



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI FERRARA



Valutazione del comportamento delle opere di bonifica  
idraulica e analisi di pericolosità per allagamento da  
cedimento arginale del  
Fiume Reno

## Acquisizione dati territoriali

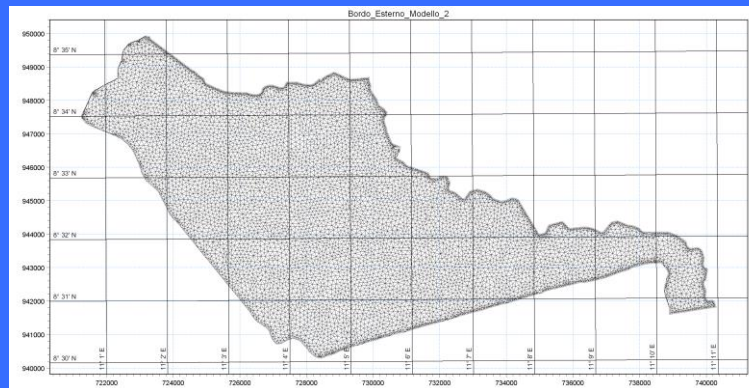
**Alberto Pellegrinelli**  
**Università degli Studi di Ferrara**

MODERNI SVILUPPI APPLICATIVI NEL CAMPO DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA  
DEL RETICOLO DI BONIFICA  
Ferrara 18 Ottobre 2013

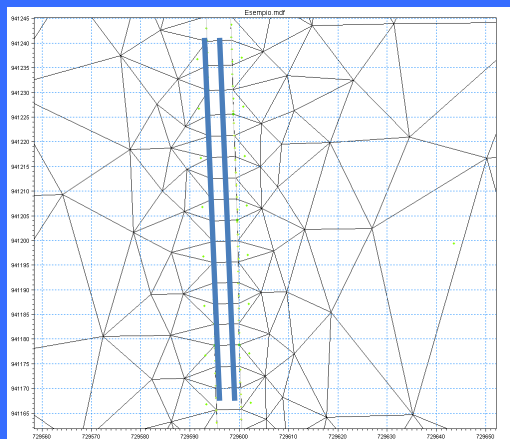
# I modelli di rappresentazione del territorio

## Primo passo:

generazione mesh triangolare (solo planimetrica ); triangoli con lati da 100 a 150 metri.

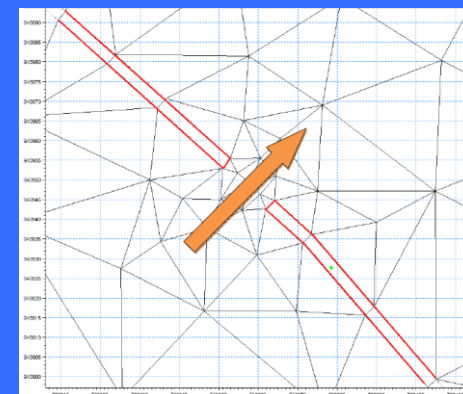


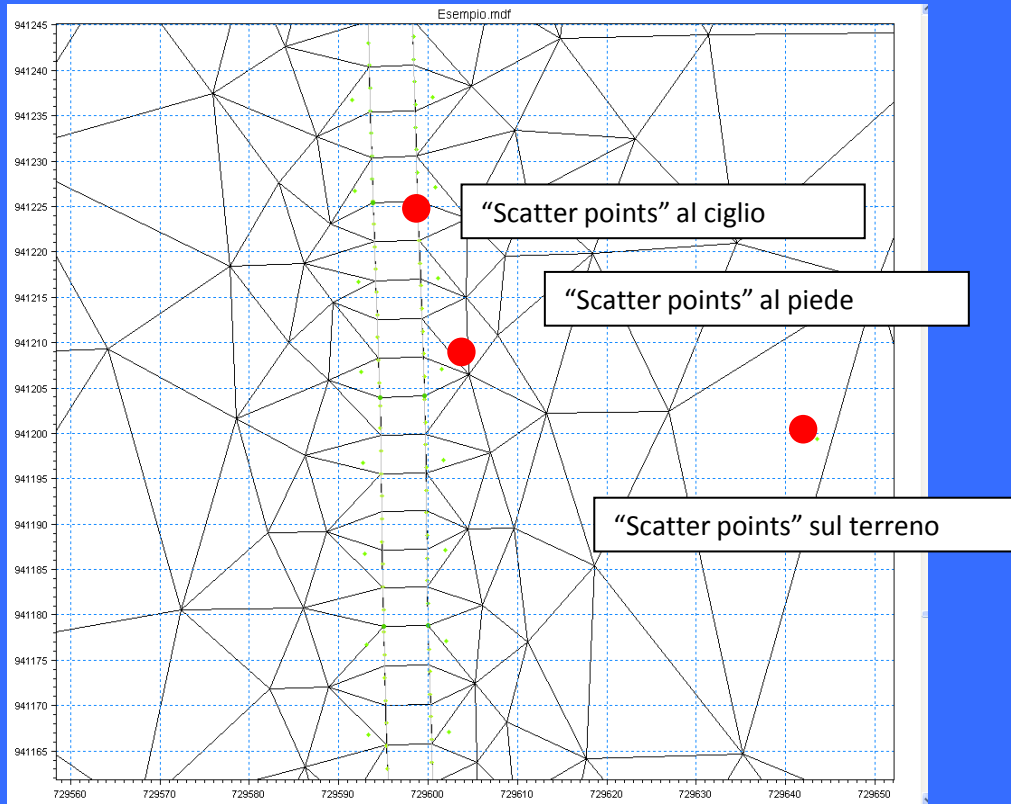
Mesh-Generator  
nel pacchetto  
Mike-Zero



## Secondo passo:

introduzione **planimetrica** dei rilevati mediante archi paralleli che ne rappresentano i cigli ed i piedi (**da CTR 5000 ed ortofoto**) ed introduzione dei varchi nei rilevati (**da rilievi e conoscenza del territorio**)

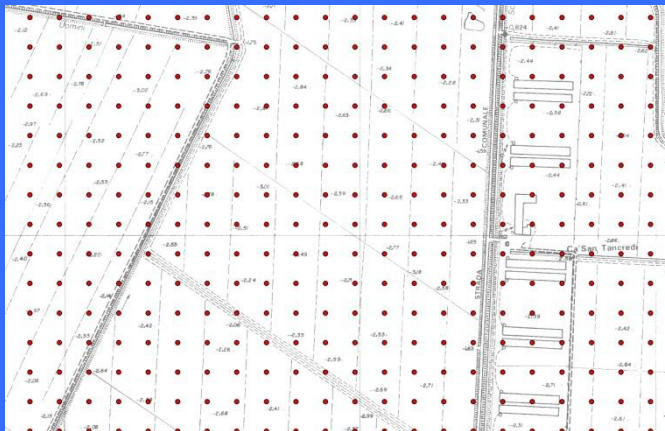




## Terzo passo:

inserimento delle informazioni altimetriche attraverso gli scatter points

- punti terreno uniformemente distribuiti ad una inter-distanza di 50 m (una densità maggiore allungava eccessivamente i tempi di calcolo);
- punti in corrispondenza dei cigli dei rilevati, con un'inter-distanza di 2.5 m;
- punti in corrispondenza dei piedi dei rilevati, con un'inter-distanza di 10 m;
- punti adiacenti ai varchi;



Esempio di punti terreno ad interdistanza 50 m

## Come sono stati ottenuti gli scatter points?

- Cartografia esistente CTR 5000, aggiornata con i dati di subsidenza ARPA Emilia-Romagna.
- Rilievi diretti sul terreno con tecnica GPS in modalità relativa per punti terreno e per i rilevati stradali
- + informazioni plano altimetriche dei canali (fonte Consorzio)



### I modelli territoriali utilizzati nelle simulazioni:

**MOD 0A:** modello basato solo su informazioni terreno (non ci sono elementi in rilevato) ricavate dalla CTR5000 + modello dei canali;

**MOD 0B:** come il precedente ma senza il modello dei canali;

**MOD 1A:** modello realizzato sulla base delle informazioni altimetriche ricavate dalla CTR5000 relativamente ai punti terreno, integrato dagli elementi in rilevato acquisiti tramite rilievo GPS + modello dei canali;

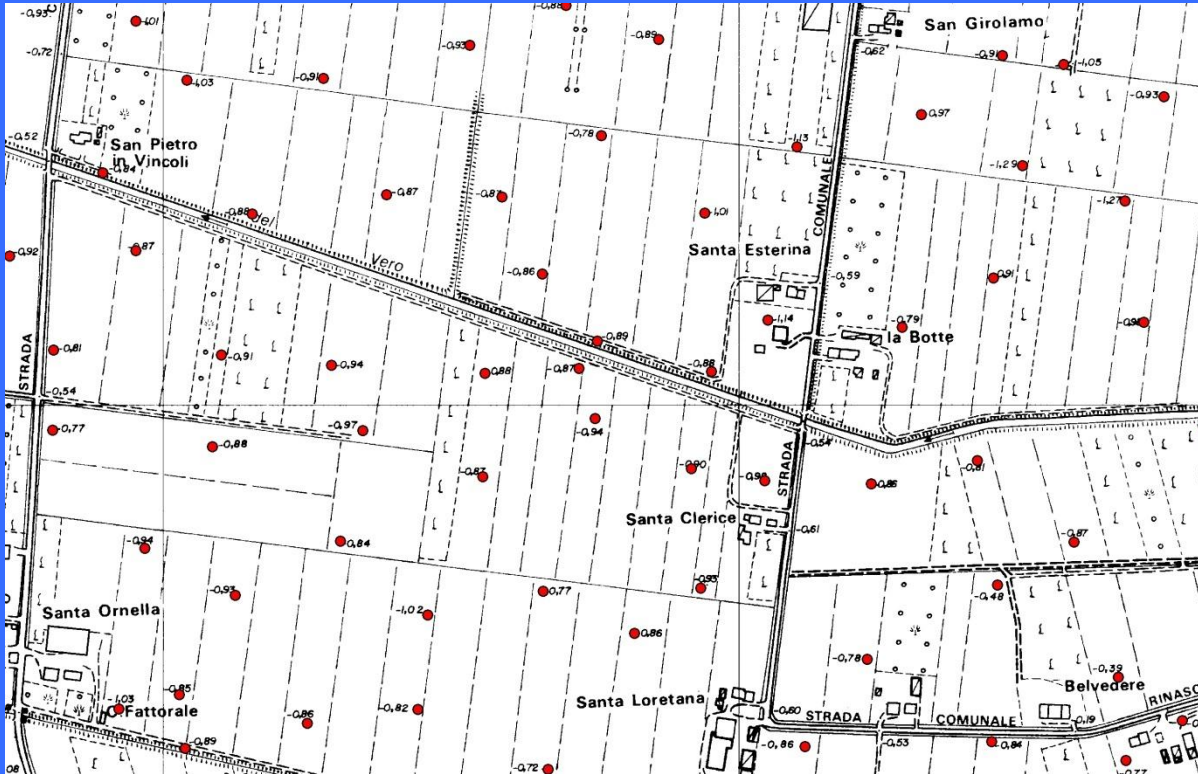
**MOD 1B:** come il precedente ma senza il modello dei canali;

**MOD 2A:** modello ottenuto per intero (terreno e rilevati) dai rilievi realizzati con il GPS + modello dei canali;

**MOD 2B:** come il precedente ma senza il modello dei canali.

## Modello 0A:

**MOD0A** basato sui punti quotati isolati della CTR 1:5000 + subsidenza



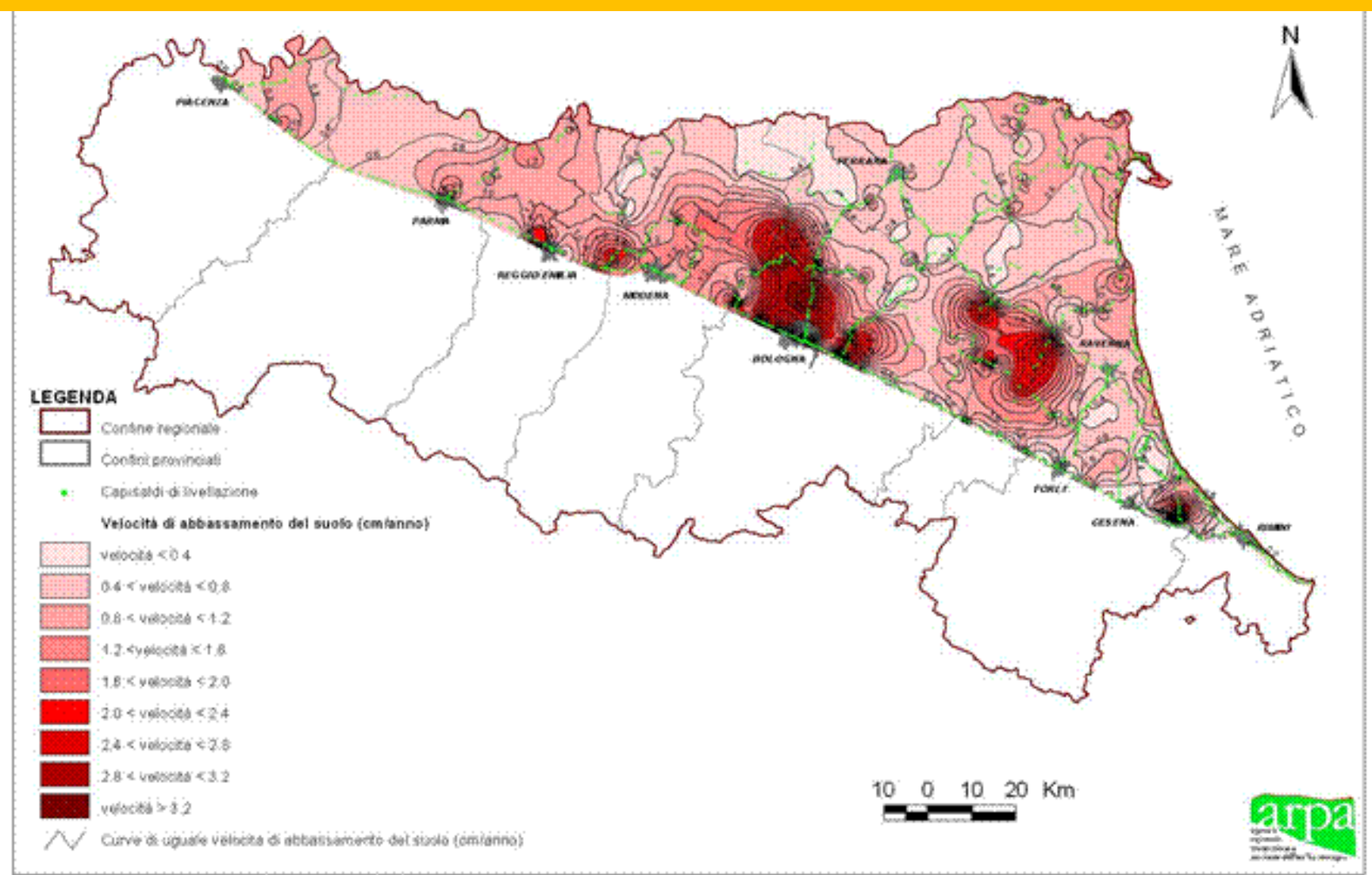
**Esempio punti  
quotati sulla CTR  
1:5000  
Circa 14.000 punti  
(densità >  
1pto/ettaro)**

La CTR 1:5000 è stata realizzata negli anni 70 da allora le quote sono variate, oltre che per opera della lavorazione dell'uomo, per effetto del fenomeno della subsidenza naturale ed antropica.

La subsidenza può essere considerata per mezzo delle mappe di abbassamento del suolo fornite dall'ARPA Emilia-Romagna (<http://www.arpa.emr.it>)

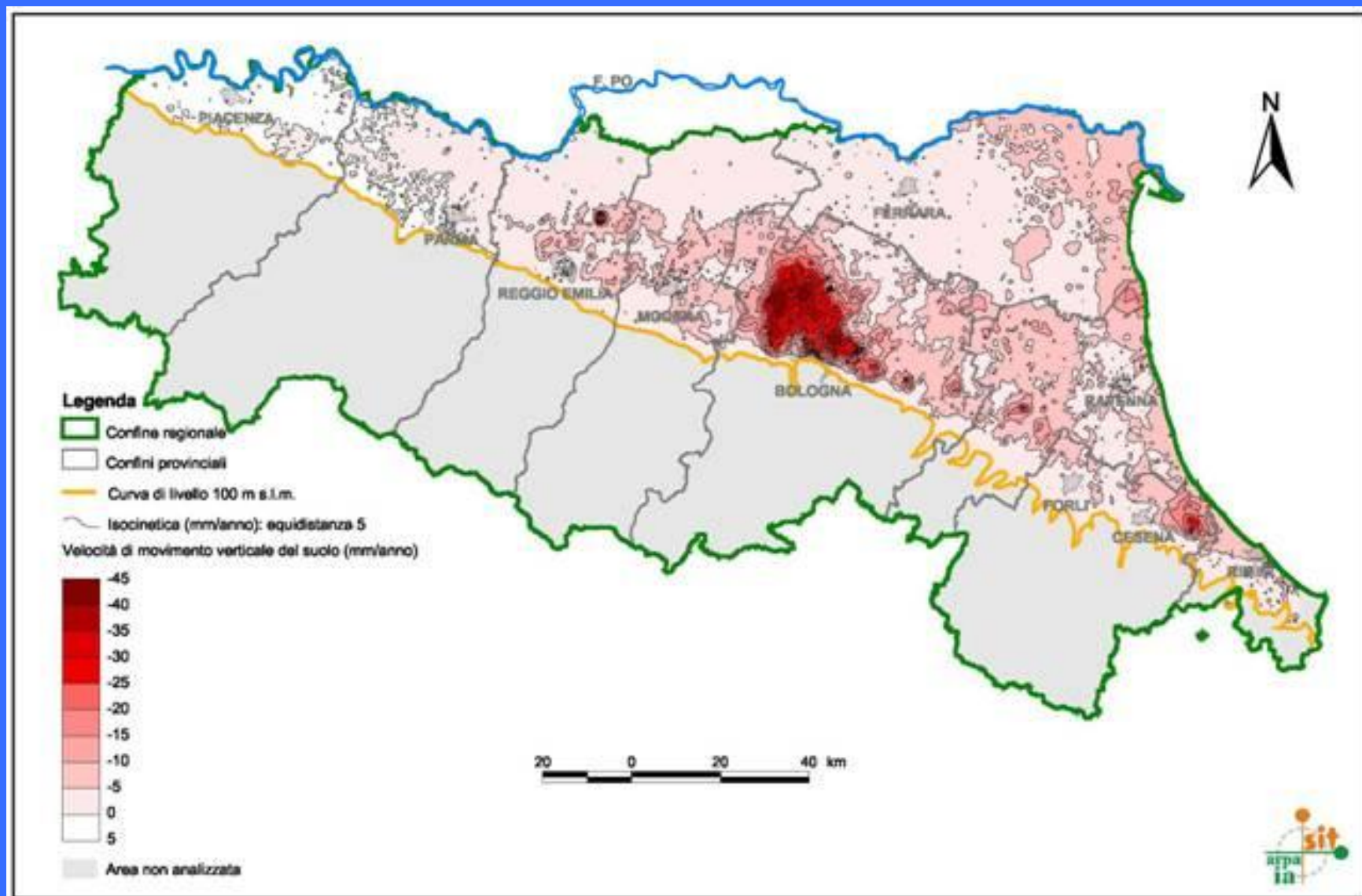
**Modello di subsidenza fornita dall'ARPA Emilia-Romagna: confronto tra livellazioni ARPA di alta precisione del 1999 e livellazioni precedenti di altri Enti.**

**Velocità di movimento riferita a periodi diversi (a seconda delle linea di livellazione confrontate) compresi tra il periodo più lungo 1970/99 e il periodo più breve 1993-1999**

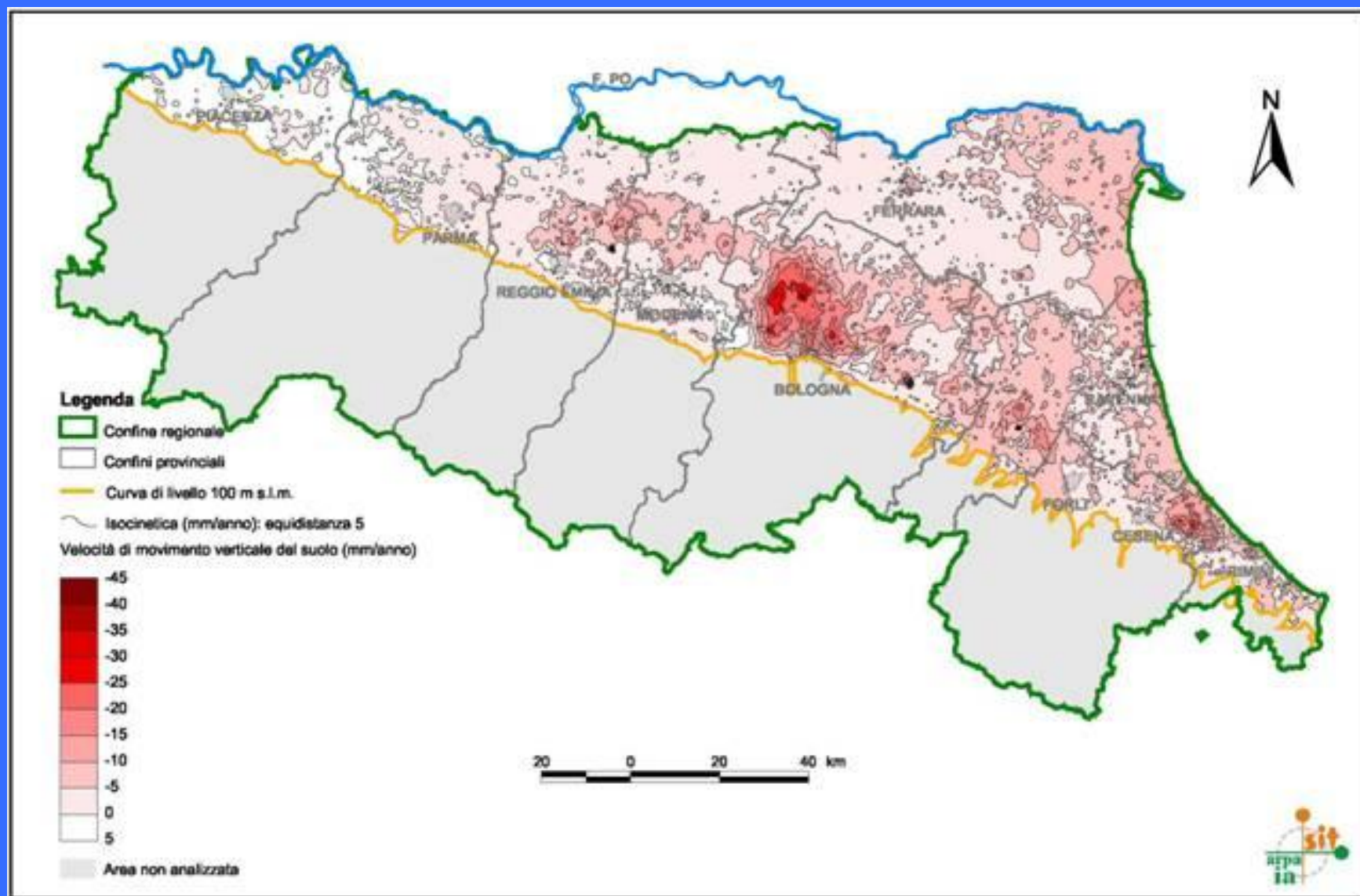




**Modello di subsidenza fornita dall'ARPA Emilia-Romagna – periodo 1992-2000 -  
basato su elaborazioni dati satellitari radar**



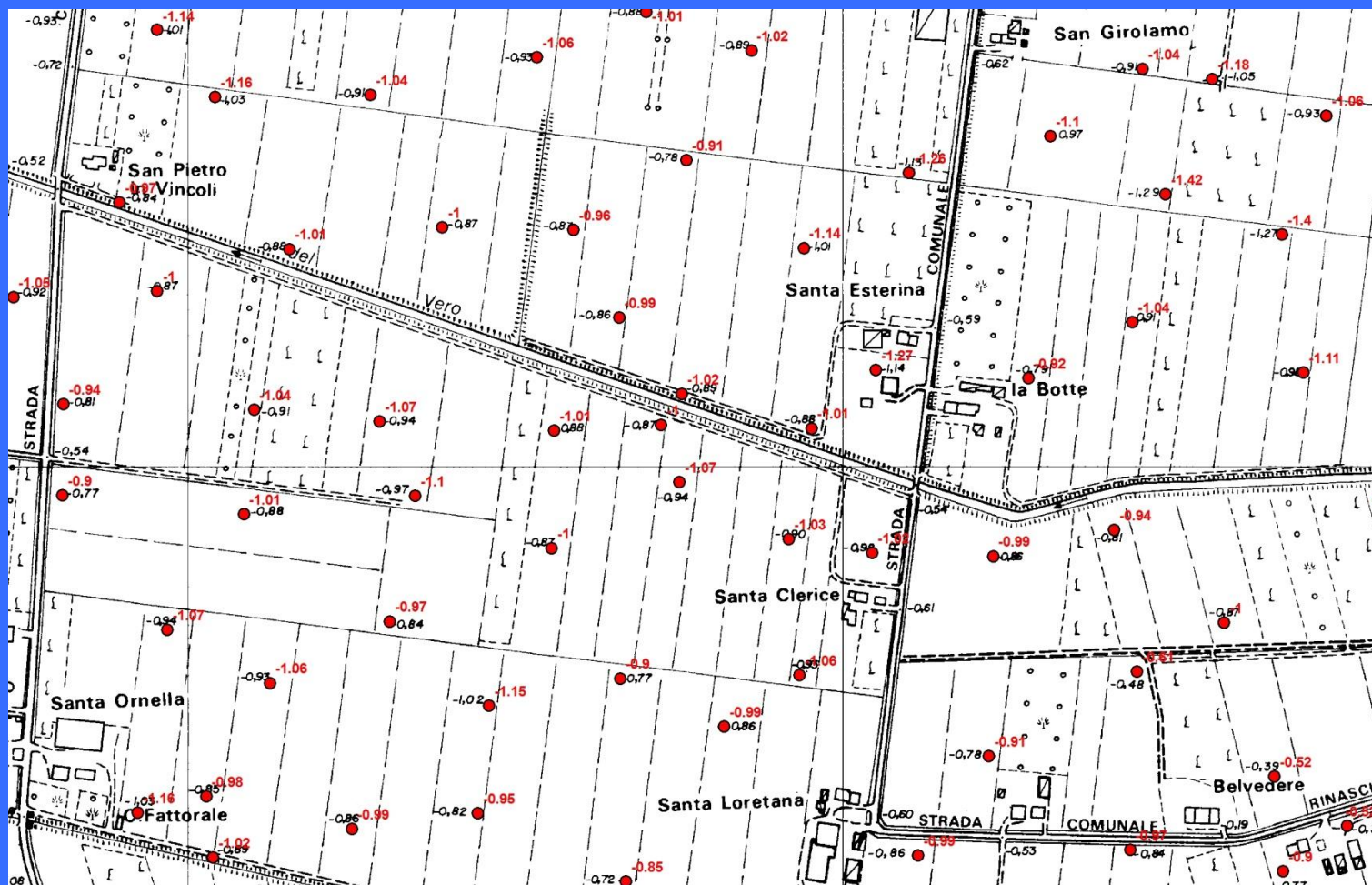
**Modello di subsidenza fornita dall'ARPA Emilia-Romagna – periodo 2002 - 2006 -  
basato su elaborazioni dati satellitari radar**





## Modello 0A:

Sulla base delle mappe precedenti la quota di ogni punti quotato della CTR5000 è stato ridotto di un fattore variabile tra 13 e 20 cm

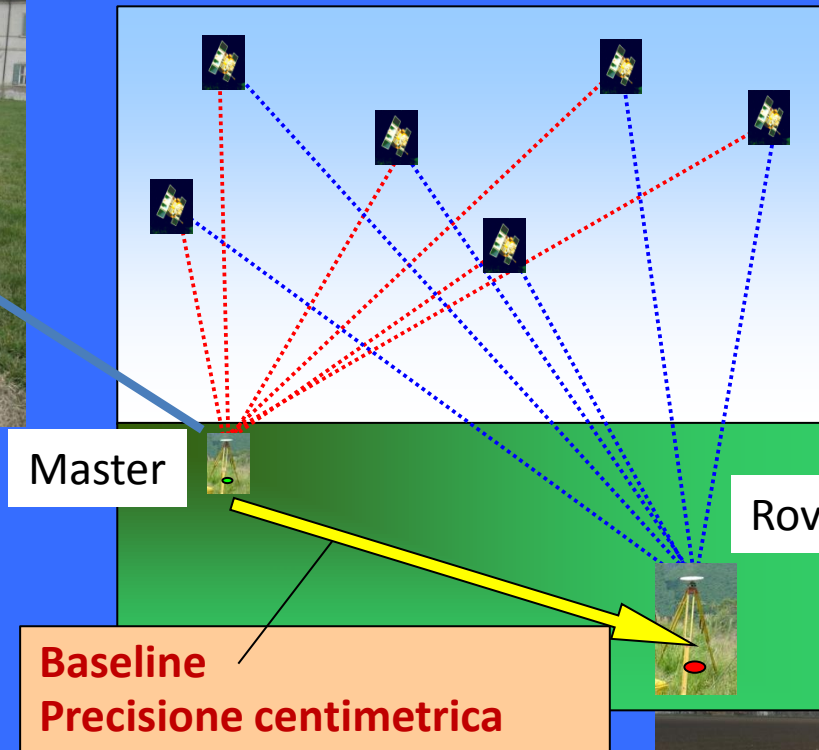


## Modello 1A

**MOD 1A:** punti terreno da CTR5000 + subsidenza, integrato dagli elementi in rilevato (strade ed argini) acquisiti tramite rilievo satellitare GPS + modello dei canali



Vertice GPS in corrispondenza dell'impianto di Bando; il vertice è inquadrato nella rete geodetica nazionale IGM95



Rilevati acquisiti tramite rilievo GPS in relativo (master+rover), modalità Cinematica Continua + Stop and Go



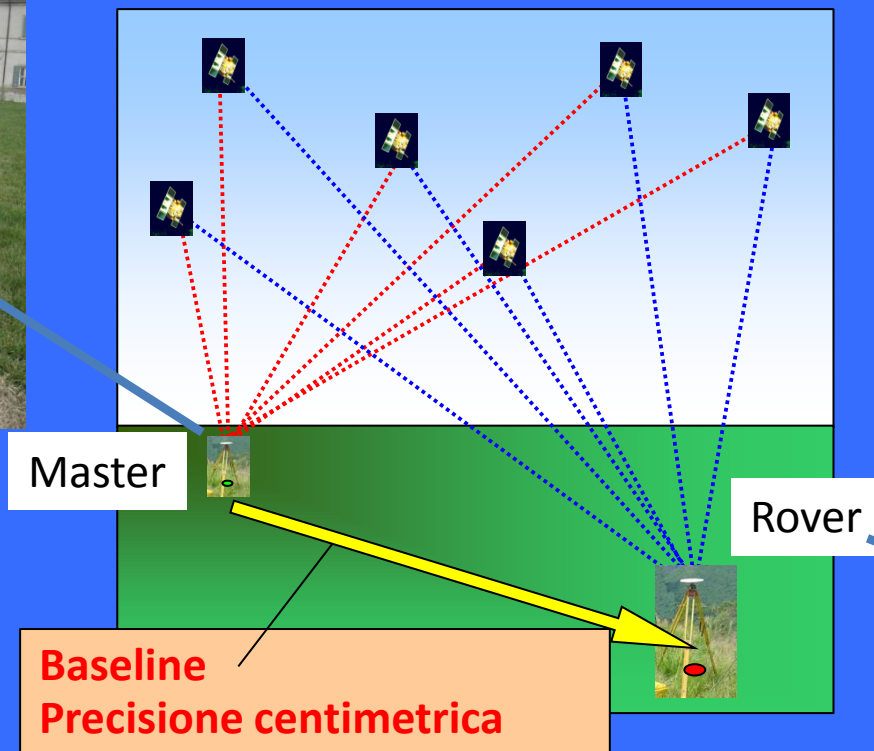
**Sono stati rilevati circa 63 Km di strade ed argini di canali**

## Modello 2A

**MOD 2A:** modello ottenuto completamente (terreno e rilevati) dai rilievi realizzati con il GPS + modello dei canali;



Vertice GPS in  
corrispondenza  
dell'impianto di  
Bando



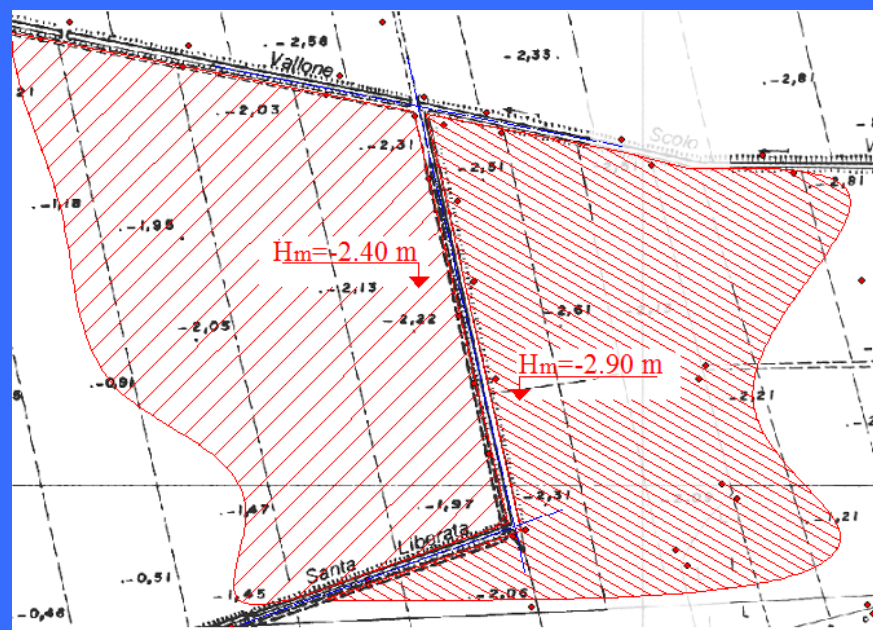
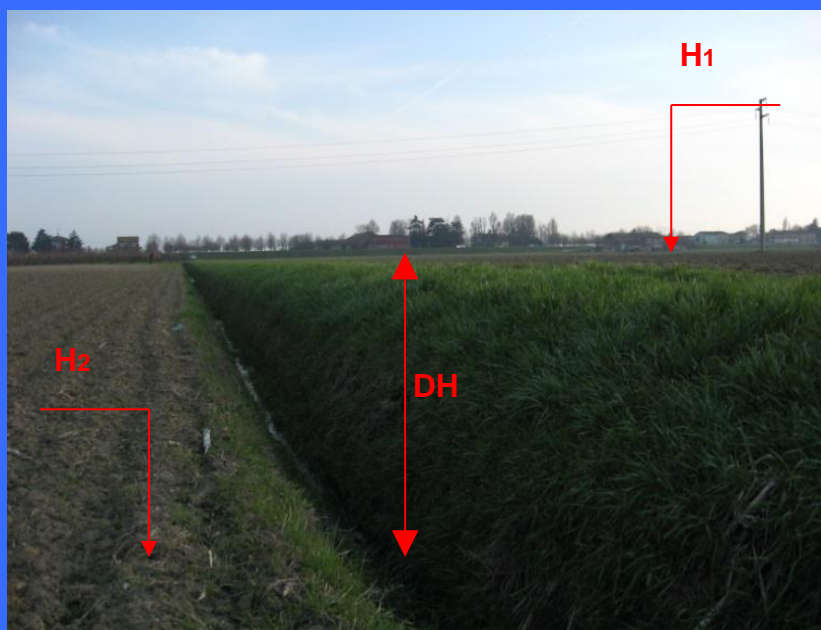
Punti terreno acquisiti  
tramite rilievo GPS in  
relativo (master+rover) in  
modalità Stop and Go  
con GPS su palina o  
montato su veicolo



**MOD 2A:** modello ottenuto completamente (terreno e rilevati) dai rilievi realizzati con il GPS + modello dei canali;

Il terreno è stato suddiviso in appezzamenti caratterizzati da quota uniforme, ogni appezzamento è stato rilevato con il GPS tramite punti sul contorno e, se necessario, tramite punti al suo interno.

Fondamentale la conoscenza del territorio da parte dell'operatore. Più di 8000 punti terreno rilevati

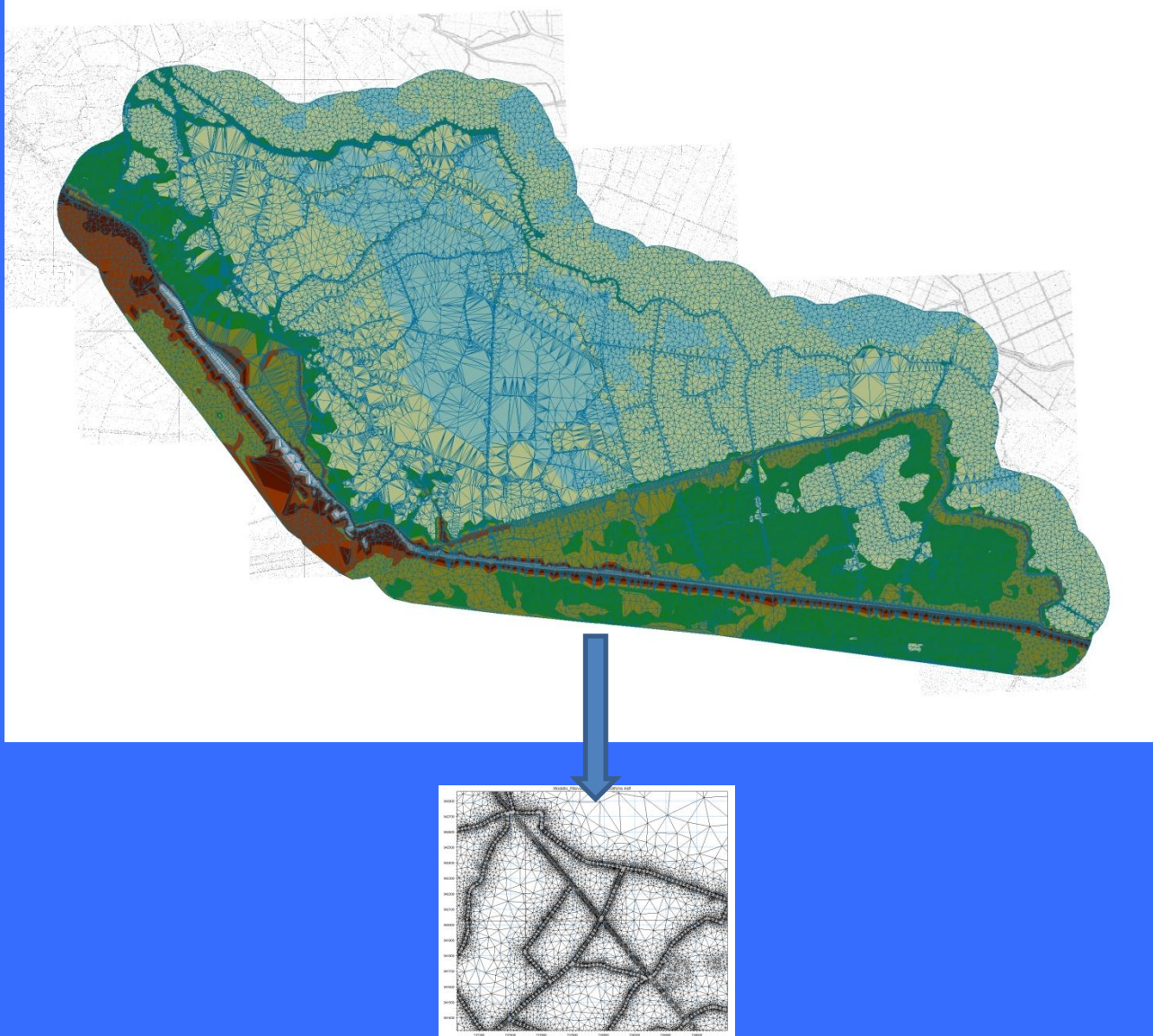


Esempio di due appezzamenti vicini rilevati separatamente: le loro quote medie differivano di almeno 50 cm

**Rilievi GPS, in totale: 780 ore uomo: 400 h in campagna e 380 h per elaborazioni in studio (compreso elaborazione ed editing dei dati )**

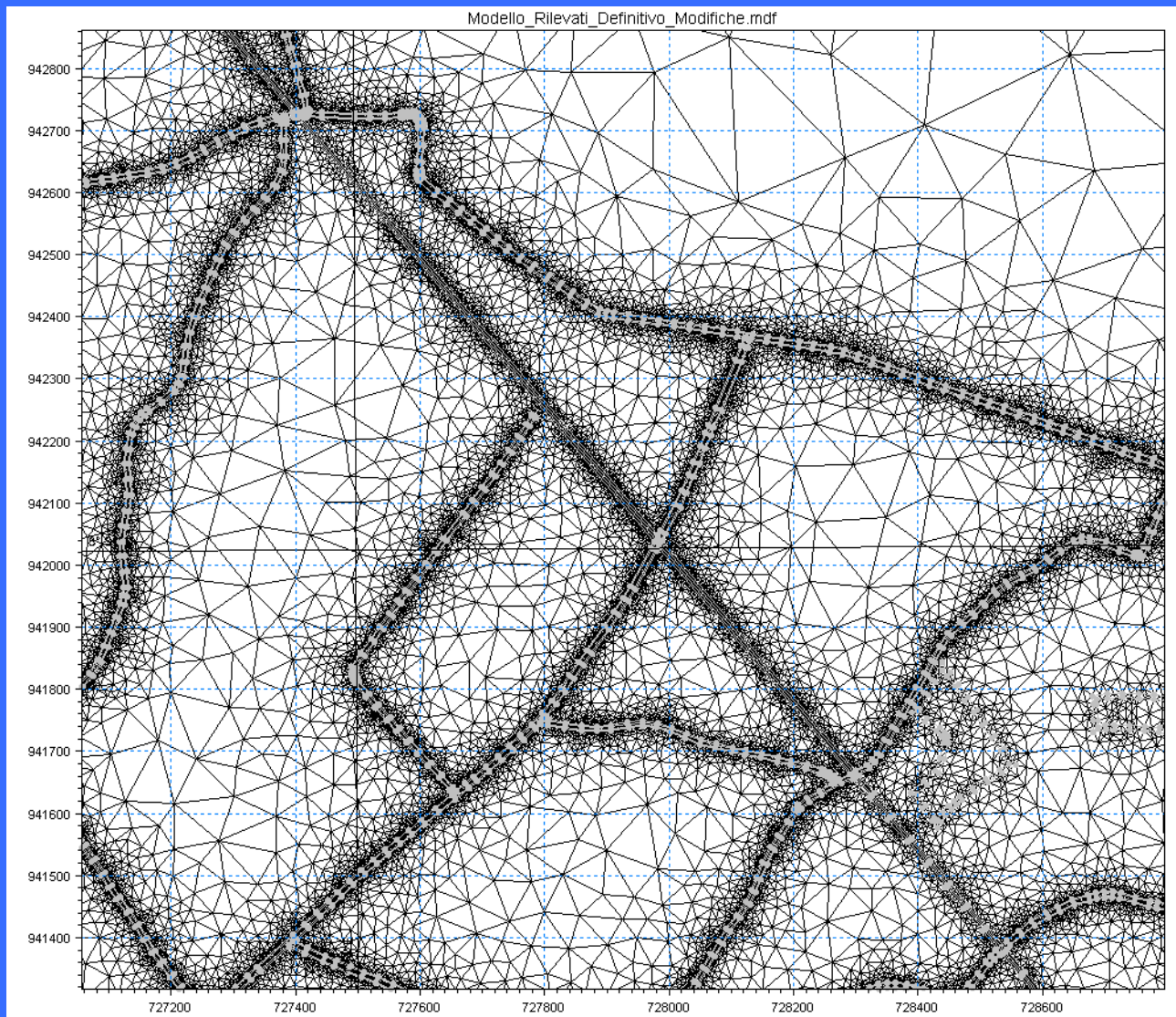


Dalle informazioni altimetriche e planimetriche (diverse come visto nei MOD0A, 1A, 2A), tramite funzioni GIS, sono stati generati modello 3D da cui sono stati successivamente ricavati gli scatter points

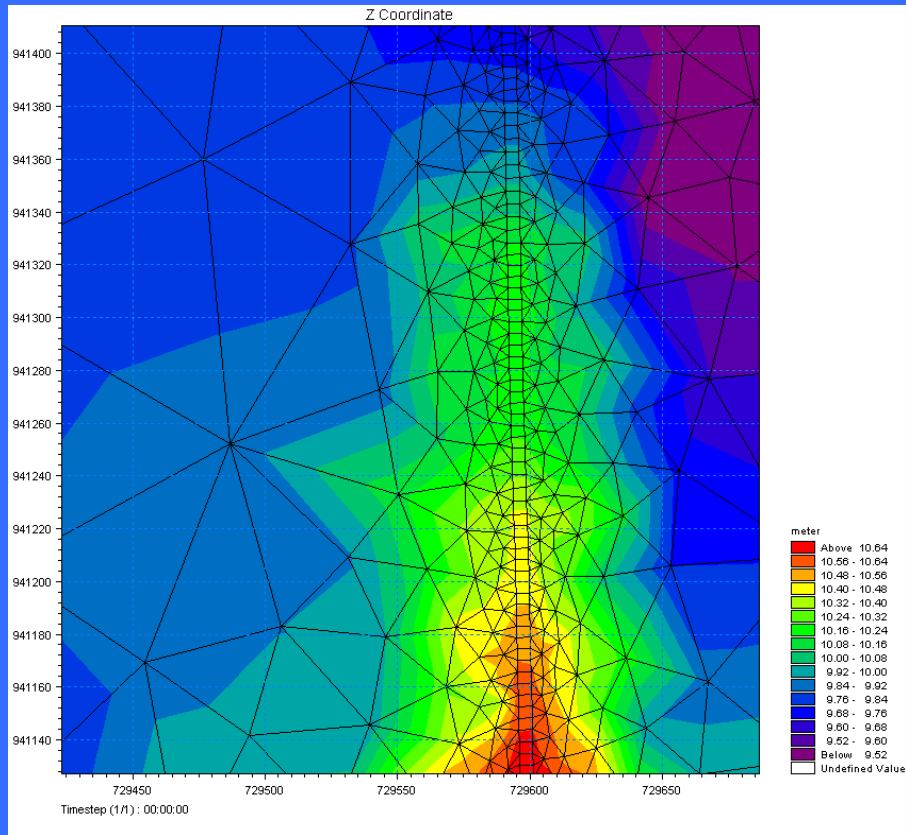




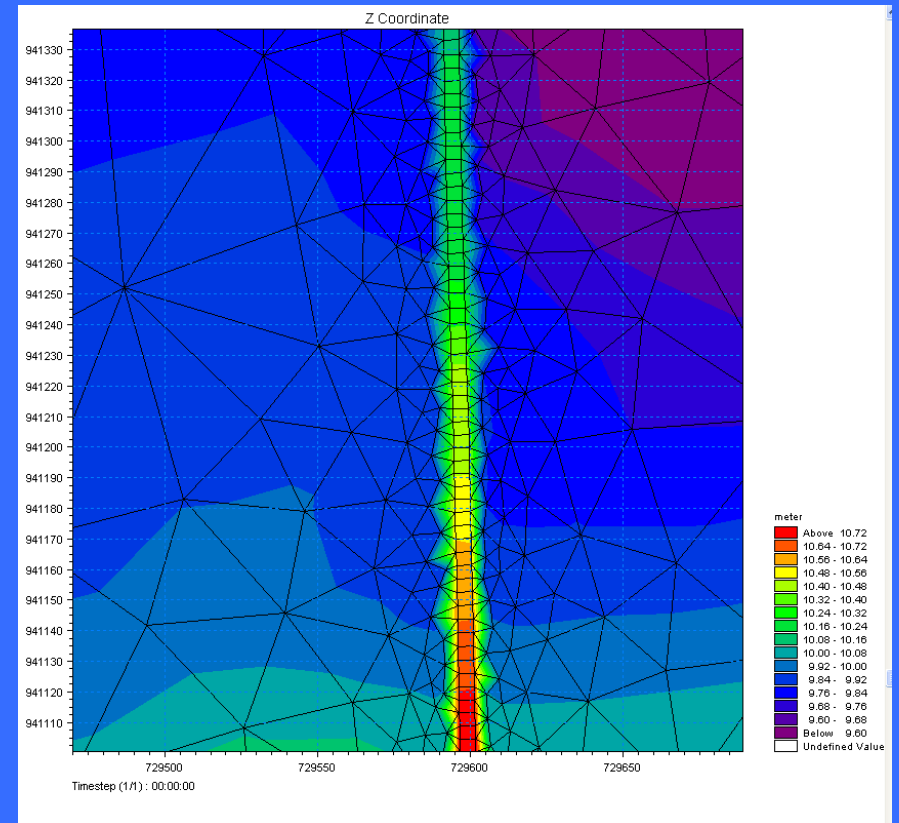
# Mesh completa con i rilevati, con informazioni altimetriche ottenute per interpolazione dagli scatter points



## Senza scatter points ai piedi dei rilevati



## Con scatter points ai piedi dei rilevati



L'inserimento di "scatter points" ai piedi dei rilevati (un punto ogni 10 m) consente alla mesh di interpretare al meglio la forma del rilevato stesso

Riprendendo le precedenti ...

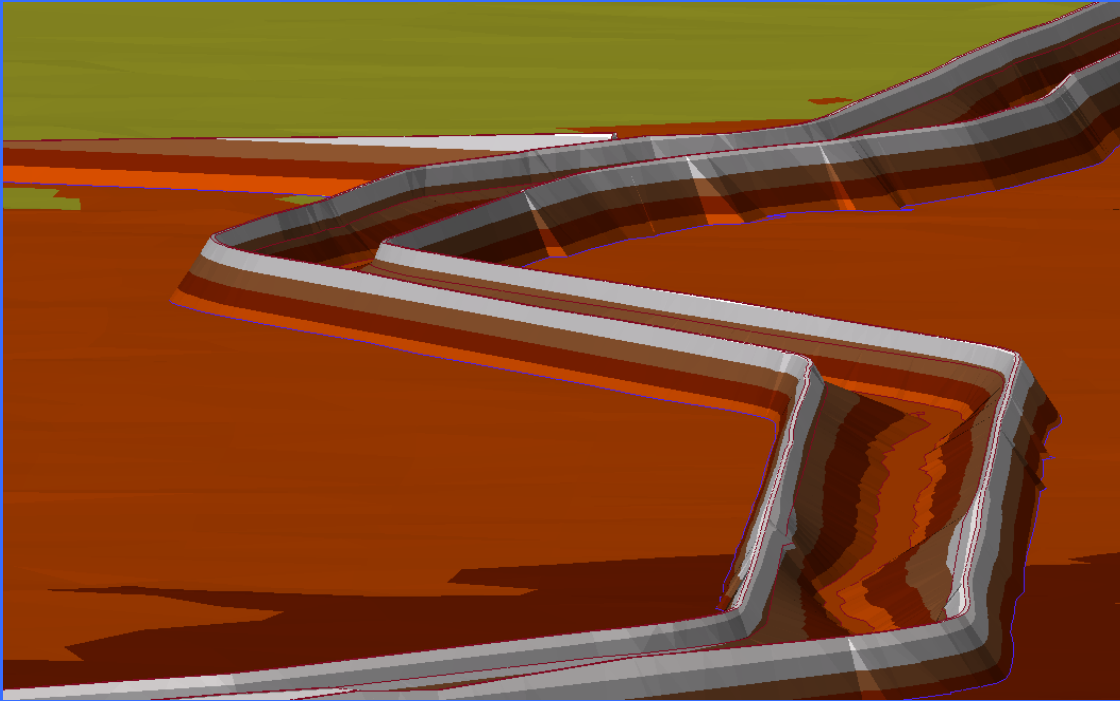
## CONCLUSIONI (3/3)

### **Sensibilità al rilievo**

**Per una più corretta riproduzione della dinamica dell'allagamento occorre rappresentare correttamente, in ordine di importanza:**

- la presenza di ostacoli lineari e dei relativi varchi;**
- la rete dei canali di bonifica;**
- l'altimetria del terreno**

L'importanza dei rilevati è evidente...

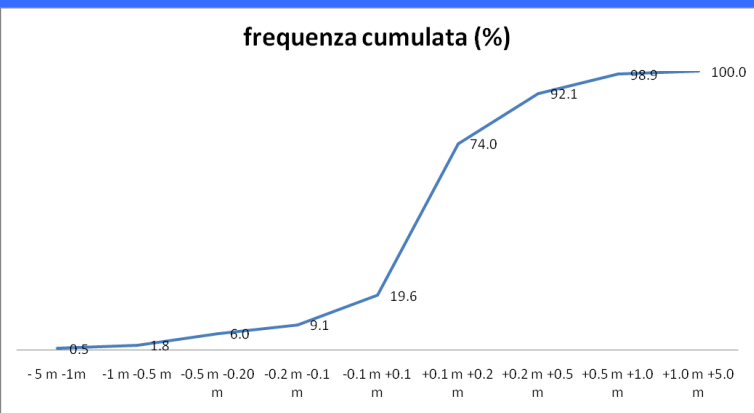
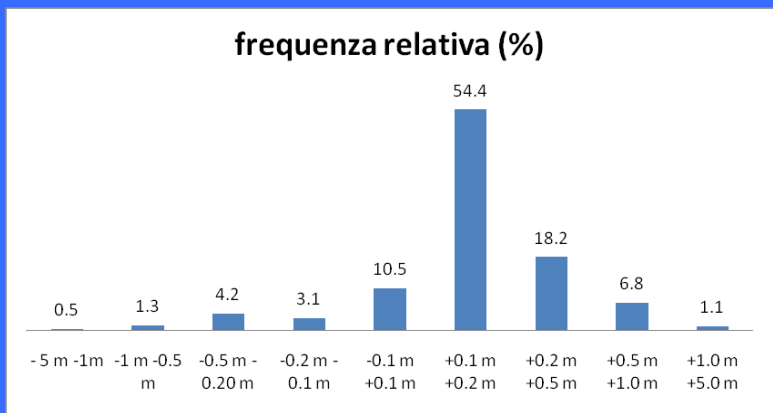


Particolare del corso del  
fiume Reno con  
esagerazione verticale  
pari a 15



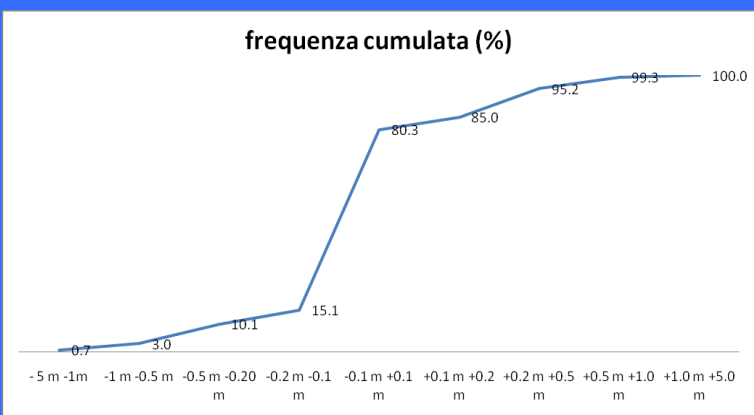
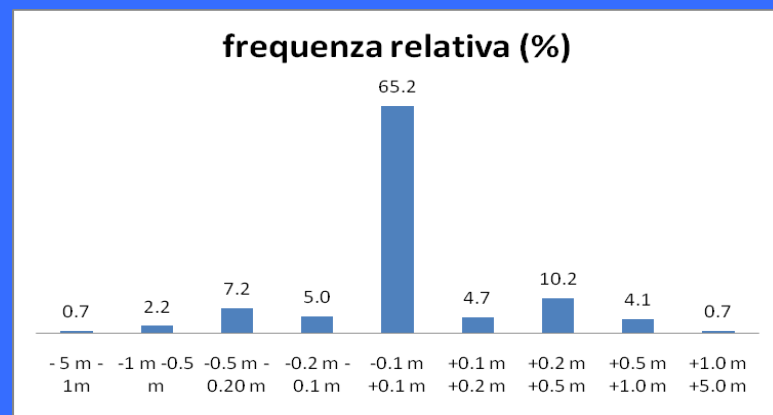
Varchi in una intersezione  
di rilevati

# Confronto tra i modelli del terreno: GPS vs CTR5000



**$68.0\% \leq \pm 0.2 \text{ m}$**   
 **$90.4\% \leq \pm 0.5 \text{ m}$**

## confronto rilievo GPS con modello CTR5000



**$74.9\% \leq \pm 0.2 \text{ m}$**   
 **$92.3\% \leq \pm 0.5 \text{ m}$**

## confronto rilievo GPS con modello CTR5000 + subsidenza

In ogni caso differenze di 20-30 cm nella descrizione del terreno non sono apprezzabili in quanto richiederebbe una densità di scatter points terreno superiore ad un punto ogni 50 m.



Grazie  
per  
l'attenzione