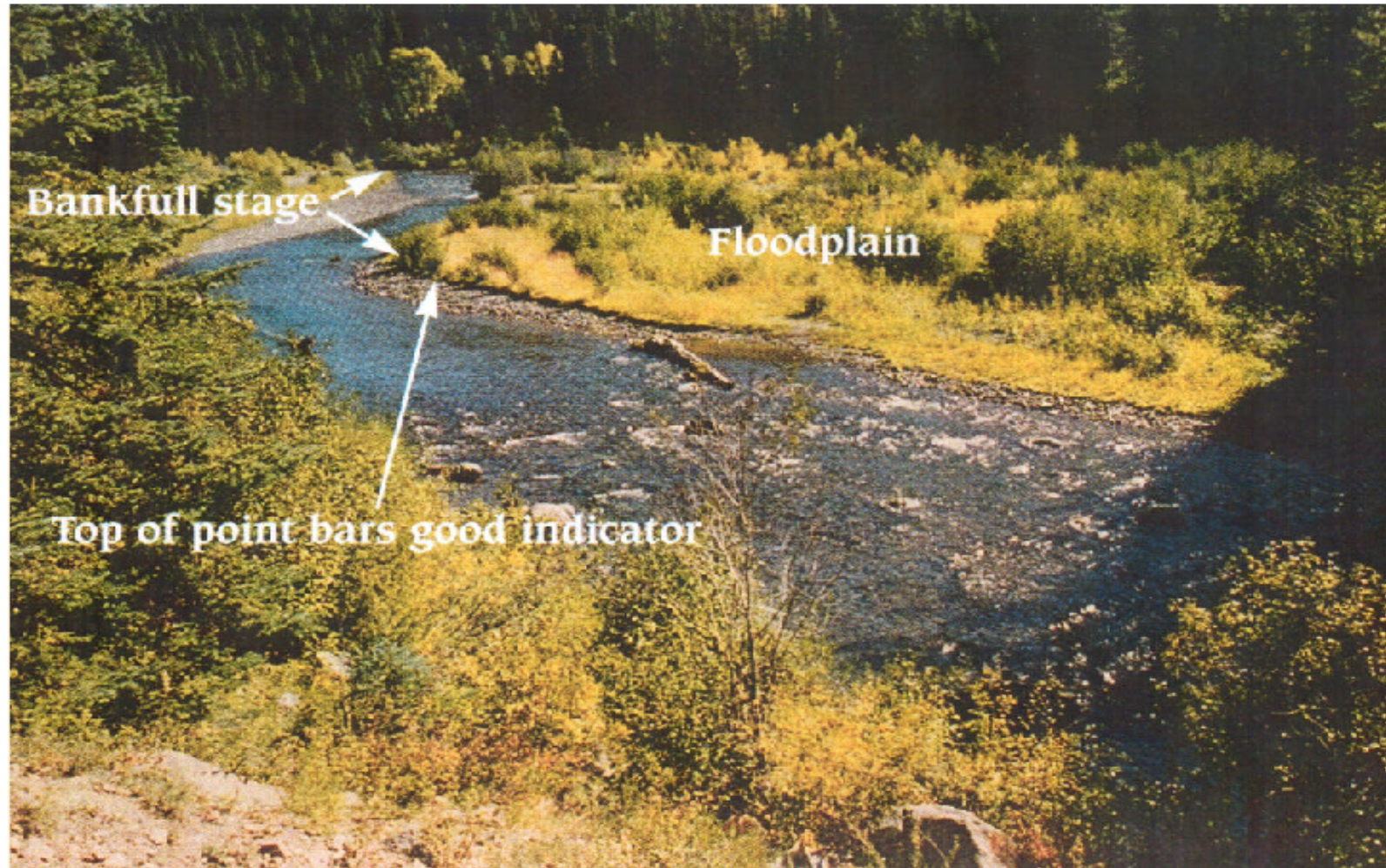
- quaderno di campagna, matite, carta topografica, bussola...
- ricevitore GPS palmare
- stazione totale
- ricevitore GPS differenziale
-

La precisione del dato acquisito è diversa e dipende dalle risorse disponibili (strumenti e personale) e dalle finalità del lavoro

Elementi che devono essere rilevati:

- limiti alveo di magra,
 - limiti alveo pieno,
 - limiti alveo di portata dominante
 - limiti della pianura alluvionale
 - riffles e pools
 - sponde e loro stato
 - corpi sedimentari
 - opere antropiche
 - sezioni d'alveo
 - campioni di sedimenti (dell'alveo e delle sponde)
 -
-
-

Limiti di bankfull



da Fisrwg, 1998



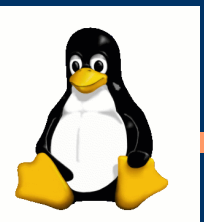
GRASS GIS



Tutti questi dati, acquisiti in campagna, devono poter essere inseriti all'interno di un sistema informativo geografico per essere gestiti ed interpretati.

In quest'ottica diventa fondamentale poter disporre di un GIS completo, testato e libero.

Grass Gis è un GIS Open Source, disponibile per piattaforme Windows, MacOS e Linux. La licenza GPL, che ne garantisce la libertà di utilizzo, verifica, modifica e distribuzione, lo rende, all'atto pratico, gratuito e quindi estremamente conveniente sia per le pubbliche amministrazioni che per i professionisti.



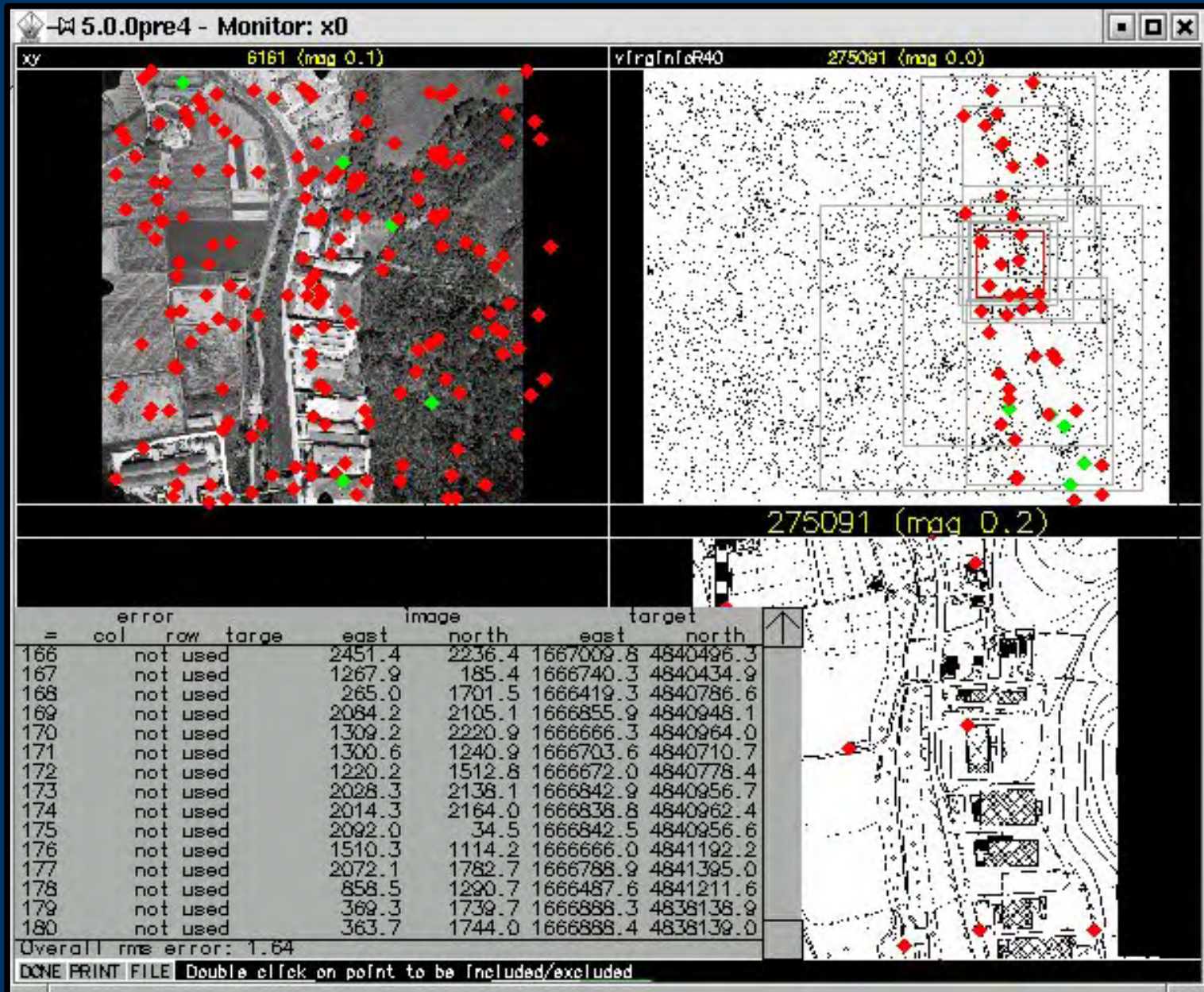
Importazione dei dati di campagna

L'inserimento dei dati acquisiti in campagna all'interno del GIS può avvenire in modo differente in funzione delle modalità con il quale il dato è stato acquisito:

- georeferenziazione delle scansioni delle carte topografiche di campagna
- importazione dei dati digitali acquisiti tramite ricevitore GPS (palmare o differenziale)
-

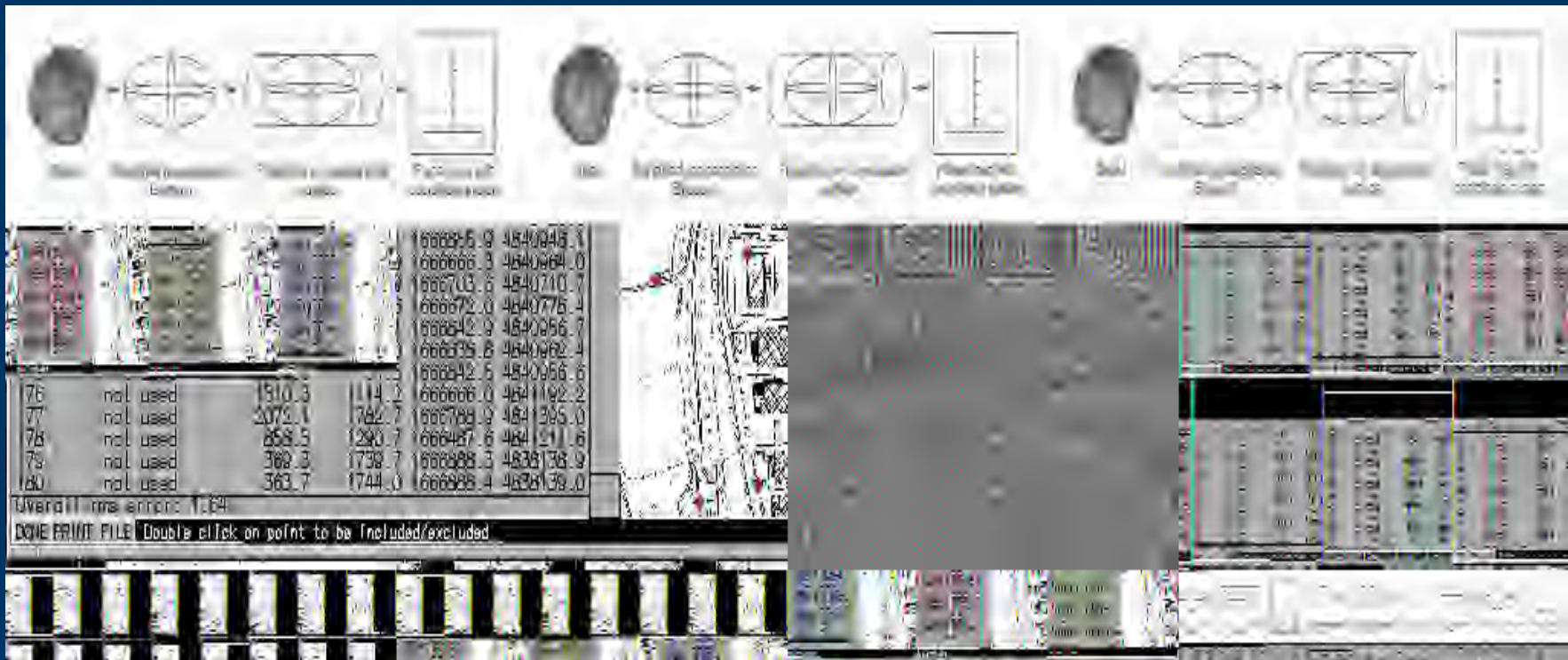


Georiferire immagini raster all'interno di Grass GIS



Sistemi di riferimento

Uno dei problemi più importanti con cui ci si deve confrontare nel momento in cui si attinge da fonti di dati differenti è quello dell'utilizzo di sistemi di riferimento diversi.



Sistemi di riferimento

Grass Gis è in grado di effettuare, utilizzando la libreria PROJ, riproiezioni di singoli punti, ma anche di intere mappe (raster e vettoriali).

E' quindi possibile, ad esempio, importare una serie di punti acquisiti nel sistema di riferimento UTM - ED50 (utilizzato ad esempio nell'ambito della cartografia digitale relativa al PAI del Tevere) per poi riproiettarli in un sistema Gauss-Boaga - Roma40 (maggiormente utilizzato in Italia).

Sistemi di riferimento

Esempio di
file PROJ.INFO
di una
location

Gauss-Boaga
Roma40
fuso Est



```
name: Transverse Mercator
datum: rome40
towgs84: -104.1,-49.1,-9.9,0.971,-2.917,0.714,-11.68
proj: tmerc
ellps: international
a: 6378388.0000000000
es: 0.0067226700
f: 297.0000000000
lat_0: 0.0000000000
lon_0: 15.0000000000
k_0: 0.9996000000
x_0: 2520000.0000000000
y_0: 0.0000000000
```

Digitalizzazione dati geometrici

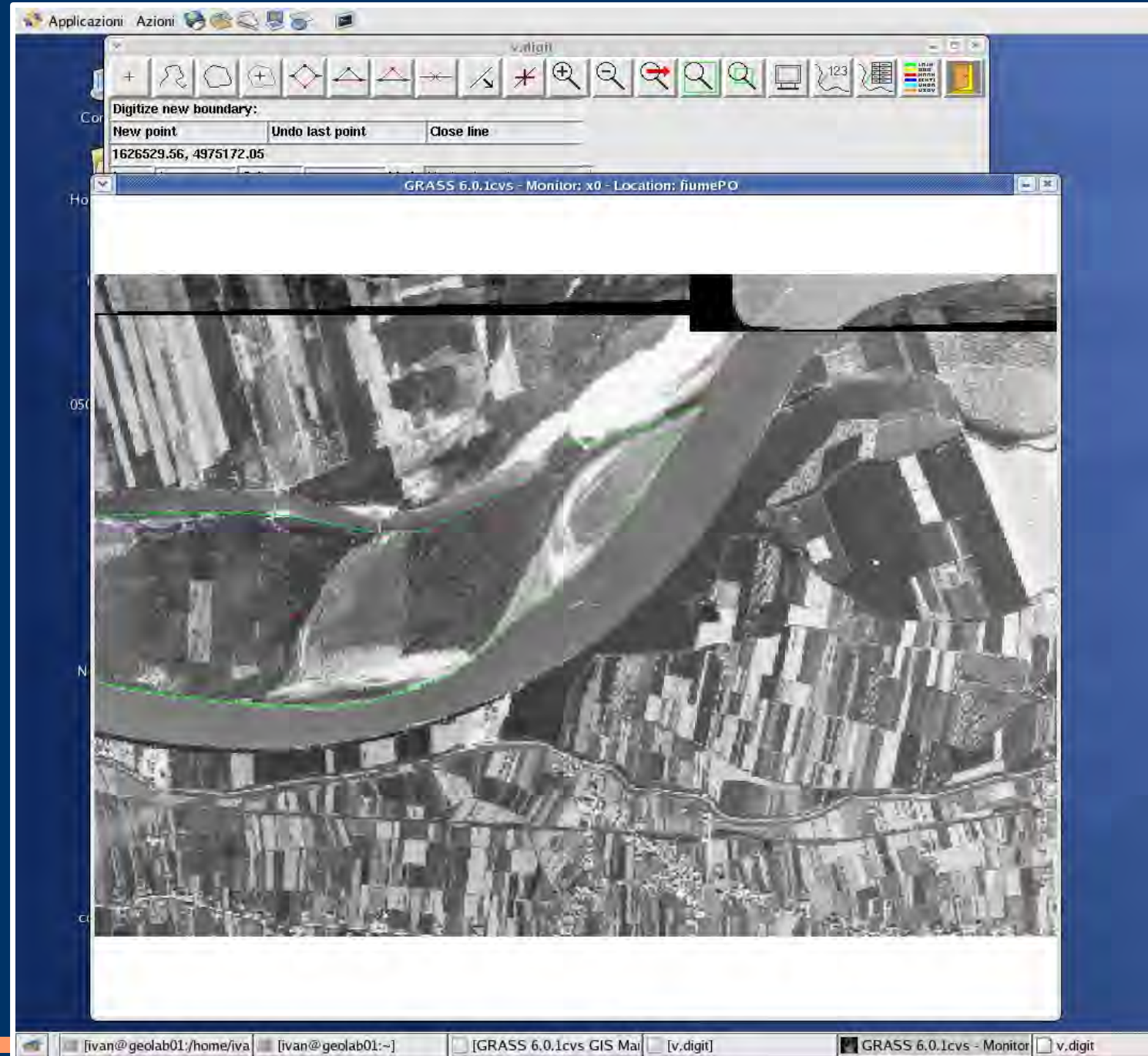
L'utilizzo combinato di cartografia digitale e dati di campagna consente di procedere alla definizione, tramite digitalizzazione manuale, della geometria dei corpi sedimentari, dell'alveo di magra e di tutti gli elementi precedentemente citati.

Questa fase, sebbene talvolta sottovalutata, rappresenta un elemento di criticità del sistema.

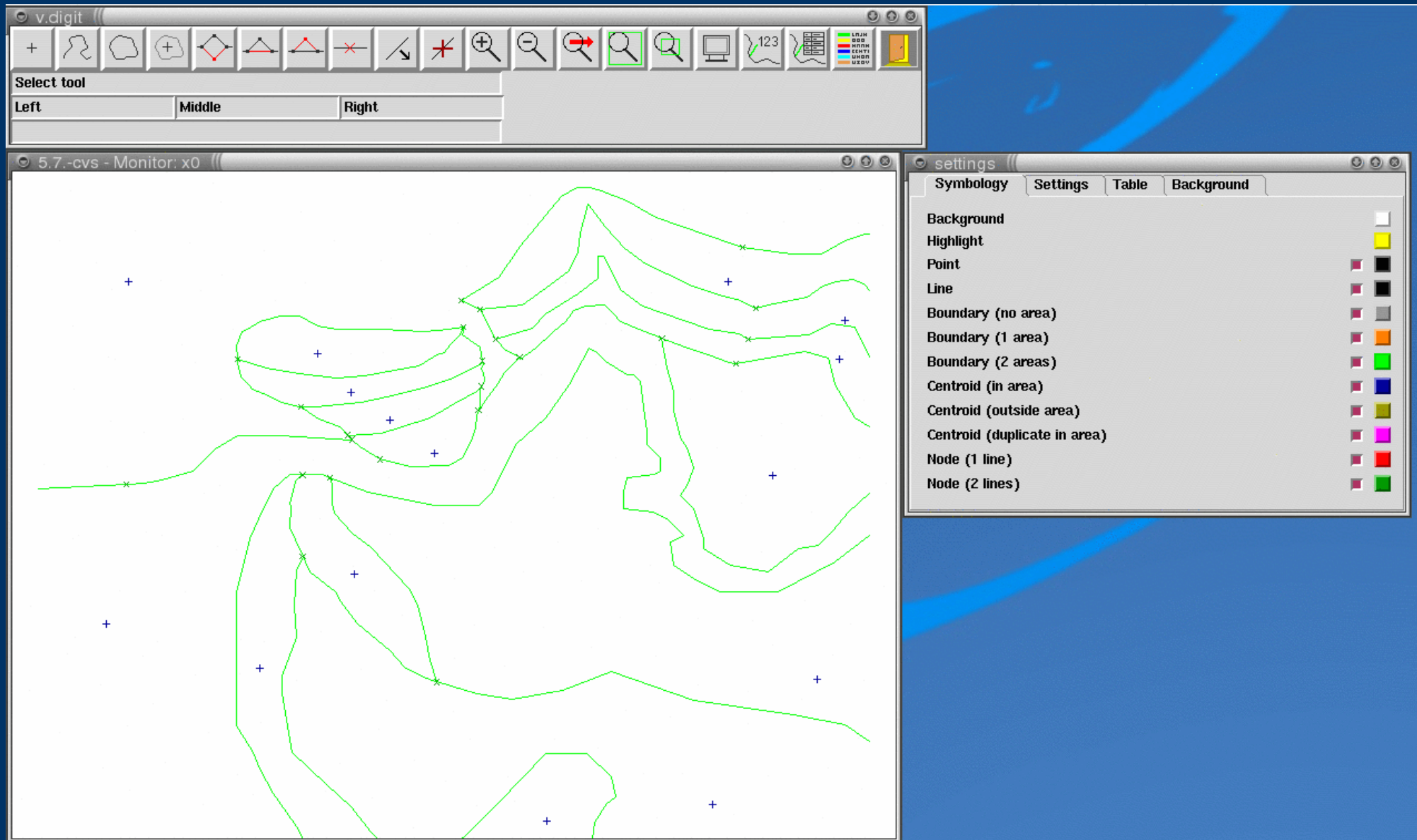
La scarsa attenzione dell'operatore e talvolta l'inadeguatezza dei mezzi software determinano infatti la creazione di elementi geometrici topologicamente scorretti. Grass Gis, consente di verificare la qualità della topologia del dato geometrico.

Digitalizzazione dati geometrici

La digitalizzazione manuale, in Grass GIS non prevede la ripetizioni dei “boundary” degli oggetti in quanto le aree vengono identificate con il centroide contenuto entro “boundaries” chiusi.



Digitalizzazione dati geometrici



Topologia di un file vettoriale elementare

The screenshot displays the GRASS GIS interface with two main windows: **v.digit** and **v.build**.

v.digit window:

- Toolbar: Contains various drawing tools like lines, polygons, and points.
- Select tool: Buttons for Left, Middle, and Right mouse button actions.
- Map display: Shows a green vector map with several closed polygons and open lines. Some vertices are marked with small '+' symbols.

v.build window:

- Creates topology for GRASS vector data.
- Nome del vettoriale in input (string, required): `errori_digit1`
- Name of vector map where erroneous vectors: (empty field)
- Build topology or dump topology or spatial index:
 - `build` - build topology
 - `dump` - write topology to st
 - `edump` - write spatial index
- Command execution output:

```
v.build map=errori_digit1 option=build
Building topology ...
Registering lines:
10 primitives registered
Building areas:

3 areas built
1 isles built
Attaching islands:

Attaching centroids:
Topology was built.
Number of nodes      : 8
Number of primitives : 10
Number of points     : 0
Number of lines      : 0
Number of boundaries : 8
Number of centroids  : 2
Number of areas      : 3
Number of isles      : 1
Number of areas without centroid : 1
```
- Buttons: Run, Help.

The bottom of the image shows the Windows taskbar with various application icons and the system clock showing 11:16.

Integrazione con DBMS

L'integrazione di Grass Gis con alcuni dei DBMS (DataBase Management Systems) liberi maggiormente diffusi (come PostgreSQL o MySQL), assieme alla capacità di importare shapefiles e tabelle .dbf ad essi connesse, permette la creazione di database geografici anche estremamente complessi.

Al singolo elemento vettoriale possono quindi essere associate tutte le informazioni di carattere morfologico e sedimentario che sono state acquisite nella fase di rilevamento.

Integrazione con DBMS ed altri Software Liberi per la gestione del dato territoriale

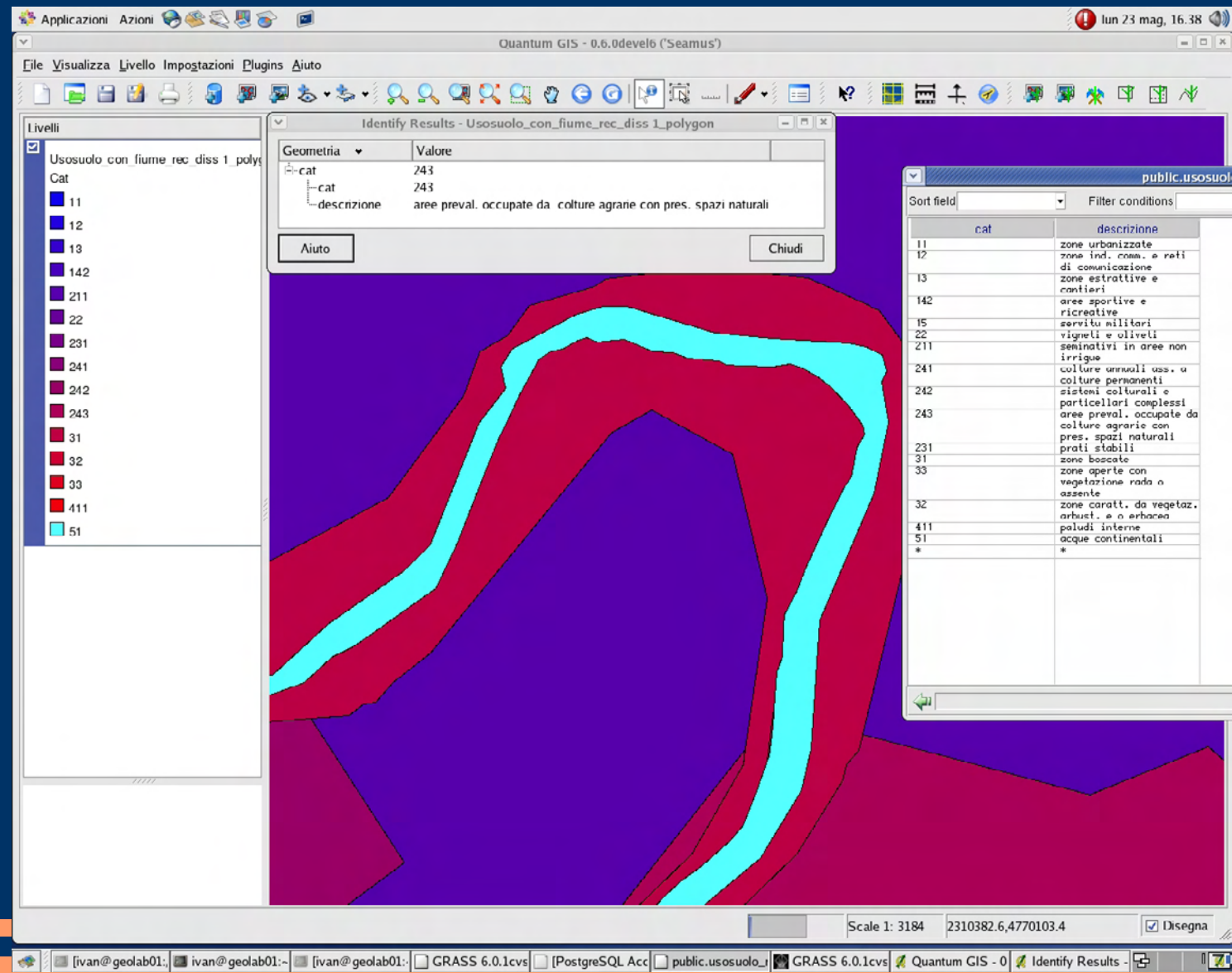


Qgis,

PgAccess



PostgreSQL,

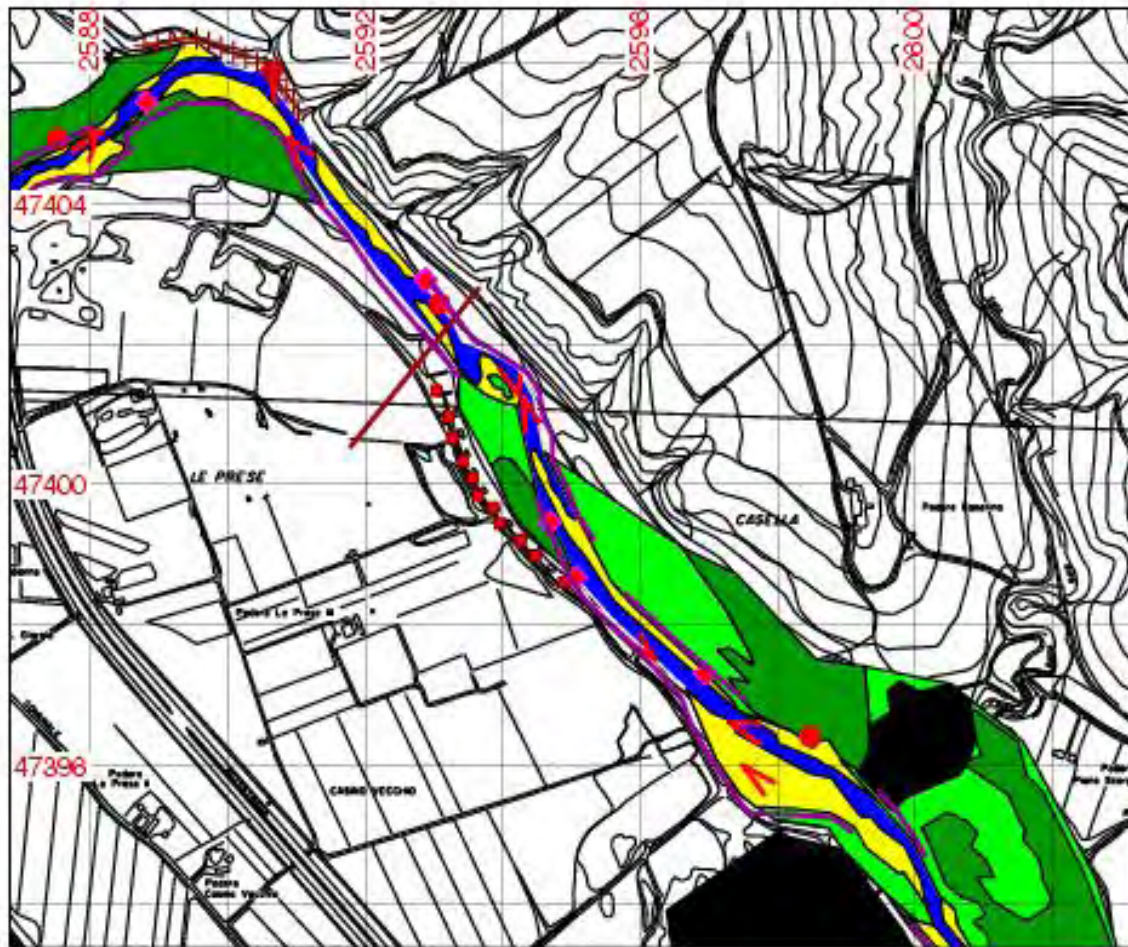


Livelli di informazione e collegamento a tabelle diverse

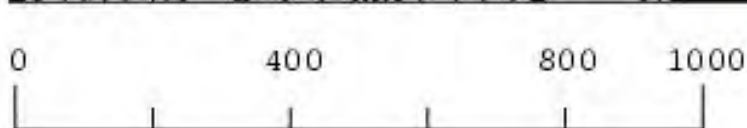
In Grass GIS, ad un singolo elemento vettoriale possono essere associate più informazioni in ragione di ciò che tale oggetto rappresenta:

ES: una gabbionata a difesa di una sponda sarà rappresentata con un'unica linea che sarà collegata tramite livello 1 alla tabella Opere Antropiche e tramite livello 2 alla tabella Sponde

Esempio di output cartografico



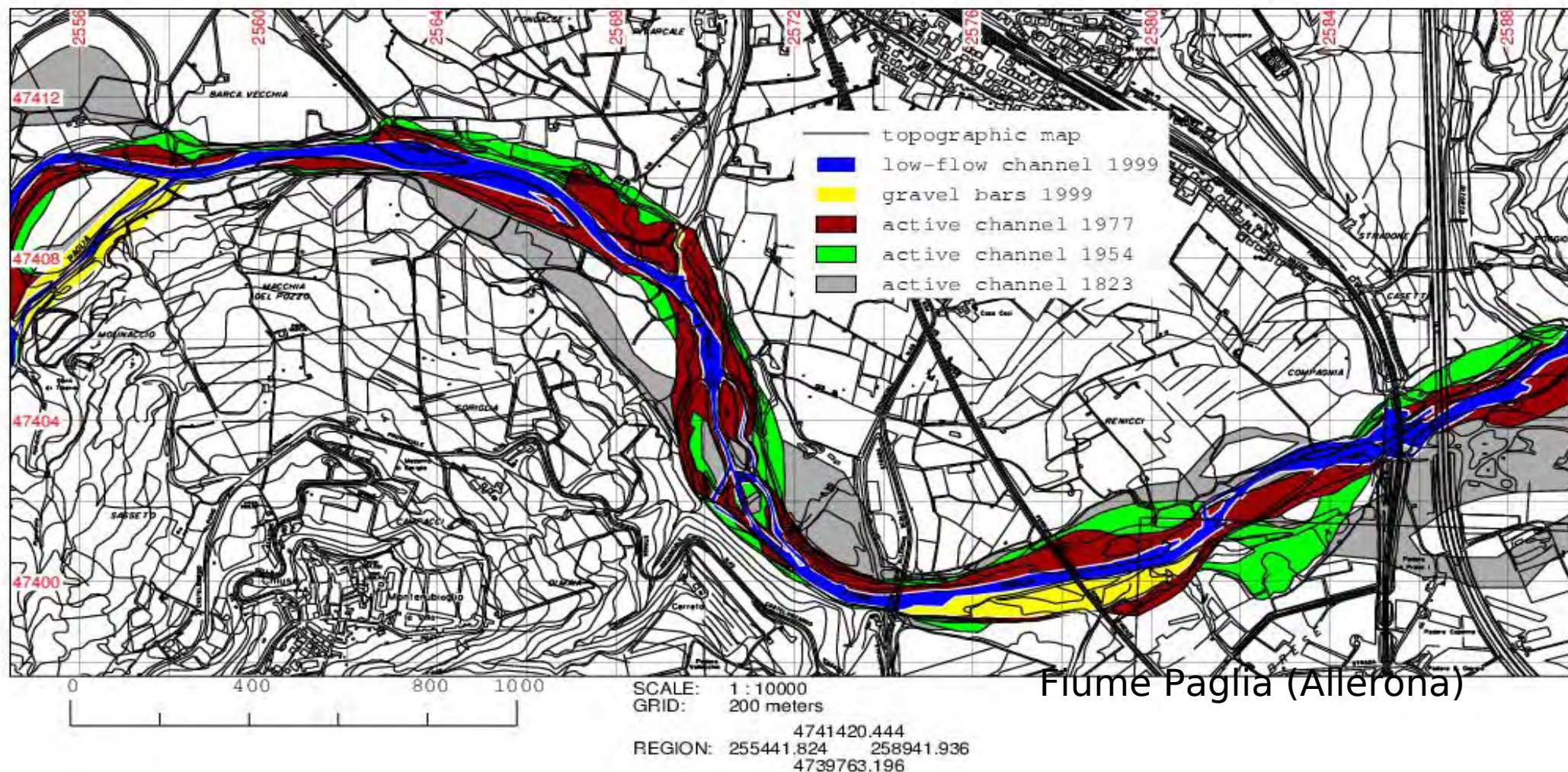
- + rip rap
- erosion banks
- cross-sections
- baffles
- ◆ details pictures
- river pictures
- bed sediment samples
- quarry
- gravel and cobble bars
- sedimentary bodies with stable trees
- vegetated sedimentary bodies
- low flow channel
- topographic map



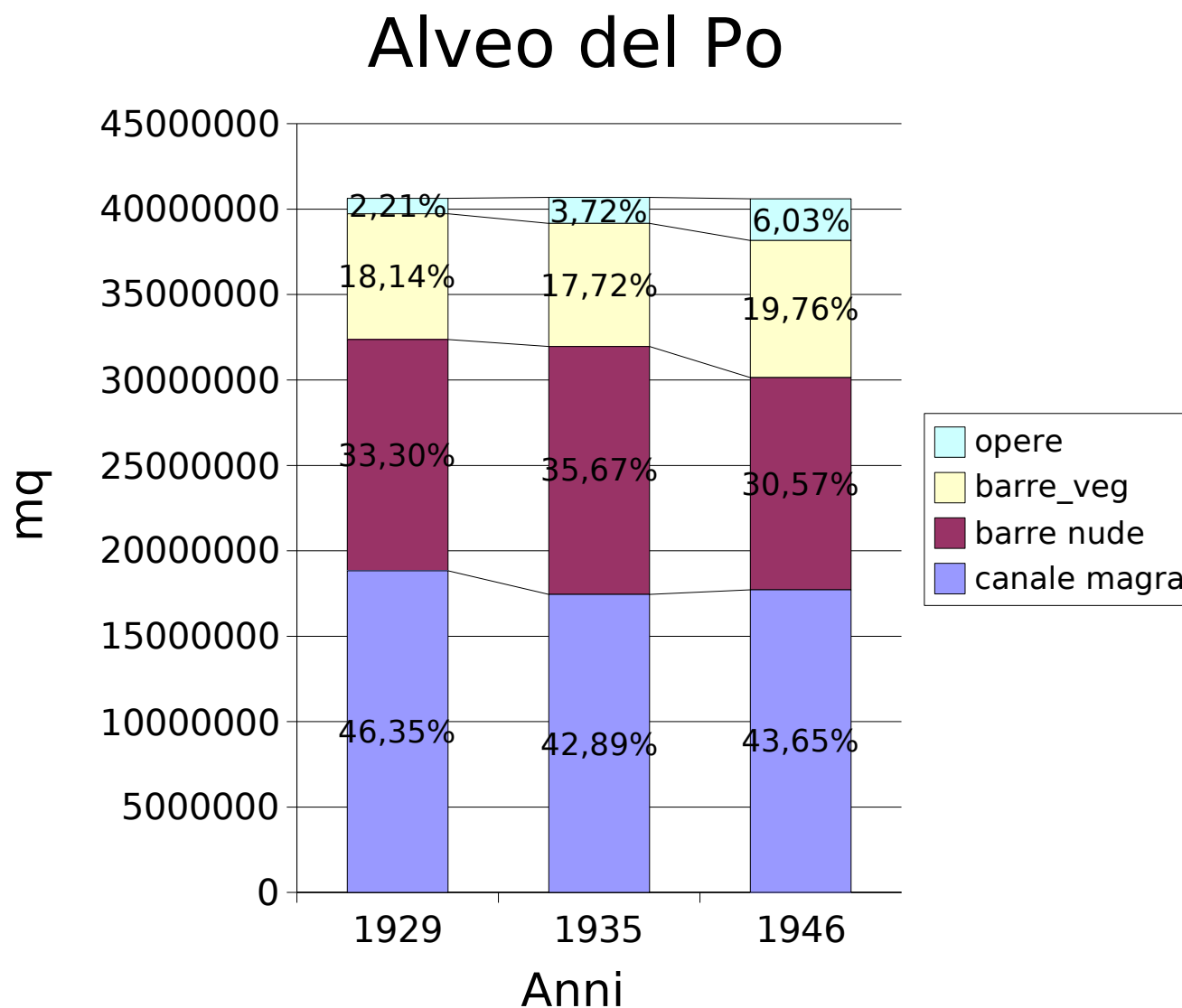
SCALE: 1 : 10000
GRID: 200 meters

REGION: 4740680.148
258680.928 260325.296
4739336.928

Analisi storica dell'evoluzione dell'alveo di un fiume



Analisi storica dell'evoluzione dell'alveo di un fiume



Monitoraggio dell'evoluzione di una sponda fluviale

Sponda esterna di un'ansa del fiume Paglia.

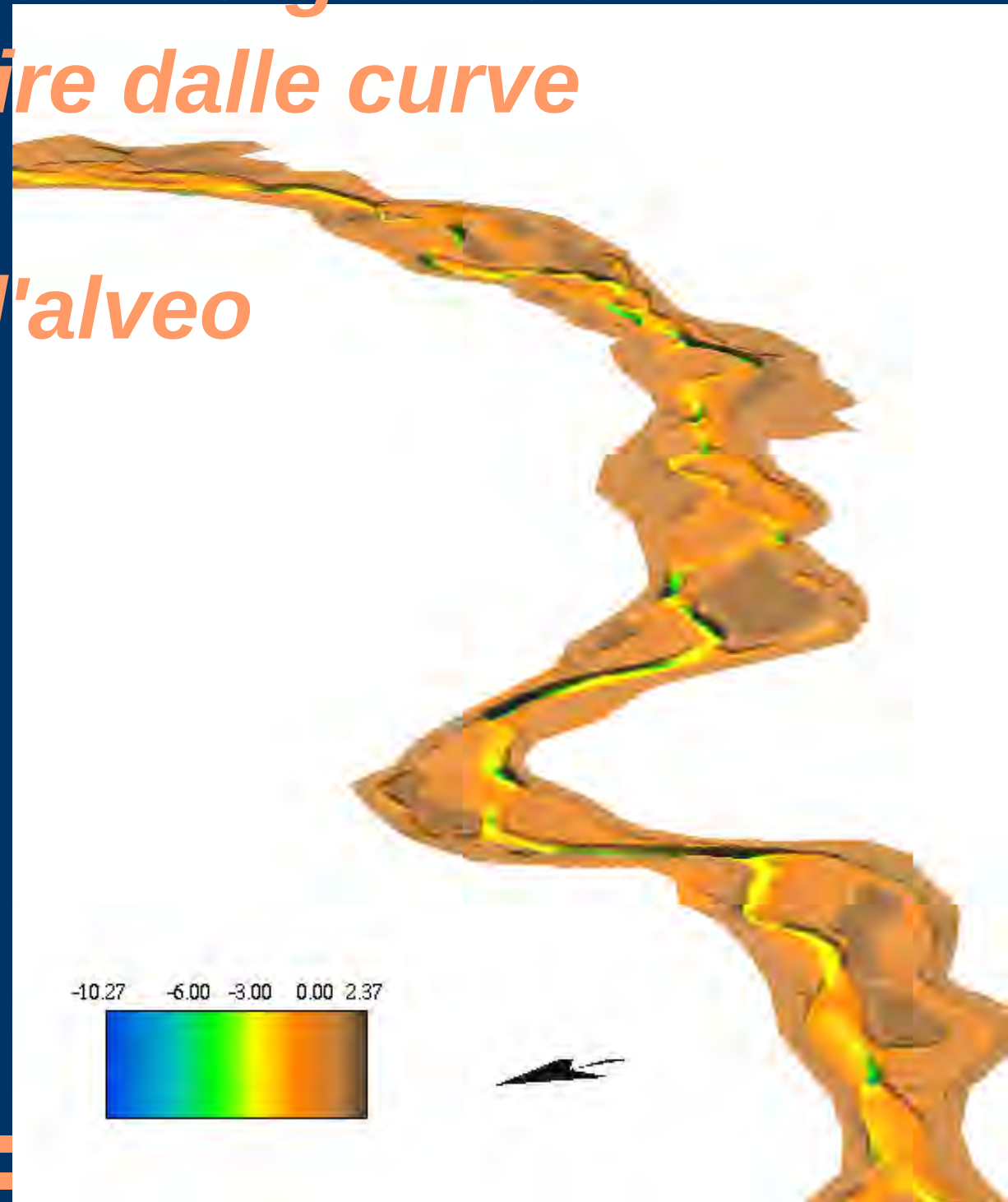
Fotografia: 1999

Linea rossa: 2004



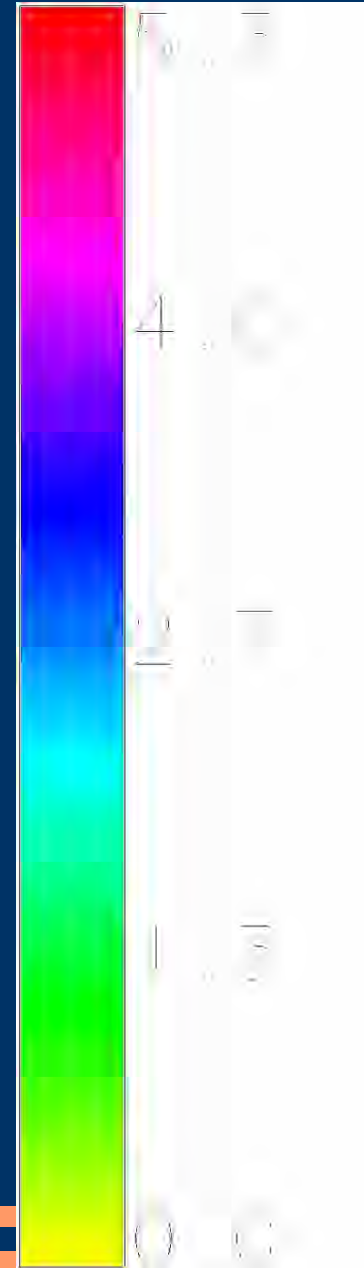
Creazione di modelli digitali del letto dell'alveo a partire dalle curve batimetriche o dalle sezioni d'alveo

Interpolazione di
curve di livello e
punti sparsi,
creazione di modelli
digitali raster,
visualizzazione 3D e
analisi dei volumi

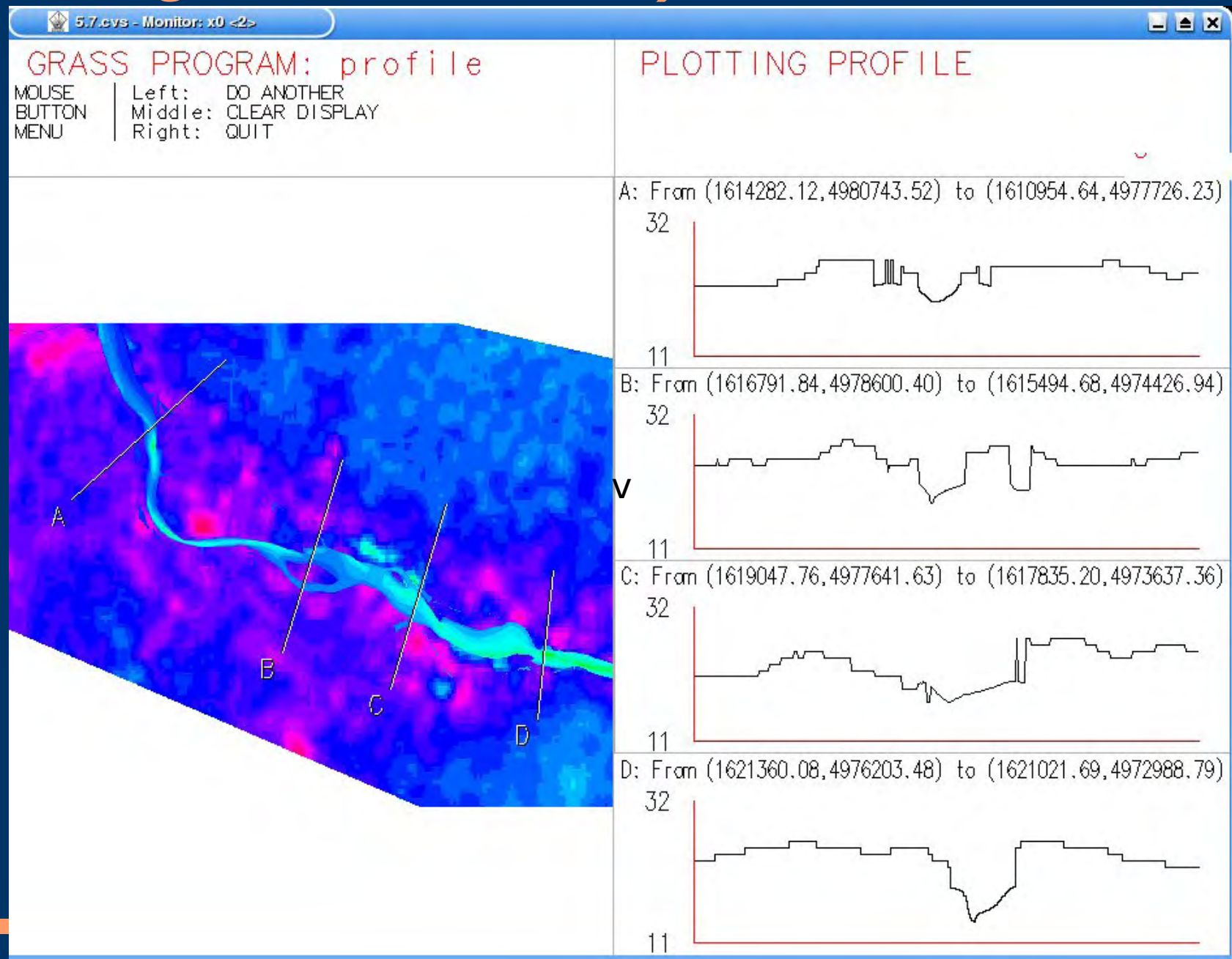


Utilizzo di modelli digitali del terreno per la valutazione delle aree esondabili e dei tiranti idrici

Elaborazione
dei risultati di
simulazioni
idrauliche
effettuate
tramite
software
dedicato (es:
HEC-RAS,
MIKE11, ecc..)



Integrazione dati SRTM (o altri dati relativi al modello digitale del terreno) e dati batimetrici



USLE e i modelli derivati per la stima dell'erosione del suolo

- Universal Soil Loss Equation USLE

- Prodotta da USDA (US Dep. Agric.) è un'equazione empirica per la stima del suolo eroso

- Creata per fini agricoli

- Equazione intuitiva

Integrazione con i GIS perchè:

- Facilità nell'eseguire le operazioni cella per cella
 - Facilità nel calcolare parametri topografici e idrologici necessari
-
-

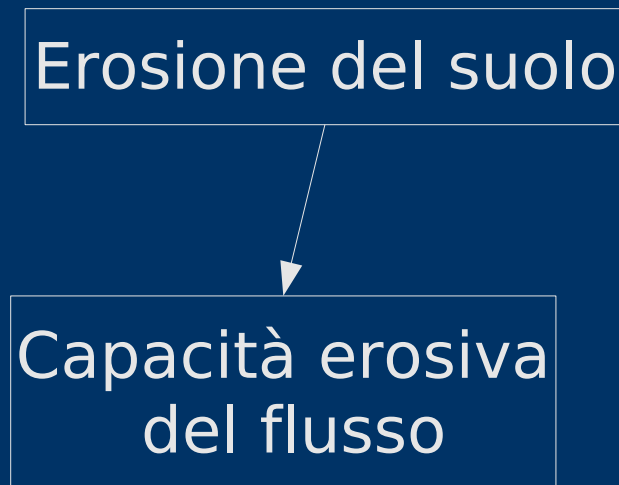
Classificazione dei modelli per la stima dell'erosione dei suoli

Modelli	APPROCCIO		SCALA TEMPORALE	
	Empirici	Fisicamente basati	Singolo evento	Annuale
RUSLE	X			X
MUSLE	X		X	
AGNPS		X	X	
CREAMS		X		X
USPED	X			X
SIMWE		X	X	
EUROSEM		X	X	
WEPP		X	X	X

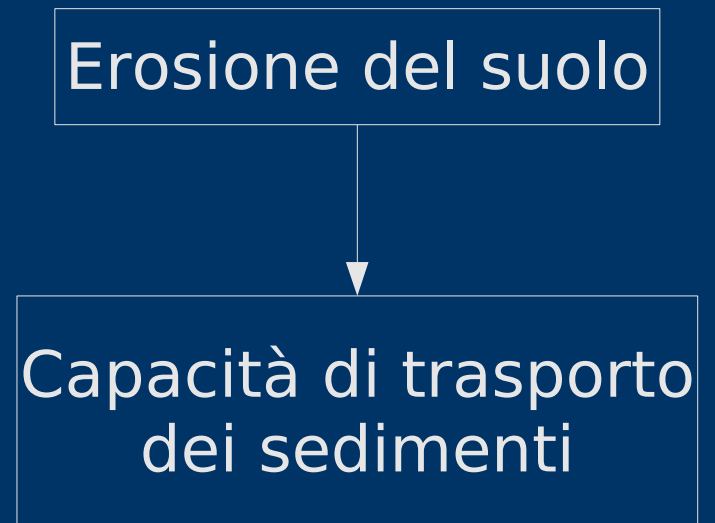
“Erosion limited” e “transport limited”



Modelli Erosion limited



Modelli Transport limited



“Erosion limited” e “transport limited”

Erosion limited

Esempio: RUSLE

il flusso idrico può trasportare un'infinità quantità di sedimenti, e la quantità di suolo eroso è limitata solo dalla capacità dell'acqua di distaccare sedimenti.

Transport limited

Esempio: USPED

il flusso idrico può trasportare una limitata quantità di sedimenti definita dalla capacità di trasporto del flusso idrico stesso. La quantità di sedimenti trasportati dall'acqua è sempre pari alla sua massima capacità di trasporto.



Modelli misti

SIMWE WEPP EUROSEM

Modelli a scala annuale

RUSLE

Wischmeier e Smith, 1978; Mitasova, 1995

- VALUTA SOLO L'EROSIONE
- *Largamente testato e utilizzato in ambito scientifico*
 - *Modello semplice*
- *Facilmente integrabile in un GIS*

USPED

Moore e Burch, 1986; Mitasova, 1996

- VALUTA EROSIONE E DEPOSIZIONE
 - *Modello semi-empirico semplice*
 - *Considera la deposizione*
 - *Facilmente integrabile in un GIS*

UNITÀ DI MISURA DEI PARAMETRI RUSLE

Table A-1.
Dimensions of universal soil loss equation (USLE) factors

Factor	Symbol	Dimensions	Typical U.S. customary units
Rainfall intensity	i or I	$\frac{\text{length}}{\text{time}}$	$\frac{\text{inch}}{\text{hour}}$
Rainfall energy per unit of rainfall	e	$\frac{\text{length} \cdot \text{force}}{\text{area} \cdot \text{length}}$	$\frac{\text{foot} \cdot \text{tonf}}{\text{acre} \cdot \text{inch}}$
Storm erosivity	EI	$\frac{\text{length} \cdot \text{force} \cdot \text{length}}{\text{area} \cdot \text{time}}$	$\frac{\text{hundreds of foot} \cdot \text{tonf} \cdot \text{inch}}{\text{acre} \cdot \text{hour}}$
Soil loss	A	$\frac{\text{mass}}{\text{area} \cdot \text{time}}$	$\frac{\text{ton}}{\text{acre} \cdot \text{year}}$
Annual erosivity	R	$\frac{\text{length} \cdot \text{force} \cdot \text{length}}{\text{area} \cdot \text{time} \cdot \text{time}}$	$\frac{\text{hundreds of foot} \cdot \text{tonf} \cdot \text{inch}}{\text{acre} \cdot \text{hour} \cdot \text{year}}$
Soil erodibility	K	$\frac{\text{mass} \cdot \text{area} \cdot \text{time}}{\text{area} \cdot \text{length} \cdot \text{force} \cdot \text{length}}$	$\frac{\text{ton} \cdot \text{acre} \cdot \text{hour}}{\text{hundreds of acre} \cdot \text{foot} \cdot \text{tonf} \cdot \text{inch}}$
Slope length	L	$\left(\frac{\text{length}}{\text{length}}\right)^n$	$\left(\frac{L}{L}\right)^n$

FATTORI DI CONVERSIONE

Conversion to SI Metric System

Table A-2.
Conversion factors for universal soil loss equation (USLE) factors.

To convert from	U.S. customary units	Multiply by	To obtain:	SI Units
Rainfall intensity, i or I	$\frac{\text{inch}}{\text{hour}}$	25.4	$\frac{\text{millimeter}}{\text{hour}}$	$\frac{1}{h} \frac{\text{mm}}{h}$
Rainfall energy per unit of rainfall, e	$\frac{\text{foot-tonf}}{\text{acre-inch}}$	$2.638 \cdot 10^{-4}$	$\frac{\text{megajoule}}{\text{hectare-millimeter}}$	$\frac{2}{ha \cdot mm} \frac{MJ}{ha \cdot mm}$
Storm energy, E	$\frac{\text{foot-tonf}}{\text{acre}}$	0.006701	$\frac{\text{megajoule}}{\text{hectare}}$	$\frac{3}{ha} \frac{MJ}{ha}$
Storm erosivity, EI	$\frac{\text{foot-tonf-inch}}{\text{acre-hour}}$	0.1702	$\frac{\text{megajoule-millimeter}}{\text{hectare-hour}}$	$\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot h} \frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot h}$
Storm erosivity, EI	$\frac{4}{\text{hundreds of foot-tonf-inch}} \frac{\text{acre-hour}}$	17.02	$\frac{\text{megajoule-millimeter}}{\text{hectare-hour}}$	$\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot h} \frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot h}$
Annual erosivity, R^3	$\frac{\text{hundreds of foot-tonf-inch}}{\text{acre-hour-year}}$	17.02	$\frac{\text{megajoule-millimeter}}{\text{hectare-hour-year}}$	$\frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot h \cdot y} \frac{MJ \cdot mm}{ha \cdot h \cdot y}$
Soil erodibility, K^6	$\frac{\text{ton-acre-hour}}{\text{hundreds of acre-foot-tonf-inch}}$	0.1317	$\frac{\text{metric ton-hectare-hour}}{\text{hectare-megajoule-millimeter}}$	$\frac{t \cdot ha \cdot h}{ha \cdot MJ \cdot mm} \frac{t \cdot ha \cdot h}{ha \cdot MJ \cdot mm}$
Soil loss, A	$\frac{\text{ton}}{\text{acre}}$	2.242	$\frac{\text{metric ton}}{\text{hectare}}$	$\frac{t}{ha} \frac{t}{ha}$
Soil loss, A	$\frac{\text{ton}}{\text{acre}}$	0.2242	$\frac{\text{kilogram}}{\text{meter}^2}$	$\frac{kg}{m^2} \frac{kg}{m^2}$

RUSLE

$$A = R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS$$

A = suolo eroso annualmente

$$\left(\frac{\text{ton}}{\text{acre} \cdot \text{anno}} \right)$$

R = fattore di aggressività della pioggia

K = fattore di erodibilità del suolo

LS = fattore di lunghezza e pendenza del versante

C = fattore di copertura vegetale

P = fattore tecniche sistematorie (si assume unitario)

In GRASS GIS il modulo r.mapcalc (map-algebra) è in grado di combinare tra diversi layer raster attraverso operatori matematici

RUSLE R-factor *fattore aggressività della pioggia*

Eq. Rusle

$$A = R * K * C * P * LS$$

$$R = 27.38 \cdot P^{2.17}$$

Eq. Wischmeier e Smith, 1978

P = altezza di pioggia (pollici) relativa a un tempo di ritorno di 2 anni e durata 6 ore

RUSLE K-factor fattore erodibilità del suolo

Eq. Rusle

$$A=R*\mathbf{K}*C*P*LS$$

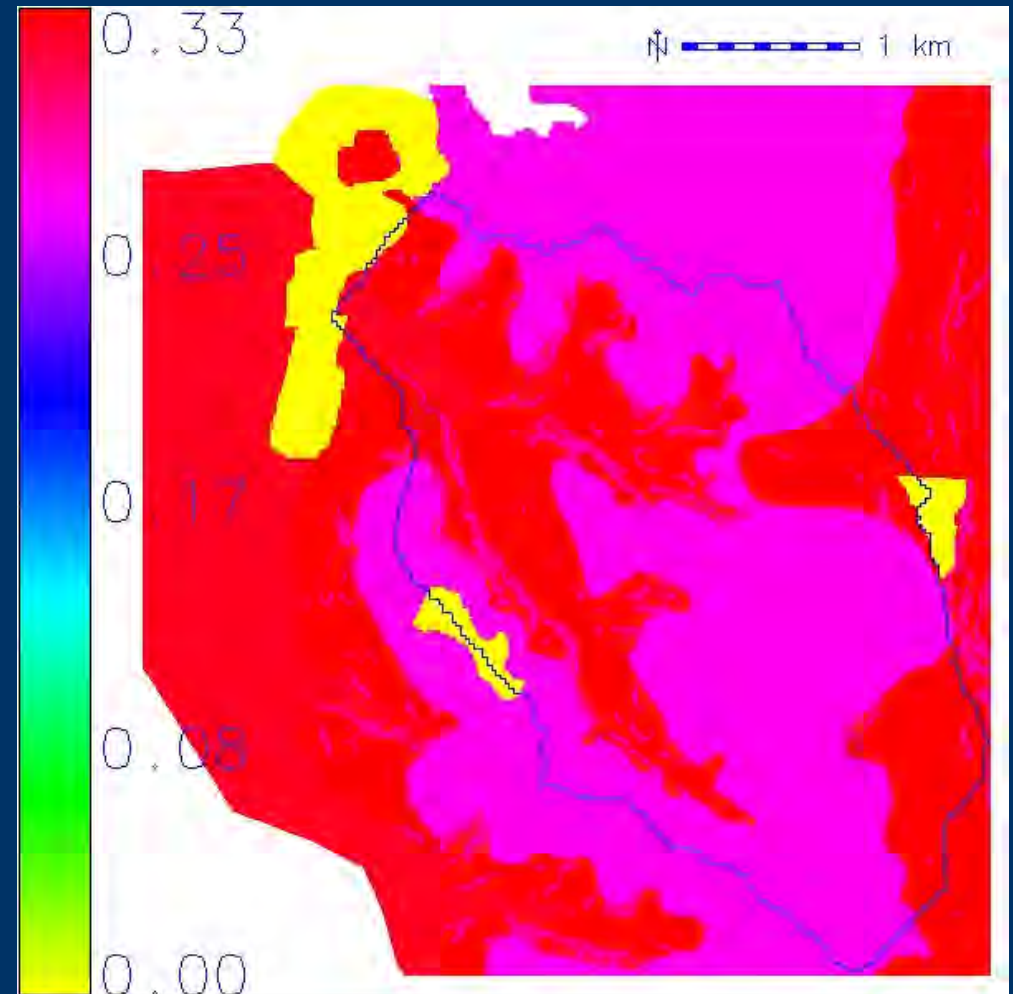
$$K=7.594*0.0034+0.0405*e^{-\left(\frac{1}{2}\right)*\left(\frac{(\ln(D_g)+1.659)}{0.7101}\right)^2}$$
$$D_g=e^{0.01\sum f_i*\ln(m_i)}$$

Dove f_t è il valore percentuale della frazione di particelle di suolo compreso nella i-esima classe
 m_i è la media aritmetica del diametro delle particelle comprese nella i-esima classe

RUSLE K-factor fattore erodibilità del suolo

Eq. Rusle

$$A=R*\mathbf{K}*C*P*LS$$

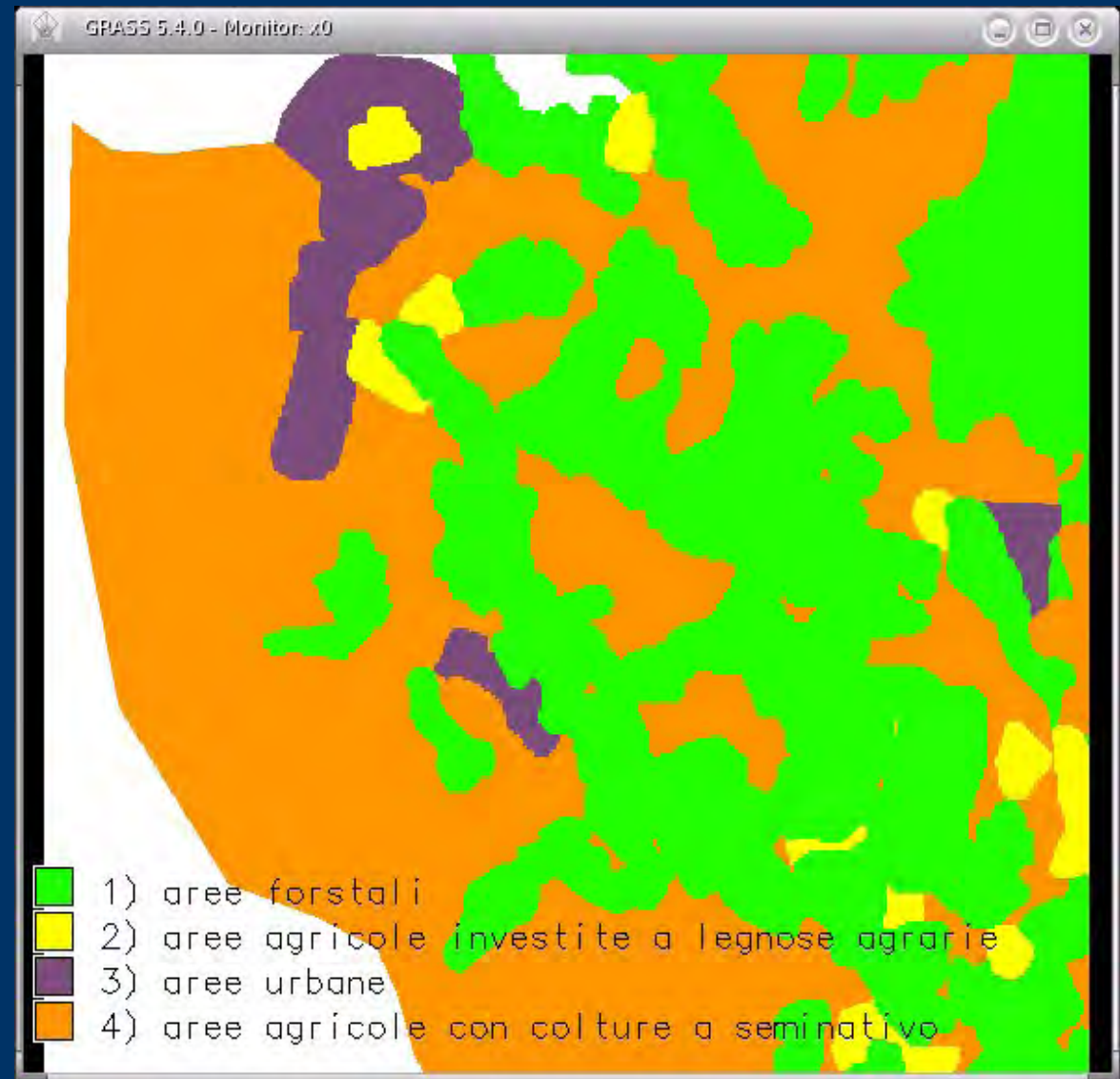


*I valori sono stati ottenuti dal nomogramma
proposto dall'SCS in funzione del tipo di suolo*

RUSLE C-factor *fattore di copertura vegetale*

Eq. Rusle

$$A=R*K*\textcolor{red}{C}*P*LS$$



Dalla mappa dell'uso del suolo.

RUSLE LS factor

fattore lunghezza e pendenza del versante

Eq. Rusle

$$A=R*K*C*P***LS**$$

$$LS = (m+1) \cdot \left(\frac{A}{a_0} \right)^m \cdot \left(\frac{\sin(b)}{\sin(b_0)} \right)^n$$

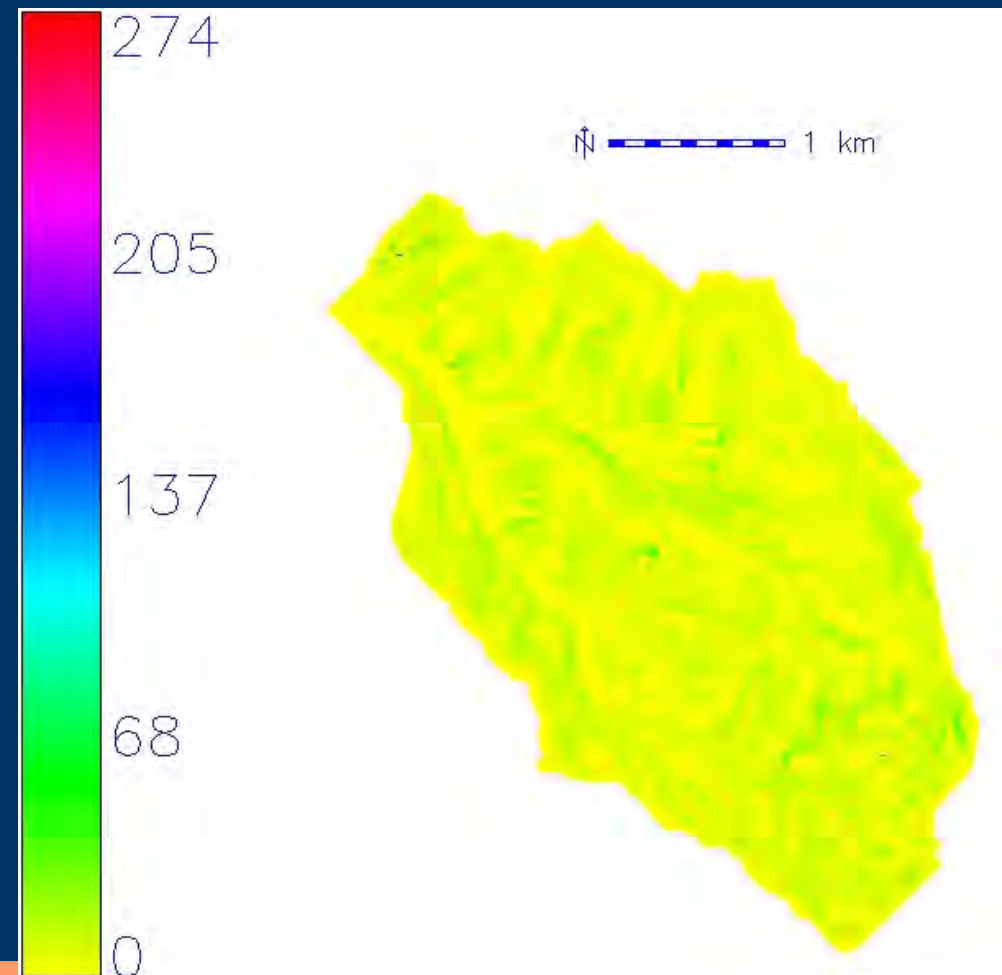
A= area contribuente di monte
b= pendenza

costanti

- $a_0 = 22.13$ m
- $b_0 = 5.14^\circ$

parametri

- $m = 1 - 1.6$ (sheet o rill erosion)
- $n = 1.3$



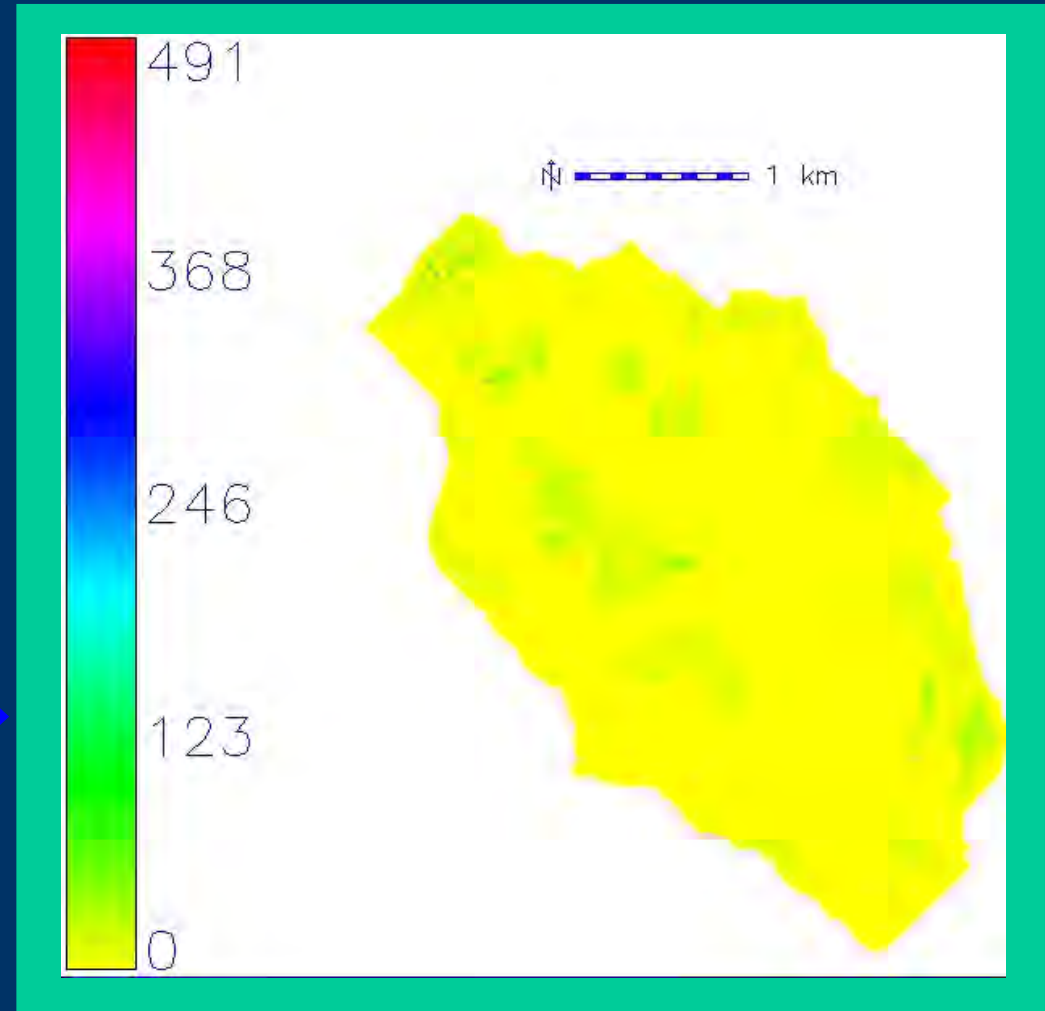
Calcolo della RUSLE

$$A = R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS$$

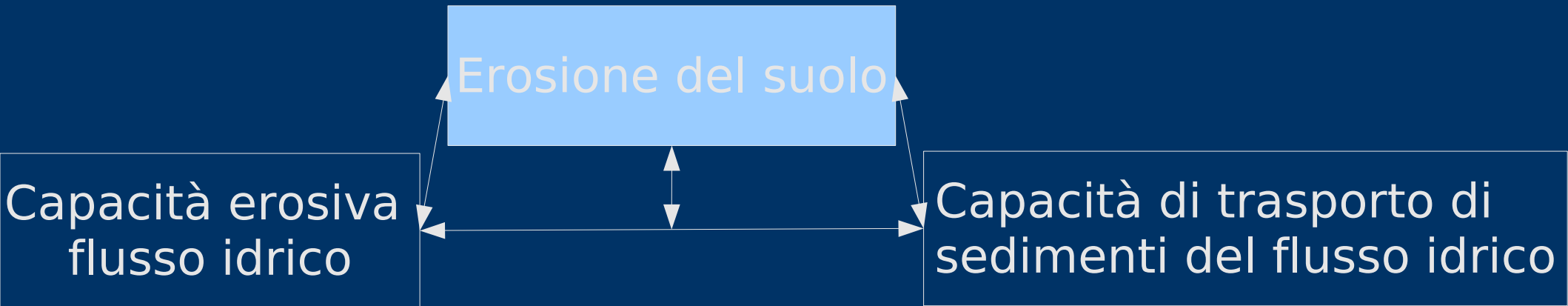
conversione in unità del S.I.

Valori espressi in
 $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{anno}$

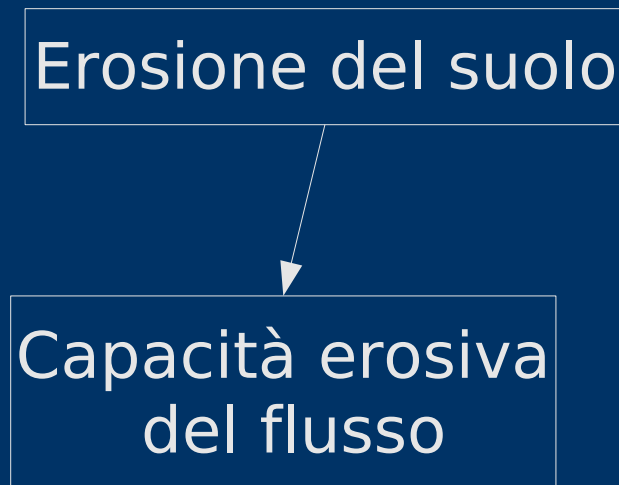
MEDIA = 2 $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{anno}$



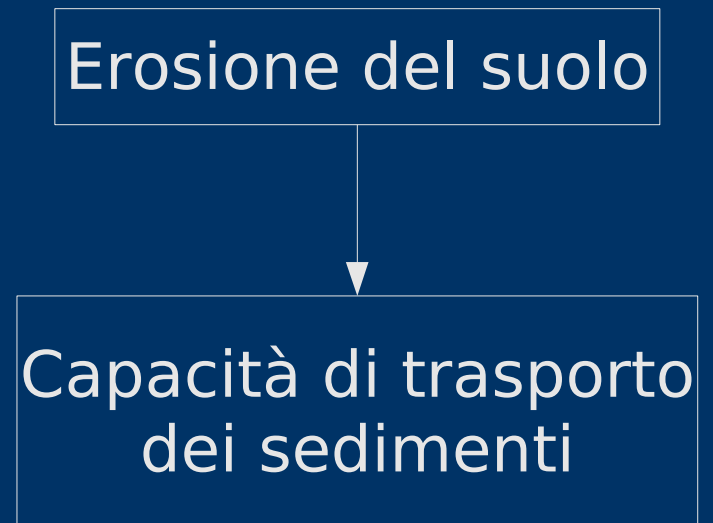
“Erosion limited” e “transport limited”



Modelli Erosion limited



Modelli Transport limited



Modello USPED

modello “transport limited”

In linea teorica

$$q_s = T = K_t \cdot (i \cdot A)^m \cdot (\sin(b))^n$$

- ♦ si ha **sedimentazione** quando q_s **diminuisce**
- ♦ si ha **erosione** quando q_s **aumenta**

q_s = flusso di sedimenti

T = capacità di trasporto di sedimenti

i = intensità di pioggia effettiva

A = area contribuyente di monte

b = pendenza

m, n = coefficienti

K_t = coefficiente della capacità di trasporto

Erosione deposizione netta

$$D = \operatorname{div}(q_s)$$

Calcolo di USPED

Si utilizzano alcuni parametri di RUSLE

$$A = K \cdot C \cdot P \cdot R \cdot LS$$

RUSLE

$$q_s = T = K_t \cdot i^m \cdot A^m \cdot (\sin(b))^n$$

USPED
teorica



$$q_s = T = R \cdot C \cdot P \cdot K \cdot A^m \cdot \sin(b)^n$$

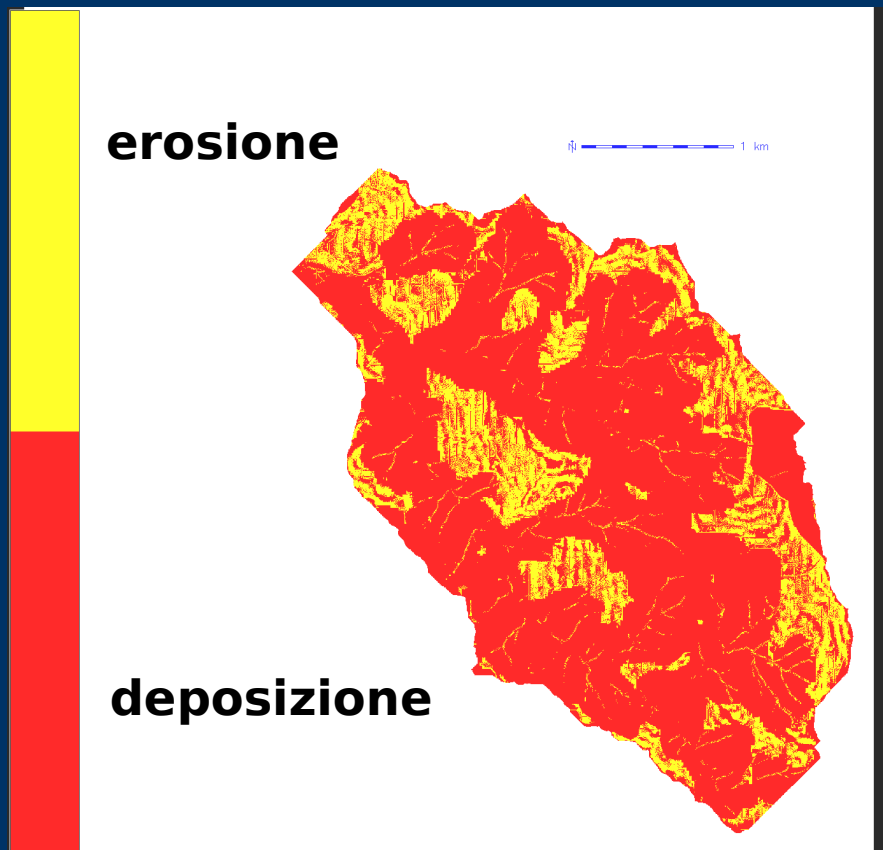
USPED effettiva

$$D = \text{div}(T)$$

In letteratura USPED viene utilizzato qualitativamente
(per trovare zone in erosione e deposizione)

Confronto *RUSLE* - *USPED*

Mappa erosione-
deposizione *USPED*



Confronto *RUSLE* - *USPED*



$$\sqrt{(\text{valore}RUSLE - \text{valore}USPED)^2}$$

Nelle sole zone in cui *USPED* ha
predetto erosione

Confronto RUSLE - USPED

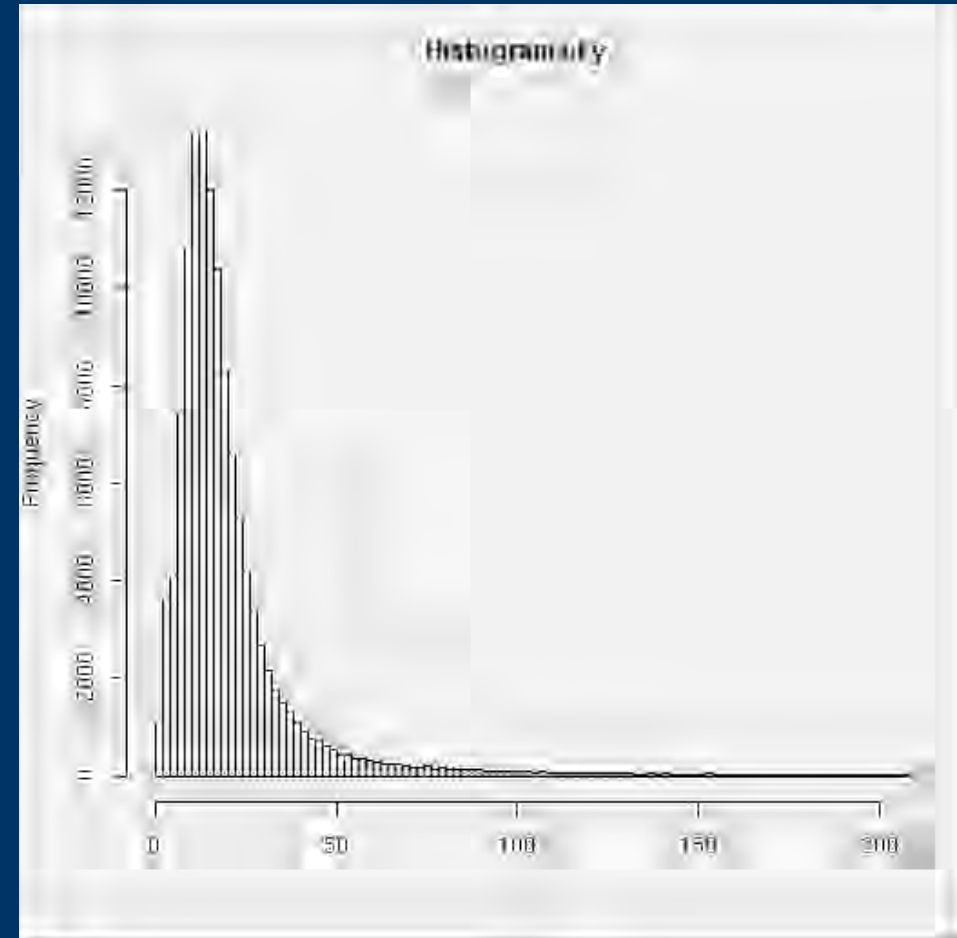
Parametri statistici dello scarto

MODA = 14 kg/m²

MEDIA = 72 kg/m²

- **Distribuzione asimmetrica**
- Esistono zone (poche) in cui si verificano **differenze enormi**

Numero di celle

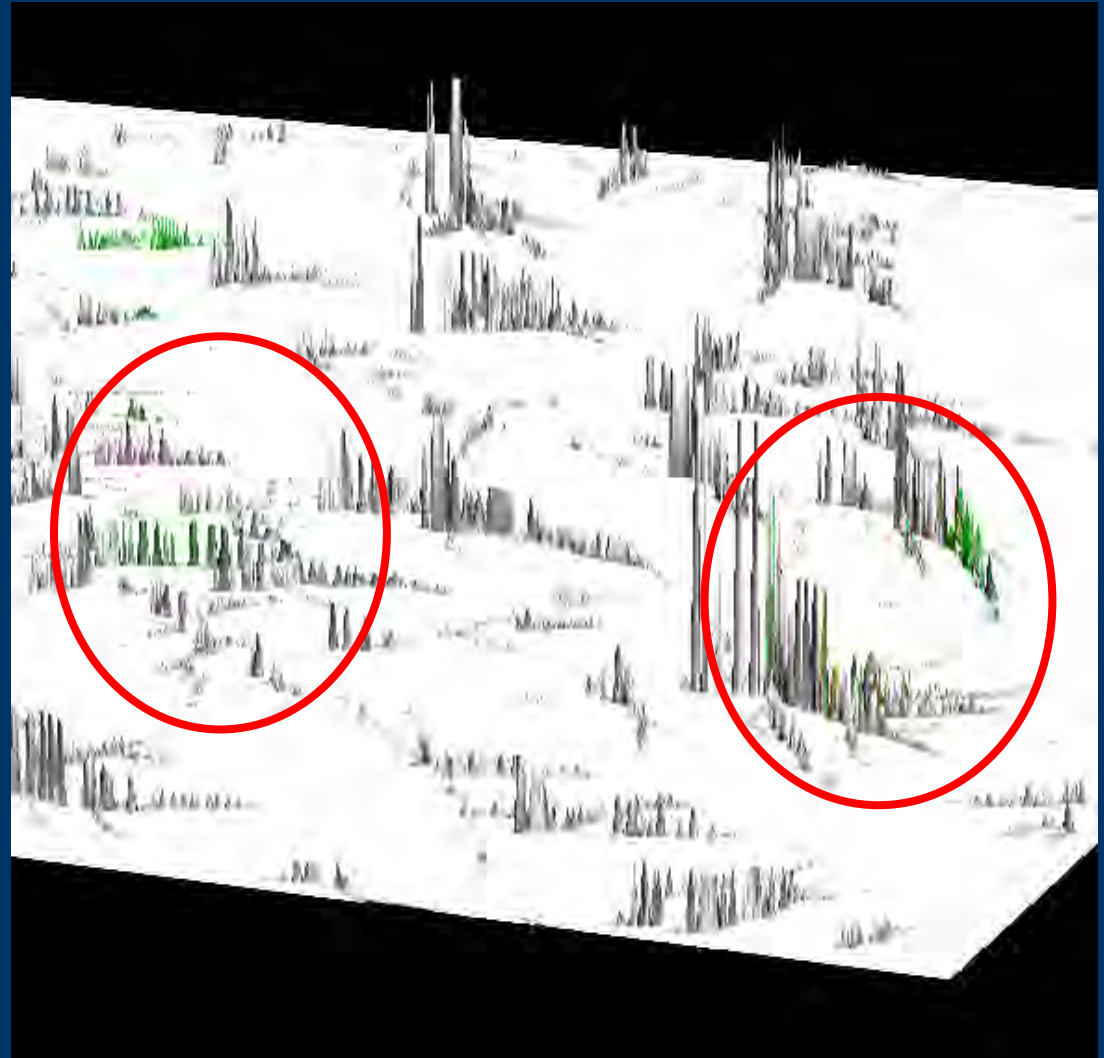


Valore assunto dalla cella

Analisi delle zone a scarto elevato

**Visualizzazione 3D
del valore dell'area
contribuente di
monte**

*Coincidenza tra aree a
elevato scarto
quadratico e ad elevato
valore dell'area
contribuente a monte
(impluvi)*



Elevazione = aree contribuenti
Colore verde = scarto elevato

Usped applicata al flusso non canalizzato

Media dello scarto = 72 kg/m²



Eliminazione delle celle relative agli impluvi dall'analisi

(Operazioni di map algebra, di buffering e trasformazione di dato vettoriale in raster)



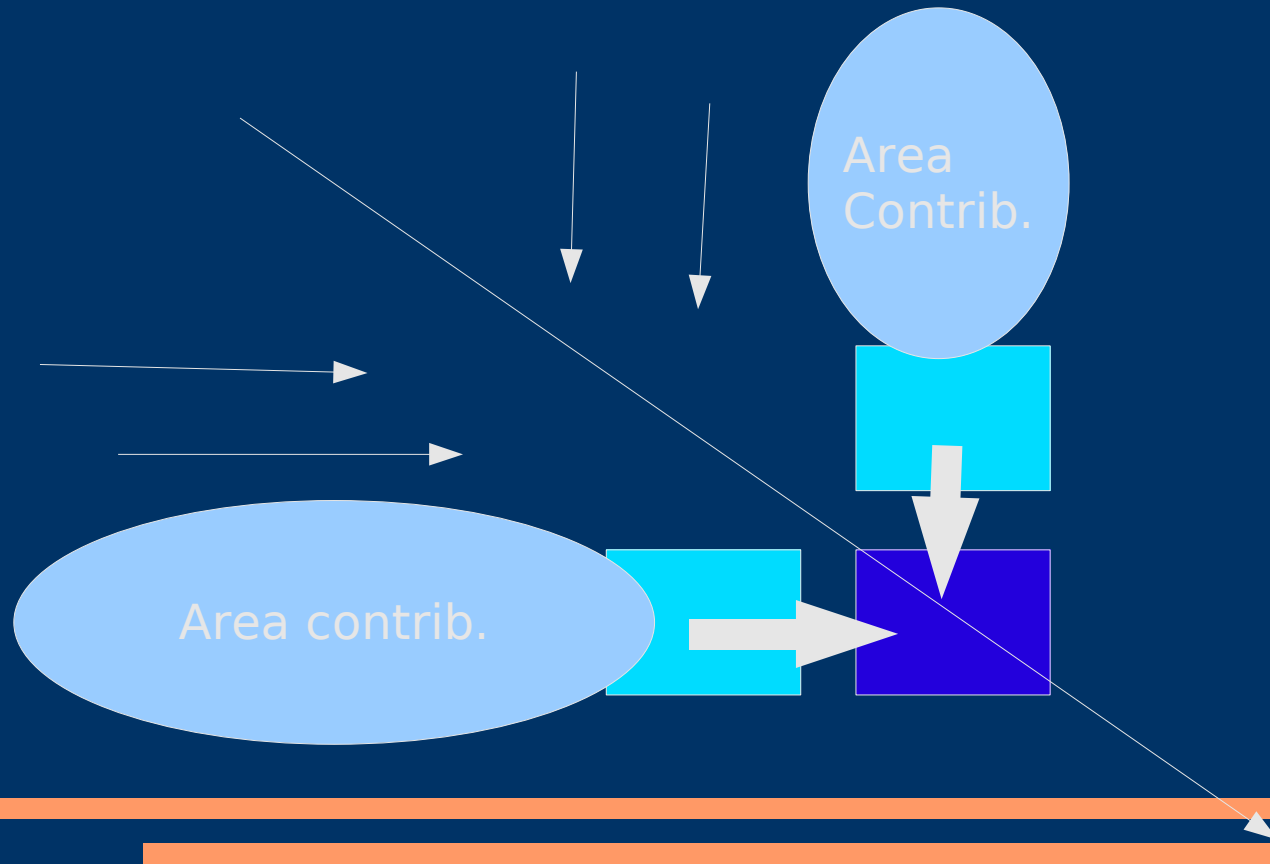
Media dello scarto assoluto = 14 kg/m²

diminuzione = **80.28%**

È quindi possibile utilizzare il modello USPED in sostituzione della RUSLE perché considera anche la deposizione (escludendo le zone di impluvio)

Perchè USPED sovrastima molto l'erosione nelle zone di impluvio?

- Ipotesi flusso di sedimenti $q_s = T$ (capacità di trasporto)
“troppo grossolana”
- Channel flow regolato da “leggi diverse”



Sediment Delivery Ratio (SDR)

- Sediment yield (SY) = ammontare di sedimenti che escono dalla sezione di chiusura di un bacino in un anno
- Suolo Eroso Annualmente (SEA) = ammontare di materiale eroso sull'intero bacino in un anno

In generale si può dire che: $SDR = (SY) / (SEA) < 1$

La risedimentazione all'interno del bacino aumenta all'aumentare delle dimensioni del bacino stesso e quindi spesso:

SDR tende a diminuire all'aumentare delle dimensioni del bacino

Stima del Sediment Delivery Ratio (SDR)

misura ed il monitoraggio del
trasporto solido di un asta fluviale ad
una determinata sezione di chiusura

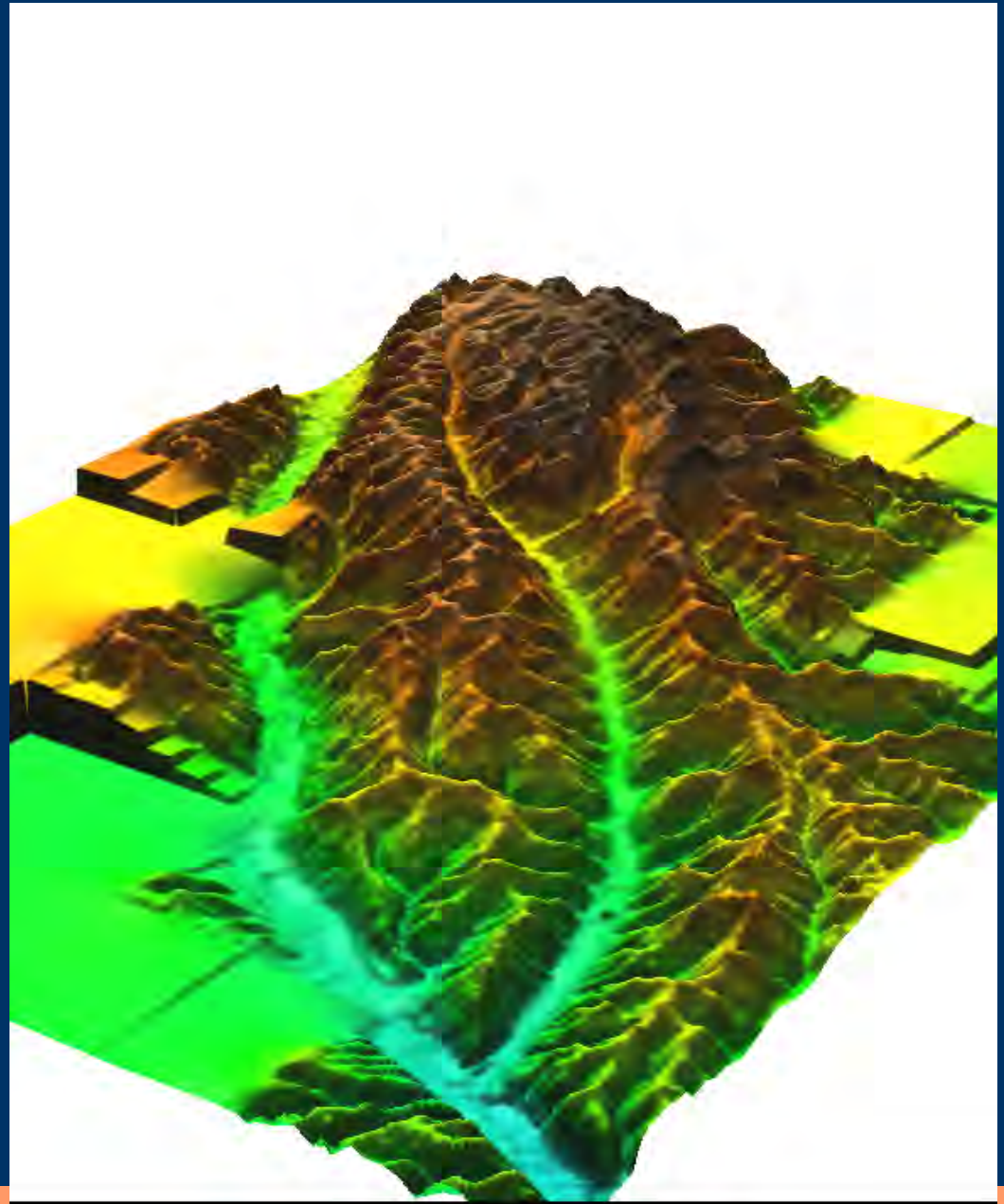
stima della produzione di sedimenti
tramite modelli USLE – USPED

= ***stima del
SDR***

Visualizzazione dei risultati

Presentazione dei
risultati di un lavoro

Modulo di Grass GIS
NVIZ: un potente
strumento per la
visualizzazione del dato
2d, e 3d e per la
realizzazione di filmati



Grazie per l'attenzione

Ivan Marchesini
marchesini@unipg.it

Riferimenti utili

Grass GIS: Internet: <http://grass.itc.it>

Libro: [Open Source Gis: a Grass GIS Approach](#)

Markus Neteler, Helena Mitasova

1. Edition 2002, 464 pages ISBN: 1-4020-7088-8

Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London

(ottimo per la parte raster ma vecchio per quella vettoriale)

Qgis: <http://qgis.org>

PostgreSQL: <http://www.postgresql.org>

RUSLE-USPED: A GIS-based Tutorial

<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/denixstart.html>
