

Stima di risorse forestali ad alta risoluzione tramite informazioni telerilevate multiplattforma

Puletti N^{1*}, Chirici G², Barbatì A³, Giannetti F²,
Grotti M^{1,2}, Morletti A⁴, Ventre T⁵, Corona P¹, Fattorini L⁴

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, CREA Foreste e Legno, Arezzo and Trento

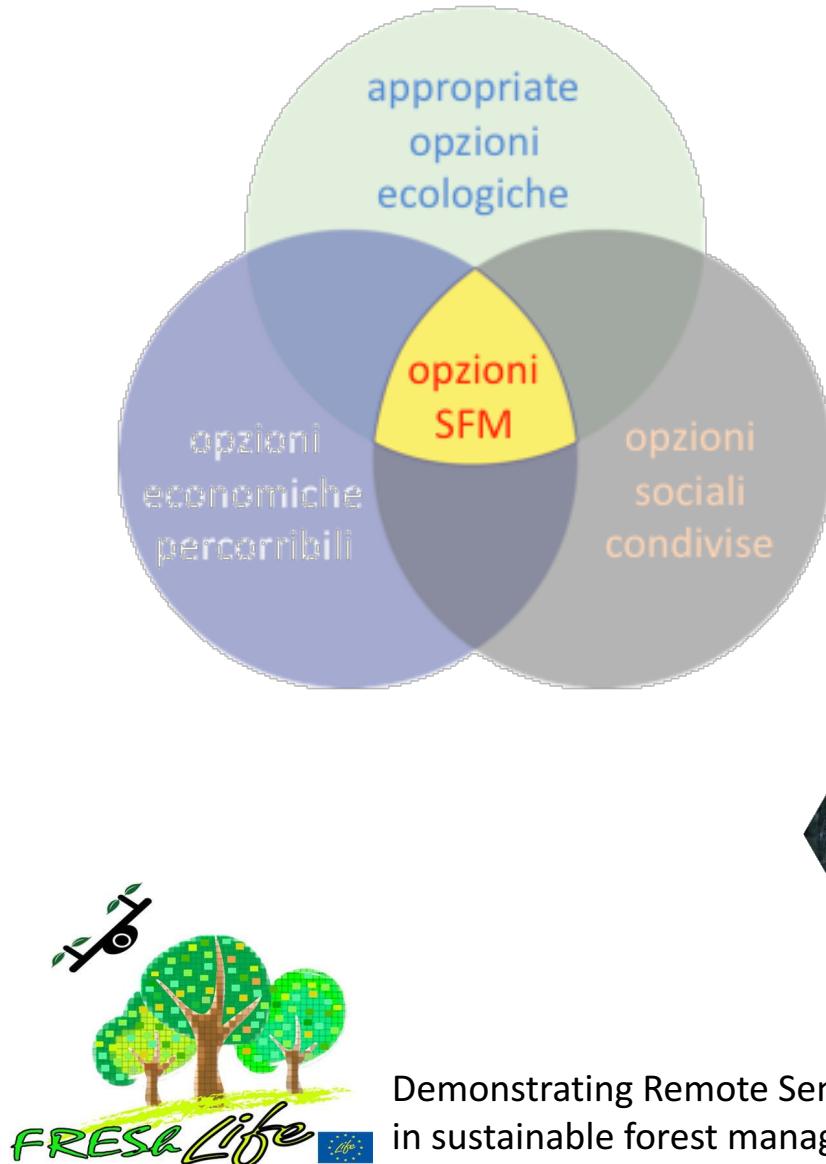
² Università degli Studi di Firenze, Alimentari e Forestali (GESAAF), Florence

³ Università degli Studi della Tuscia Viterbo, Department for Innovation in Biological, Viterbo

⁴ Università degli Studi di Siena, Department of Economics and Statistics, Siena

⁵ UCVV e Foresta Modello delle Montagne Fiorentine



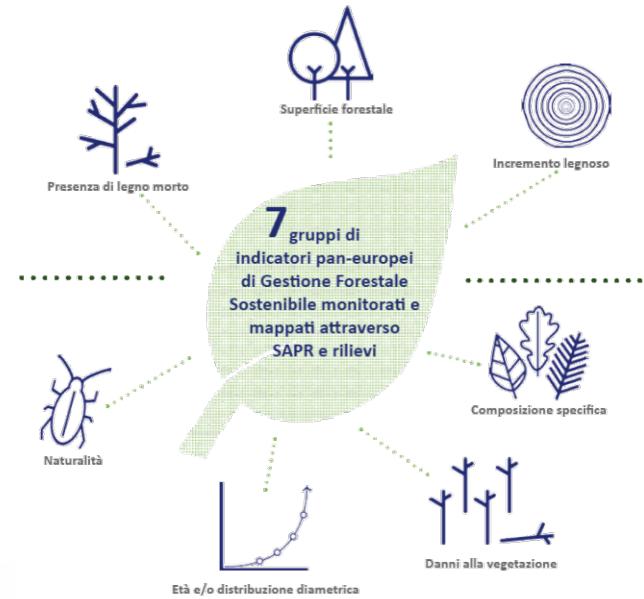


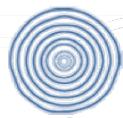
Demonstrating Remote Sensing integration
in sustainable forest management

Testare l'operatività di metodi tradizionali, automatici e semiautomatici di mappatura di variabili forestali a scala di particella forestale:

European Forest Types Indicatori di Gestione Forestale Sostenibile (SFM)

- 1.3 growing stock
- 1.4 above ground biomass
- 2.3 defoliation
- 2.4 forest damage
- 4.1 tree species composition
- 4.4 area covered by introduced tree species

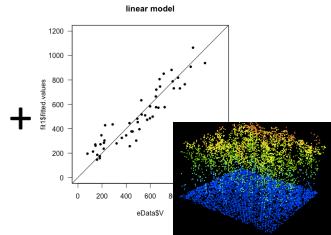




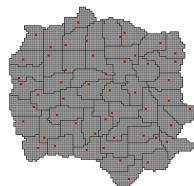
Metodi confrontati



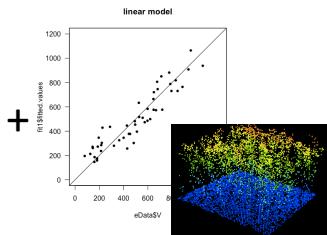
A - Stime di totali
basate sul disegno



B - Stime di totali
assistite da modello



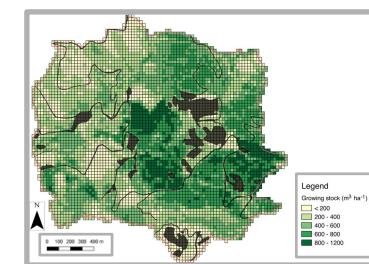
C - Produzione mappe
basate sul disegno



D - Produzione mappe
assistite da modello



$$\bar{Y}_l = \frac{1}{N_l} \sum_{j \in U_l} y_j$$

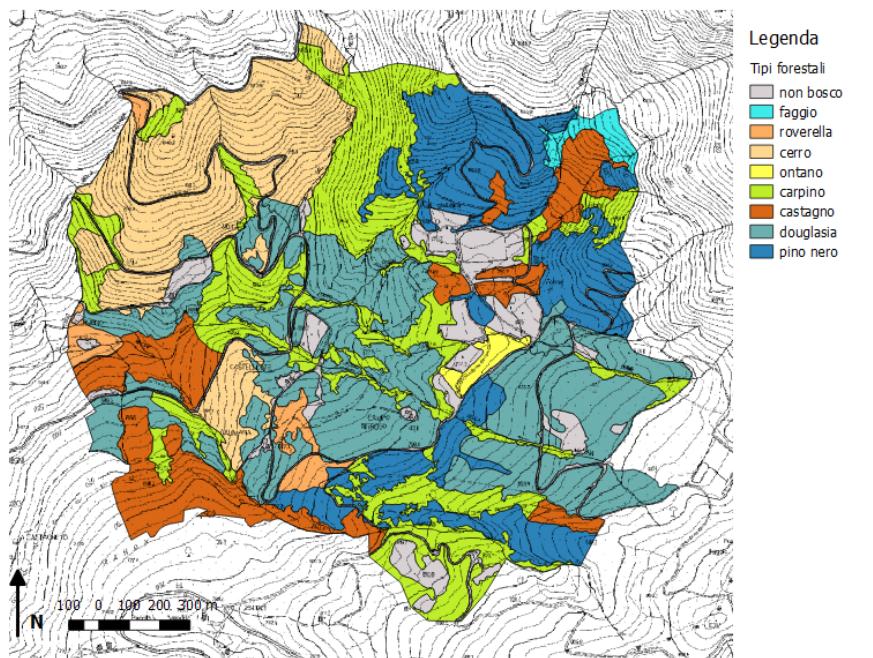




Area di interesse



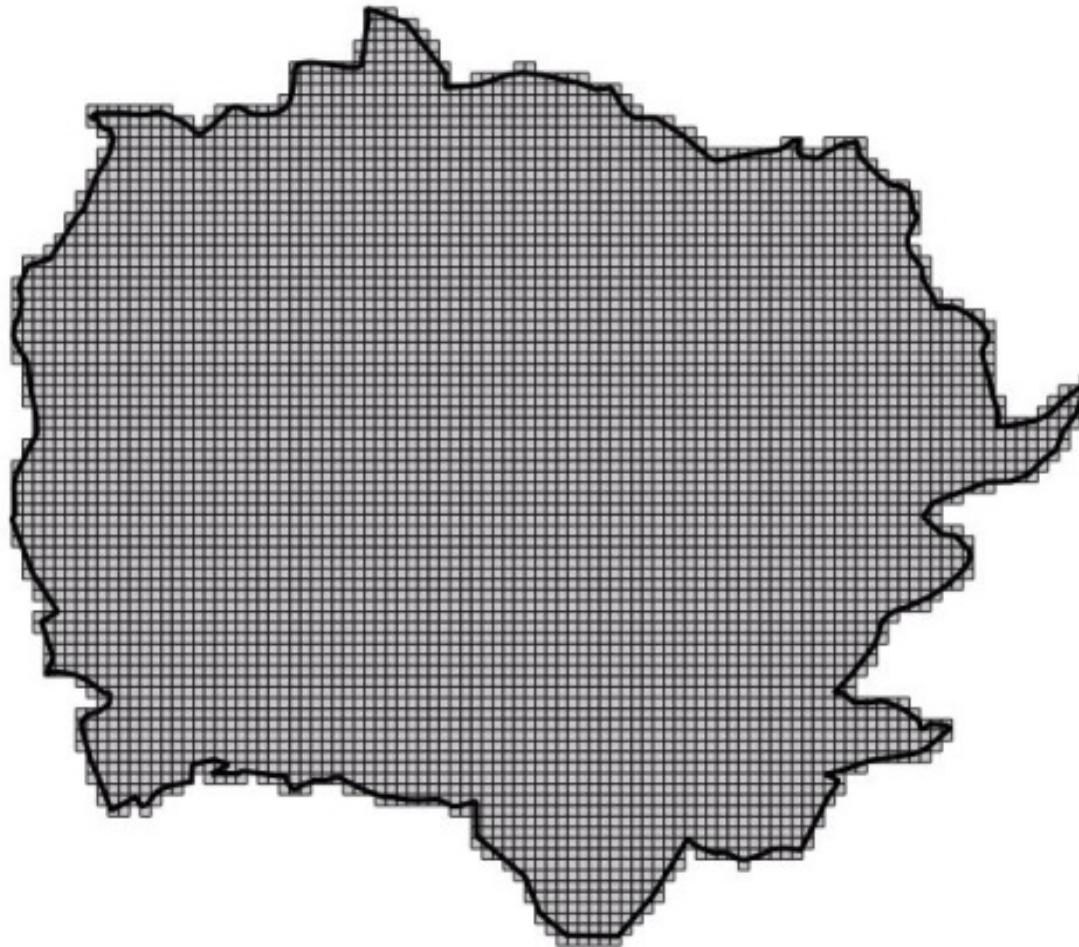
Rincine - 276 ha





Tessellation Stratified Sampling - TSS One Per Stratum Sampling - OPSS

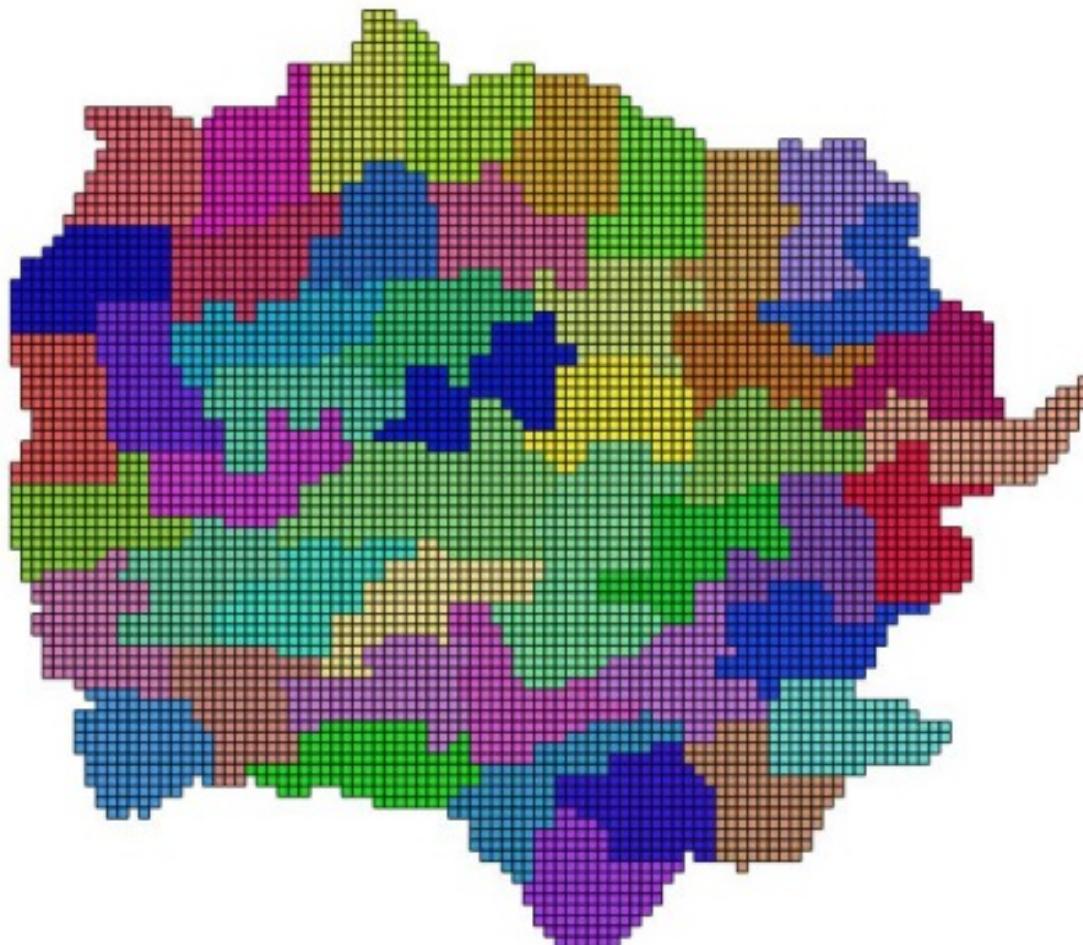
Ripartizione dell'area di studio in quadrati





Tessellation Stratified Sampling - TSS One Per Stratum Sampling - OPSS

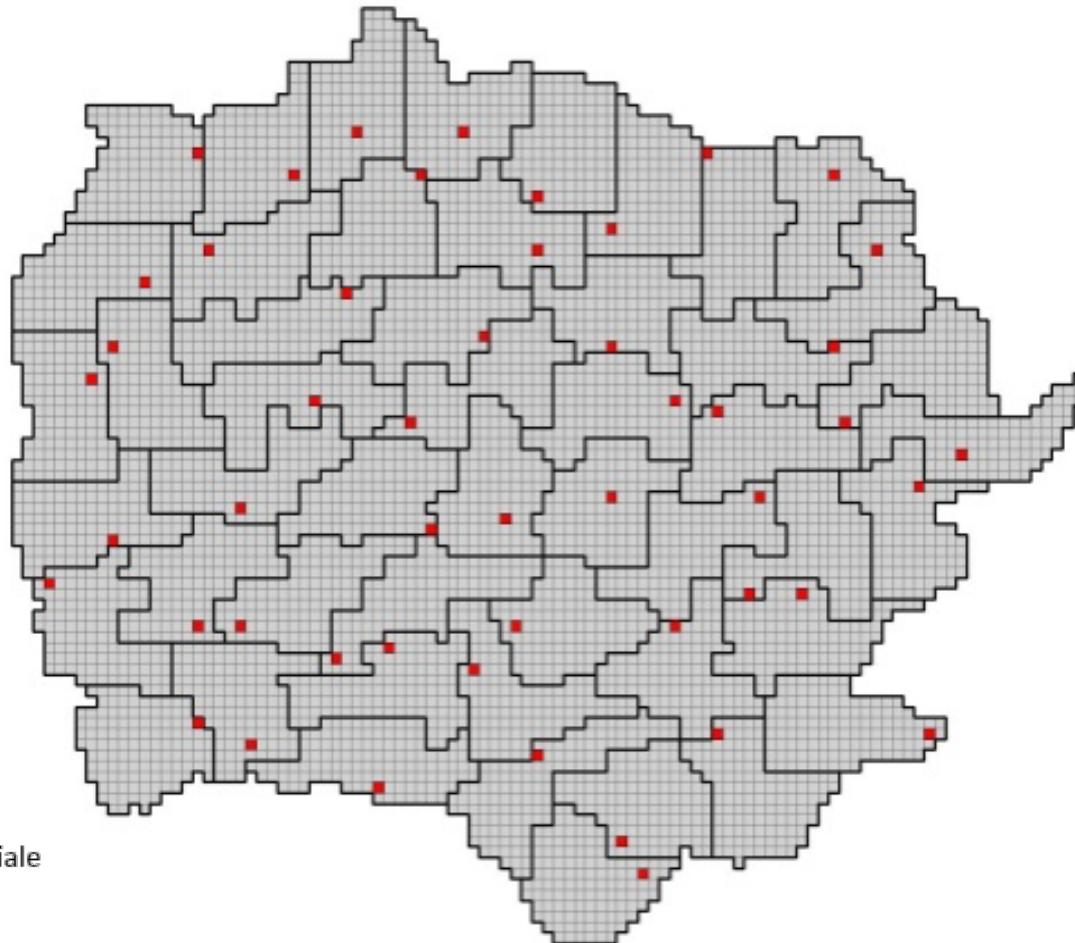
Stratificazione (50 strati)





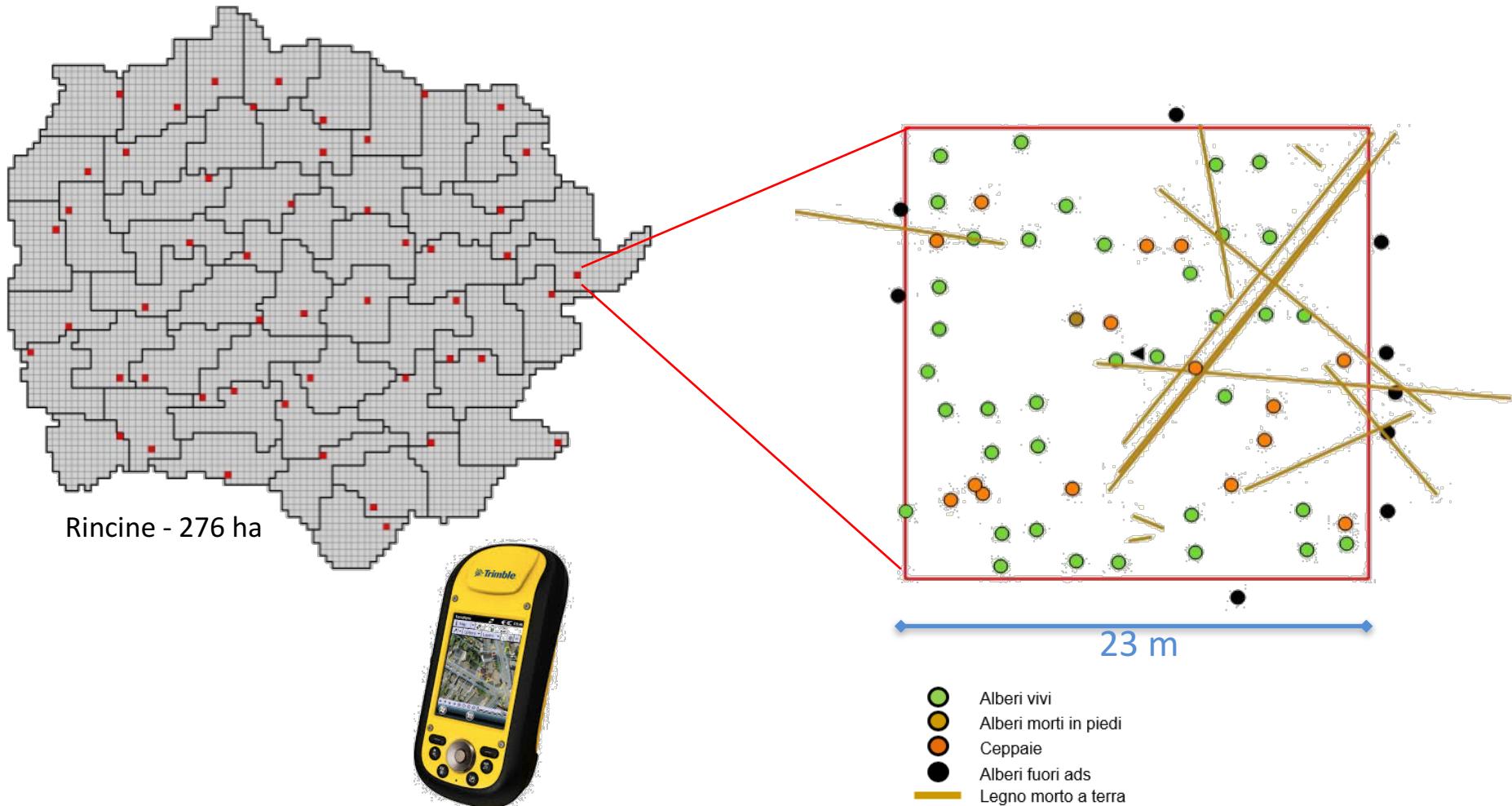
Tessellation Stratified Sampling - TSS One Per Stratum Sampling - OPSS

Selezione aree di studio





Le aree di campionamento





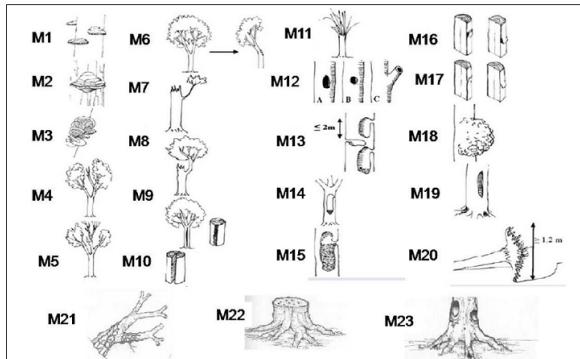
Attributi rilevati in campo

Rilievi in campo su 50 plot di 529 mq

- Misura di alberi vivi, morti in piedi, ceppaie, legno morto a terra
- Classificazione dei danni e dei microhabitat presenti



Sistema di classificazione dei microhabitat



Esempi degli schemi allegati al protocollo di rilievo per aiutare nella classificazione dei Microhabitat e del grado di disseccamento della chioma

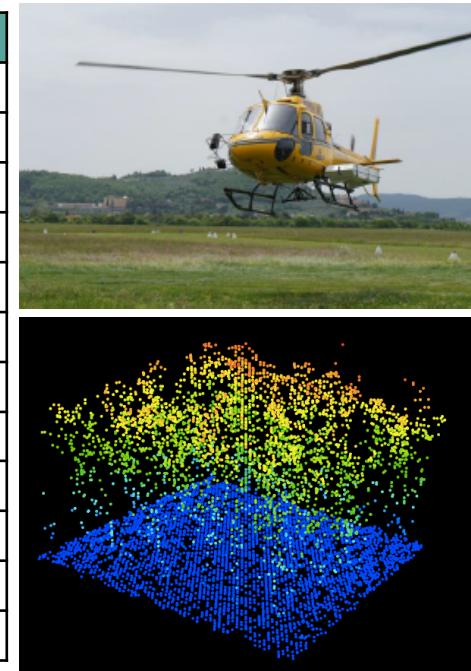
grado di disseccamento della chioma





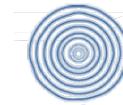
Lidar

Caratteristica	Valore
Data dei voli	4-8 maggio 2015
Società	GEOCART
Vettore	Eurocopter AS350 B3 (pala rotante)
Sensore <i>laser scanner</i>	LiDAR RIEGL LMS-Q680i
Sensore digitale	DIGICAM H39 RGB e CIR
Densità dei punti al suolo	4,4 pp m² (10 pp m²)
Acquisizione	<i>full waveform</i>
Frequenza degli impulsi	300 kHz (80 linee per secondo e 2500 misure per linea)
Quota di volo	1100 m sls
Velocità media	70 kn (\approx 130 km/h)
Angolo massimo di scansione	60°
Lunghezza d'onda	1550 nm





Lidar

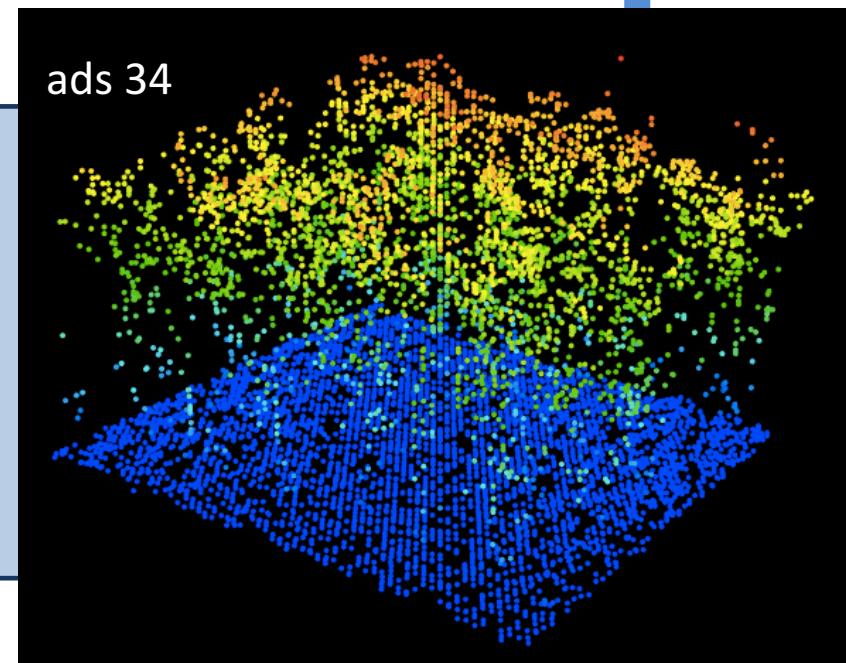
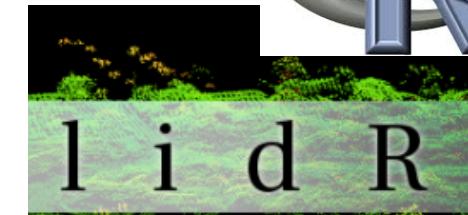


target
volume legnoso

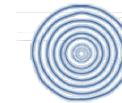
R function per la realizzazione di 36 metriche da nuvola di punti Lidar

```
myMetrics = function(z, i) {
  metrics = data.frame(
    z_w_i_mean = sum(z*i)/sum(i), # Mean elevation weighted by intensities
    z_int_mean = mean(z*i),      # Mean products of z by intensity
    z_q75 = quantile(z, probs = 0.75) # 75 percentile of z
    zsqmean = sqrt(mean(z^2)), # quadratic mean of z
    z_q05 = quantile(z, probs = 0.50), # median of z
    sd_z = sd(z), # standard deviation of z
    [...]
  )
  return(metrics)
}
```

TILE: AREA 11-TAV 010.las	
Idads:	34
N:	1739
G:	29.38
V:	158.83
Vmtot:	16.546
XADS:	710281.1
YADS:	4861820
EFTdesc:	Turkey oak, Hungarian oak and Sessile oak



**A - Stime di totali
base sul disegno**



*target
volume legnoso*

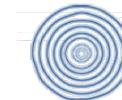
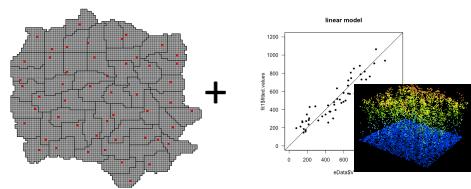
Dato allora un campione $\mathbf{S} \subset \mathbf{U}$ di n quadrati estratti tramite lo **schema OPSS**, e siano y_j i valori dei volumi legnosi (m^3) registrati per ogni quadrato, lo stimatore di Horvitz-Thompson del **volume legnoso totale** T risulta:

$$\hat{T}_{HT} = \sum_{j \in \mathbf{S}} \frac{y_j}{\pi_j} = \sum_{l=1}^n N_l y_{j_l}$$

Dai noti risultati del campionamento stratificato, la **varianza** dello stimatore HT risulta:

$$V(\hat{T}_{HT}) = \sum_{l=1}^n N_l (N_l - 1) S_l^2$$

B - Stime di totali assistite da modello



*target
volume legnoso*

Per migliorare la qualità delle **stime dei totali**, sfruttando le **informazioni ausiliarie** ottenute da dati RS (in particolare **nuvola dei punti LiDAR**) acquisiti all'interno dell'area di interesse, è possibile costruire un **set di variabili correlate con i volumi legnosi**

$$y_j = \alpha + \beta x_j + \varepsilon_j, \quad j \in \mathbf{U}$$

stimatore per regressione (Särndal et al, 1992):

$$\hat{T}_{REG} = \hat{a}N + \hat{b}T_x$$

Nel caso dell'OPSS, le quantità coinvolte risultano essere:

Stimatore corretto della **varianza**

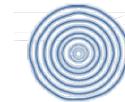
$$\tilde{V}_{HH}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{l=1}^n (t_{j_l} - \bar{t})^2$$

$$\bar{Y}_l = \frac{1}{N_l} \sum_{j \in U_l} y_j$$

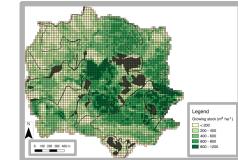
$$\hat{a} = \hat{\bar{Y}}_{HT} - \hat{b}\hat{\bar{X}}_{HT}$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{l=1}^n N_l (x_{j_l} - \hat{\bar{X}}_{HT})(y_{j_l} - \hat{\bar{Y}}_{HT})}{\sum_{l=1}^n N_l (x_{j_l} - \hat{\bar{X}}_{HT})^2}$$

C - Produzione mappe basate sul disegno



target
volume legnoso



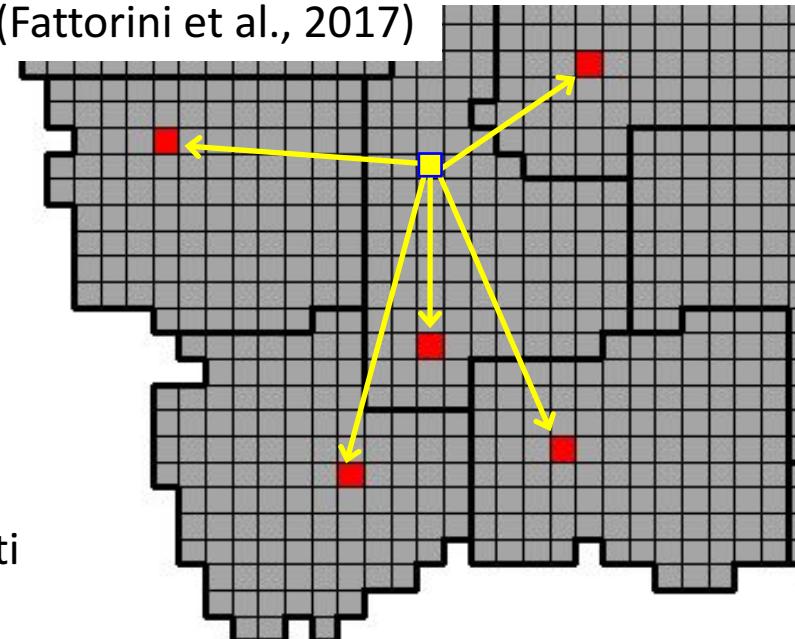
Inverse Distance Weighting (IWD)

I valori della popolazione per quelle unità che non sono entrate nel campione sono **interpolati tramite combinazioni lineari delle osservazioni campionarie**, con pesi che decrescono al crescere della distanza di tali osservazioni dal punto dove si effettua l'interpolazione (Fattorini et al., 2017)

$$\hat{y}_j = Z_j y_j + (1 - Z_j) \sum_{i \in S} w_{i,j} y_i \quad w_{i,j} = \frac{\varphi(d_{i,j})}{\sum_{l \in S} Z_l \varphi(d_{l,j})}$$

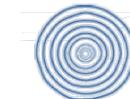
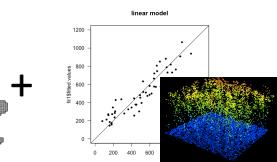
dove Z_j è una variabile dicotomica: $\begin{cases} Z_j = 1 \text{ se } j \in S \\ Z_j = 0 \text{ altrimenti} \end{cases}$

$$\hat{V}_j = (\hat{y}_j - y_{near(j)})^2$$

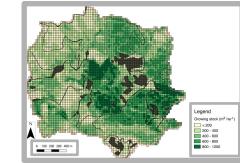


>> Fattorini L, Marcheselli M, Pratelli L (2017) Design-based maps for finite populations of spatial units. Journal of the American Statistical Association

D - Produzione mappe assistite da modello



*target
volume legnoso*



$$y_j = a + b x_j + e_j \quad , \quad j \in \mathbf{U}$$

dove e_j è l'errore (residuo) che si commette prevedendo il valore di x_j come funzione lineare di y_j

Nel caso dell'OPSS, le quantità coinvolte risultano essere:

$$\hat{a} = \hat{\bar{Y}}_{HT} - \hat{b} \hat{\bar{X}}_{HT}$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{l=1}^n N_l (x_{j_l} - \hat{\bar{X}}_{HT})(y_{j_l} - \hat{\bar{Y}}_{HT})}{\sum_{l=1}^n N_l (x_{j_l} - \hat{\bar{X}}_{HT})^2}$$

Per la stima della varianza, le proprietà non sono ancora state ancora per via matematica ma solo **per via empirica** tramite bootstrap (20'000 repliche)



Stime di totali

$$\bar{Y}_l = \frac{1}{N_l} \sum_{j \in l} y_j$$

A - basate sul disegno**Totale Provvigione Legnosa**150'072 m³517.5 m³ ha⁻¹

RSE 7.27 %

Totale Provvigione Legnosa Viva142'945 m³492.9 m³ ha⁻¹

RSE 7.34 %

Totale Provvigione Legnosa Morta7'127 m³24.6 m³ ha⁻¹

RSE 21.74 %

B - assistite da modello**Totale Provvigione Legnosa**118'768 m³409.5 m³ ha⁻¹

RSE 4 %

Totale Provvigione Legnosa Viva112'863 m³389.2 m³ ha⁻¹

RSE 4.1 %

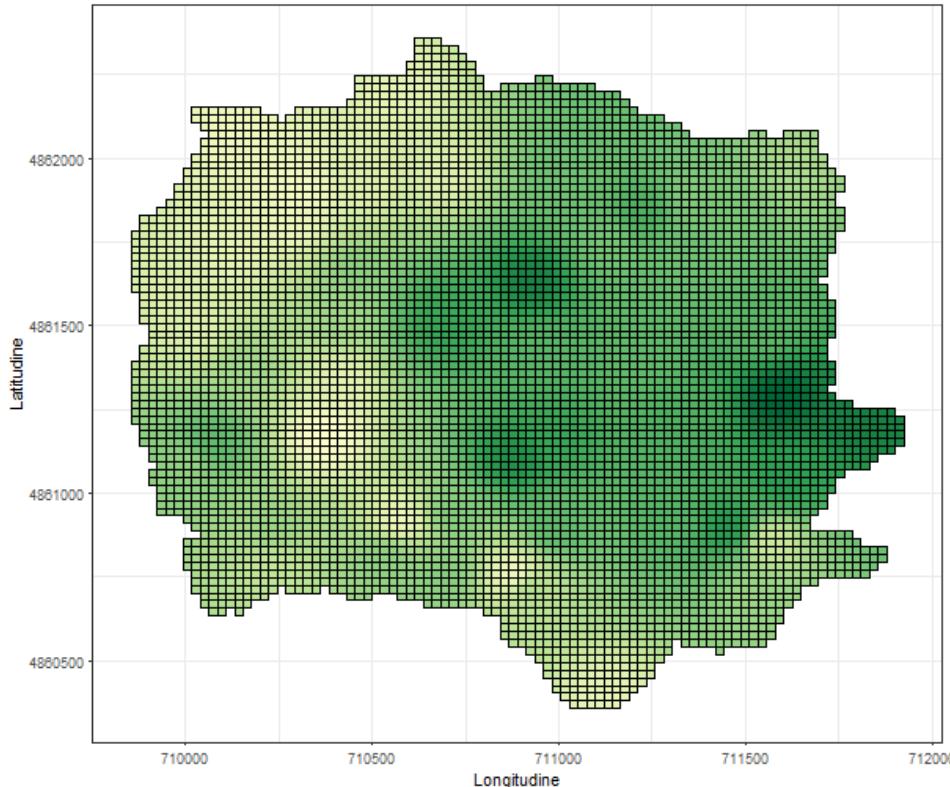
Totale Provvigione Legnosa Morta5'906 m³20.4 m³ ha⁻¹

RSE 25.4 %

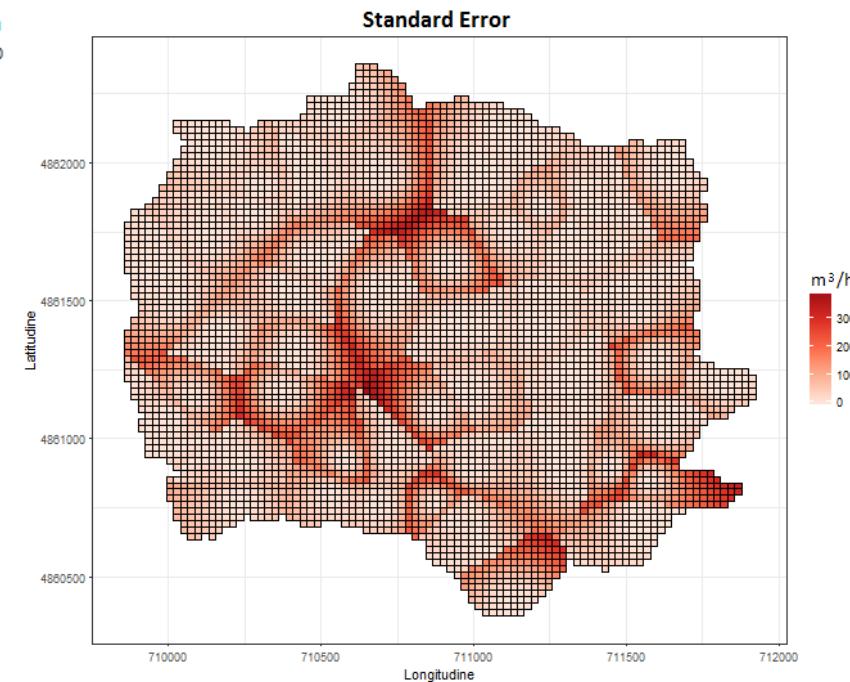
Produzione di mappe

C - basate sul disegno

Provvigione Legnosa Viva

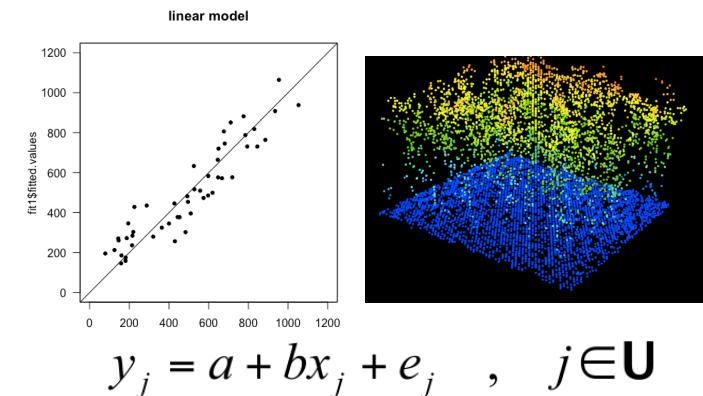
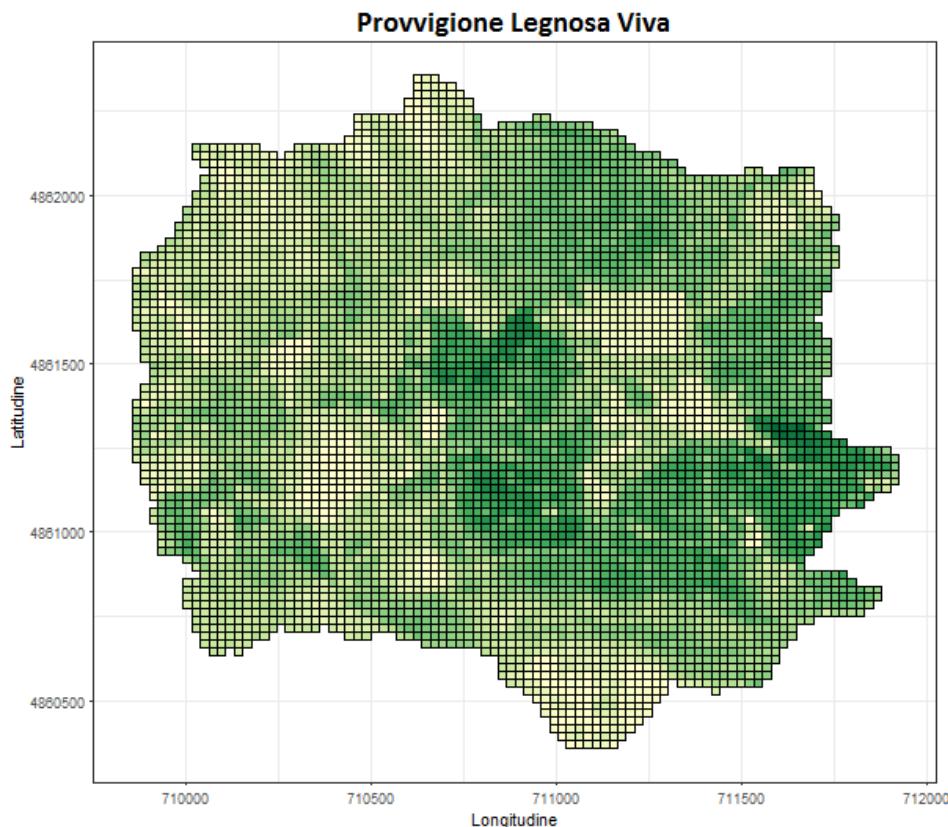


Standard Error

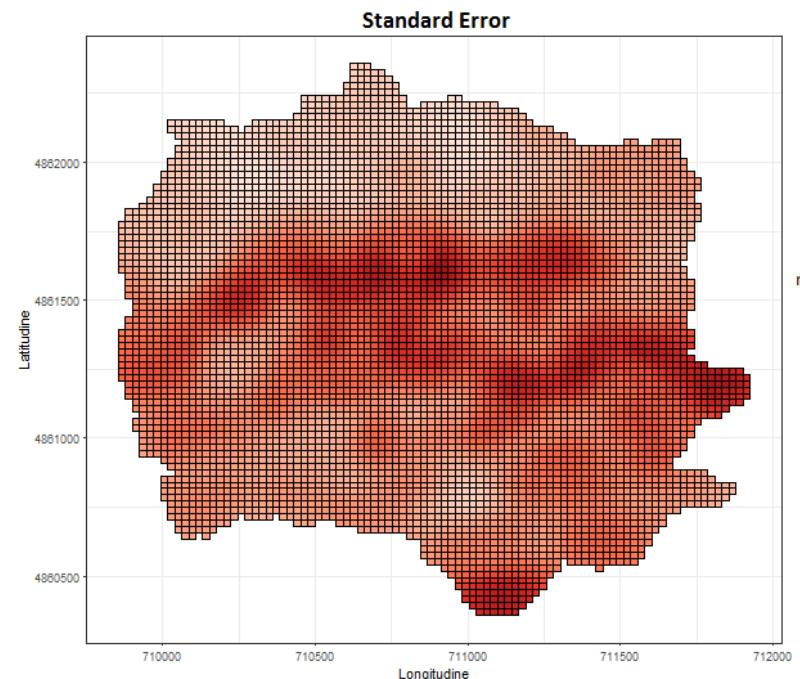


Produzione di mappe

D - assistite da modello



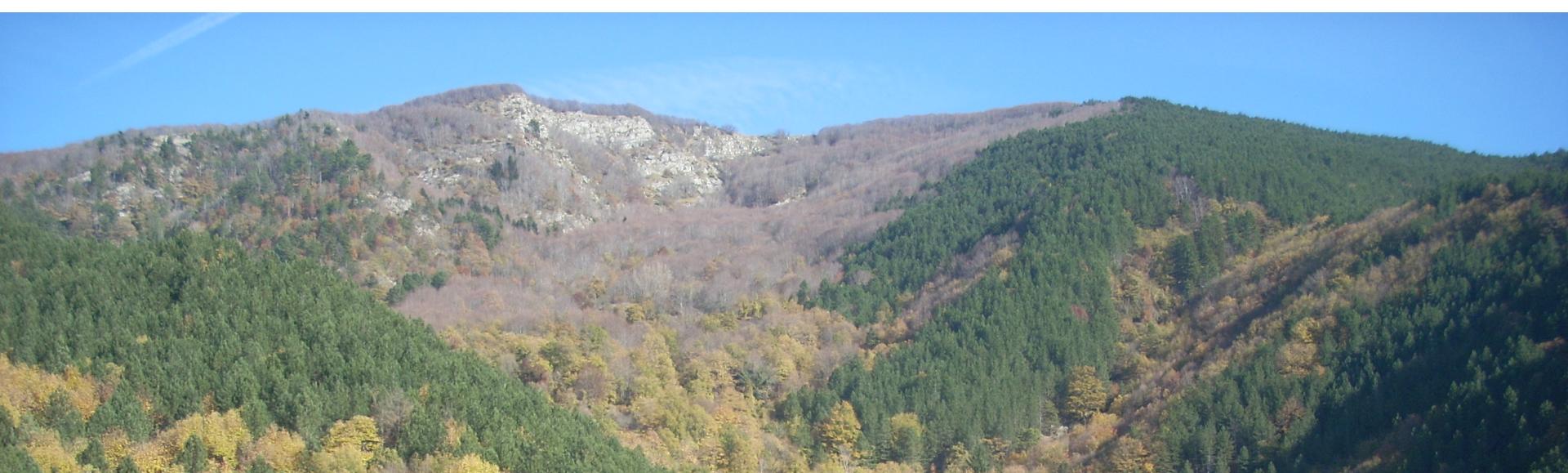
bootstrap: 20'000 repliche



>> L'elemento di maggiore novità tra gli approcci confrontati è la **produzione di mappe (mappa della stima e varianza associata) da disegno (metodo C)**

In questo caso, **le proprietà delle mappe risultanti sono basate esclusivamente sul disegno**, cioè dallo schema effettivamente utilizzato per selezionare le unità: come tali, pertanto, sono **reali e non derivate da nessun modello di super-popolazione**

>> Il *metodo D* (produzione di mappe assistite da modello) necessita un approfondimento per dimostrare matematicamente le proprietà della varianza



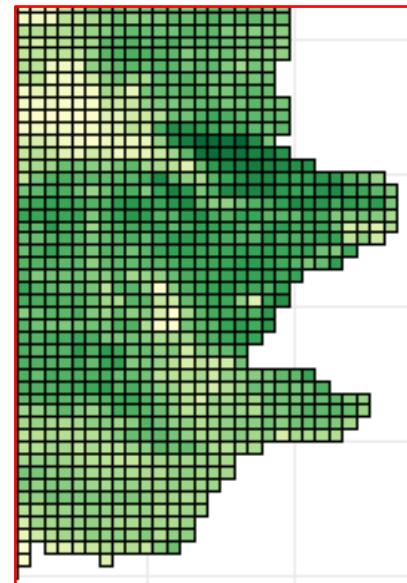
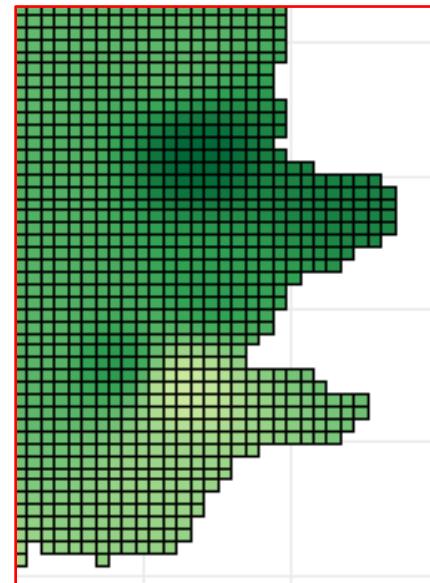
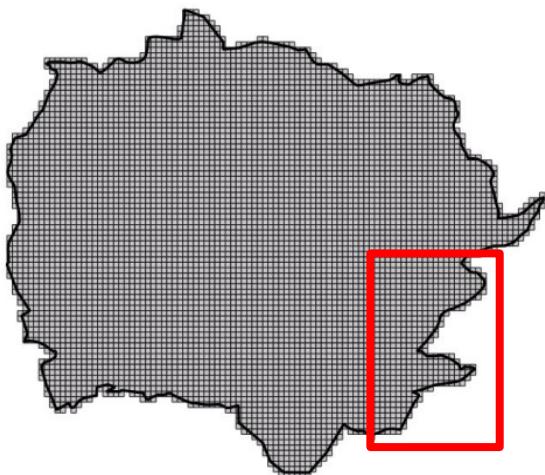


>> La stima dei totali assistita da modello (*metodo B*) richiede un modello per ogni variabile target di cui si vogliono stimare i totali

>> Il supporto di info RS migliora sensibilmente la qualità dei prodotti:

- **stima dei totali**: RSE ridotti di quasi il 50% nel caso di stime assistite da modello (*metodo B* migliore del *metodo A*)

- **produzione di mappe**: per stime assistite da dati RS (*metodo D*) riduzione dello *smoothing* caratteristico di approcci IDW



Applicazioni future

- > Applicazione dell'approccio di produzione di mappe assistite da modello (*metodo D*) per la stima di altre biomassa legnosa
- > Sviluppo degli stessi metodi utilizzando dati provenienti da altre fonti (drone/nuvole di punti a maggiore densità)





Grazie

nicola.puletti@crea.gov.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
TUSCIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



UNIVERSITÀ
DI SIENA
1240



Unione di Comuni
valdarno e valdisieve