UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,
TERRITORIO, AGROENERGIA

Quantificazione di biomassa e carbonio in particelle forestali e stima della ramaglia prelevabile per fini energetici in Valle Camonica: un approccio modellistico

Dr. Luca Nonini, Prof. Marco Fiala
luca.nonini@unimi.it; marco.fiala@unimi.it

Università della Montagna, Edolo (BS)
venerdì 19 novembre 2021.

- Stima massa legno e carbonio (C) forestale fondamentale per **pianificazione e gestione** (livello locale) e **mitigazione cambiamento climatico**;
- modelli di stima disponibili ma **non sempre adeguati** per gestione forestale → dati non disponibili;
- massa legno e C molto spesso stimati solo per **biomassa epigea**;
- **biomassa residuale** influenza notevolmente dinamica C ma sua disponibilità **generalmente non considerata** in modelli di dinamica del C forestale.

SOLUZIONE

- Stima massa di legno e C forestale sulla base dei dati da **Piani di Assestamento (PAF)** e in differenti «comparti» ecosistemici;
- quantificazione **biomassa residuale prelevabile** .

OBIETTIVO

- **Modello generalizzato** per stima massa di legno e C e biomassa potenzialmente prelevabile per energia (**particella forestale**) in base a dati da PAF;
- risultati derivanti da applicazione modello in **Valle Camonica**.

BENEFICI (livello locale)

Amministrazioni, Enti e operatori di filiera (consorzi, imprese boschive):

- Aggiornamento PAF, previsioni/prescrizioni → pianificazione e gestione forestale;
- Valutazione contributo biomassa residuale in **filiera legno-energia locale** → pianificazione strategie intervento e ottimizzazione operazioni raccolta *(→ low carbon economy)*.

MATERIALI E METODI: IL MODELLO *«WOODY BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT»* (WOCAS) – 1

MODELLO WOCAS: STRUTTURA GENERALE

Microsoft Excel

Modello WOCAS

Primo foglio di lavoro: selezione parametri

SOTTO-CRITERI DI CLASSIFICAZIONE

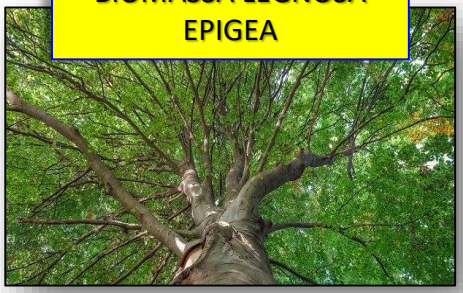
- Struttura ← Sottocodice
- Funzione ← Sottocodice
- Tipologia ← Sottocodice

→ CODICE UNIVOCO CLASSIFICAZIONE → PARAMETRI DI CALCOLO

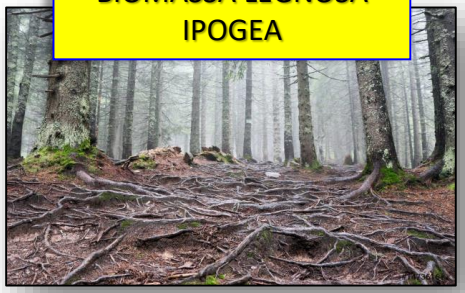
Approccio *«gain-loss»* (Linee Guida IPCC)

Secondo foglio di lavoro: calcolo massa legno e C

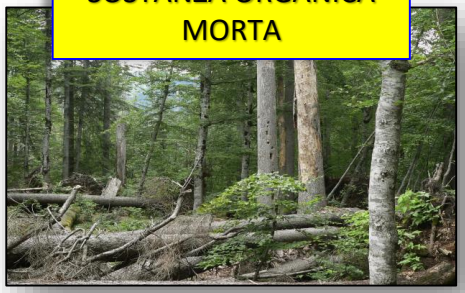
BIOMASSA LEGNOSA EPIGEA



BIOMASSA LEGNOSA IPOGEA



SOSTANZA ORGANICA MORTA

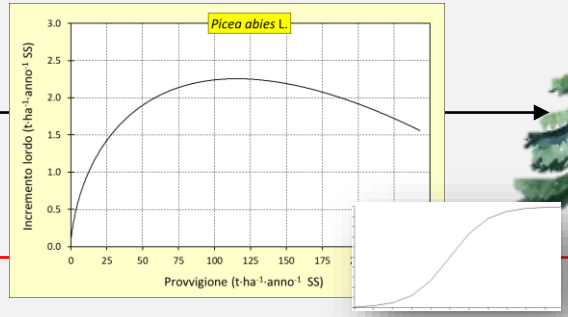


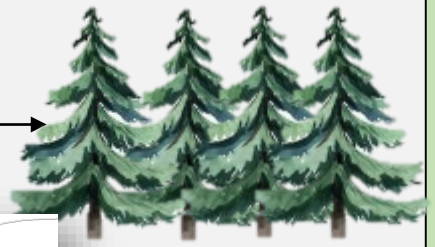
MATERIALI E METODI: IL MODELLO «*WOODY BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT*» (WOCAS) – 2

MASSA LEGNO E CARBONIO: APPROCCIO GENERALE DI CALCOLO (SINGOLA PARTICELLA)

Per ciascuna particella dall'anno di entrata in vigore del P.A.F. fino a un anno di riferimento.

CRESCITA (INCREMENTO)





PERDITE

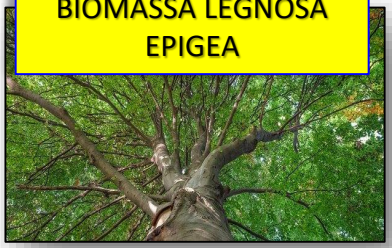
AUTO-DIRADAMENTO
Non disponibile da P.A.F.

DISTURBI NATURALI
Eventualmente disponibile da P.A.F. (salvage logging)

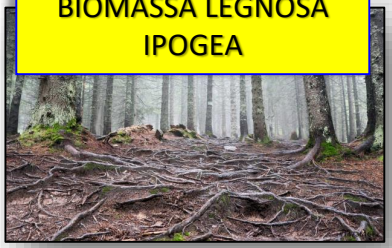
PRELIEVI EFFETTUATI
Disponibile da P.A.F.

Massa annuale legno e C

BIOMASSA LEGNOSA EPIGEA



BIOMASSA LEGNOSA IPOGEA



SOSTANZA ORGANICA MORTA

MATERIALI E METODI: IL MODELLO *«WOODY BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT»* (WOCAS) – 3

STIMA DELL'INCREMENTO ANNUALE

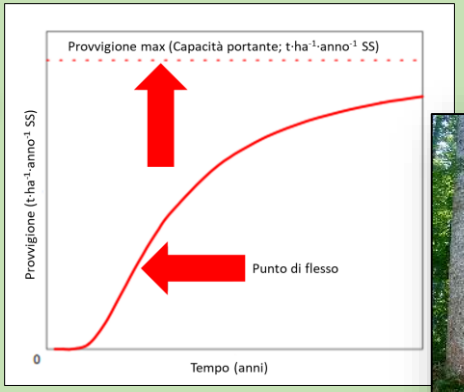
INCREMENTO ($t \cdot anno^{-1}$ SS) → **Funzione di Richards**

$$P_n = k_2 \cdot [1 - e^{(k_3 - k_4 \cdot t)}]^{-1/k_5} \cdot A_F$$

- P_n = provvigione (massa cormometrica) all'inizio dell'anno «n» ($t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ SS);
- k_2 = provvigione massima (capacità portante; $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ SS); $k_2 > 0$;
- k_3 = parametro che permette di variare il punto la provvigione è uguale alla provvigione massima (adimensionale);
- k_4 = tasso di crescita relativo (tasso di accumulo di nuova SS per unità di SS esistente; $anni^{-1}$); $k_4 > 0$;
- t = tempo (anni);
- k_5 = parametro di forma che permette al punto di flesso di verificarsi per qualsiasi valore della provvigione compreso tra il min e il max (adimensionale); $-1 \leq k_5 \leq +\infty$; $k_5 \neq 0$;
- A_F = area forestale della particella (ha);
- k_6 = incremento della particella da anno 0 ad anno 1 ($t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ SS); $k_6 > 0$;

Modificatore che riduce la provvigione massima al valore corrente al tempo «t» → **declino della crescita nel tempo**.

Funzione non lineare (andamento sigmoidale):
Crescita cumulata (**lorda**) del fusto nel tempo



Incremento indipendente da età → *f (provvigione)*

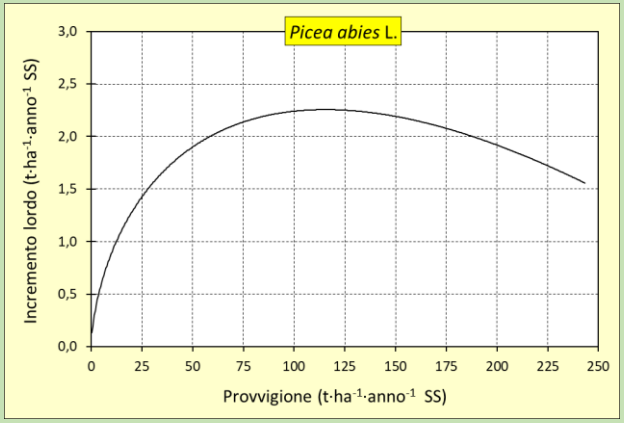
Derivata prima della massa in funzione del tempo = **incremento lordo annuale (ICL; $t \cdot anno^{-1}$ SS)**

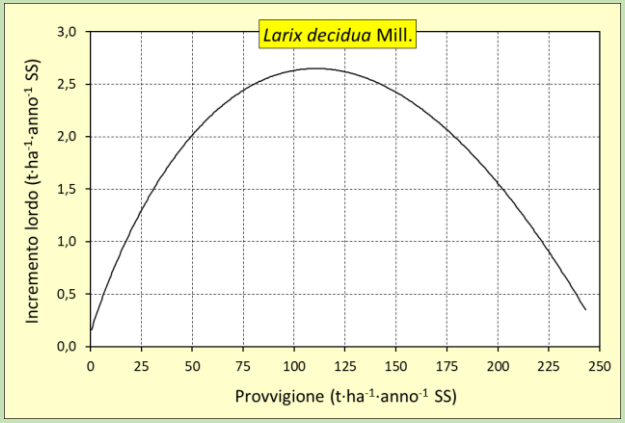
$$IL_n = -\frac{k_4 \cdot P_n \cdot (P_n^{k_5} - k_2^{k_5})}{k_2^{k_5} \cdot k_5} = \left\{\frac{k_4}{k_5} \cdot P_n \cdot \left[1 - \left(\frac{P_n}{k_2}\right)^{k_5}\right] + k_6\right\} \cdot A_F$$

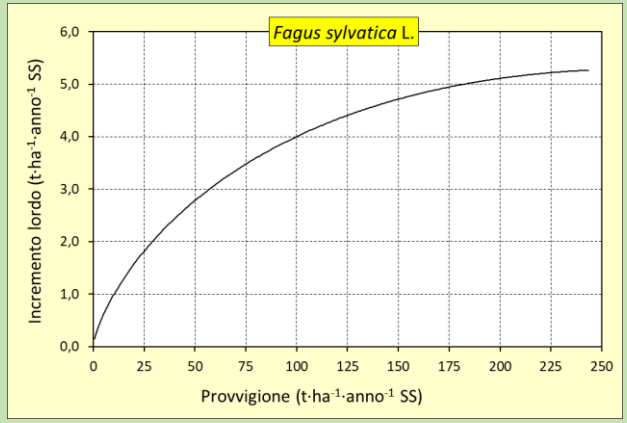
Per ciascuna particella per ogni anno

MATERIALI E METODI: IL MODELLO «*WOODY BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT*» (WOCAS) – 4

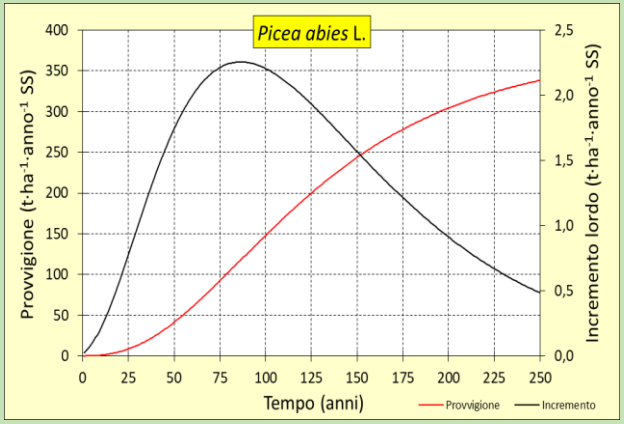
VARIAZIONE DELL'INCREMENTO ANNUALE IN FUNZIONE DELLA PROVVIGIONE

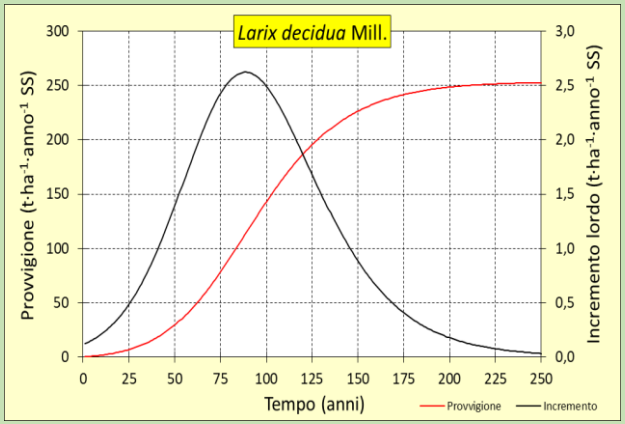


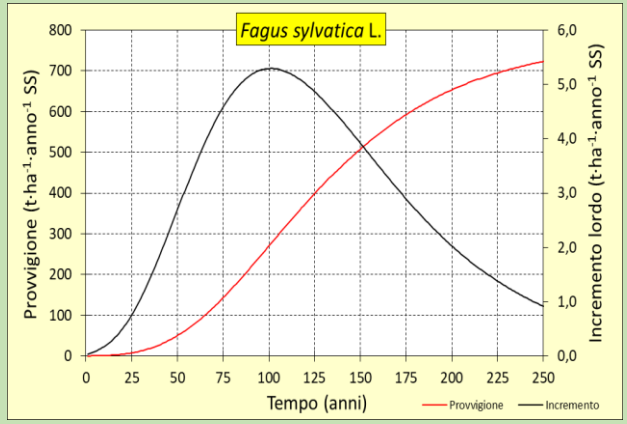




VARIAZIONE DELL'INCREMENTO ANNUALE E DELLA PROVVIGIONE NEL TEMPO





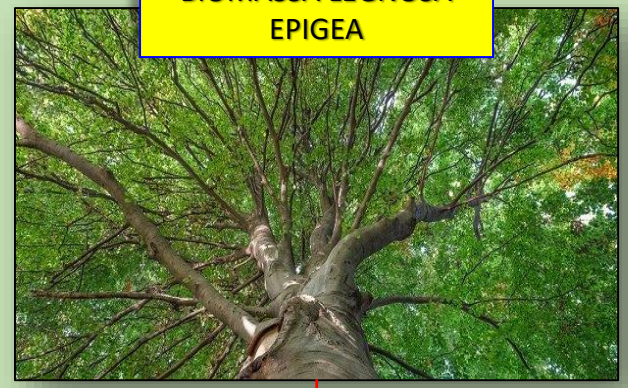


Parametri di crescita specifici per ciascuna particella calibrati per la Regione Lombardia (tavole alsometriche).

MATERIALI E METODI: IL MODELLO «*WOODY BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT*» (WOCAS) – 6

BILANCIO DI MASSA ANNUALE

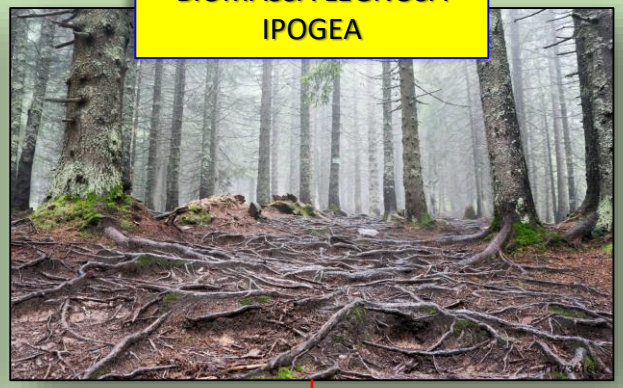
BIOMASSA LEGNOSA EPIGEA



Fattori di espansione della biomassa
tendenza ramificazione →
f (specie, provvigione particella, condizioni ambientali e modalità di gestione).

Massa fusto + rami e cimale; foglie escluse.

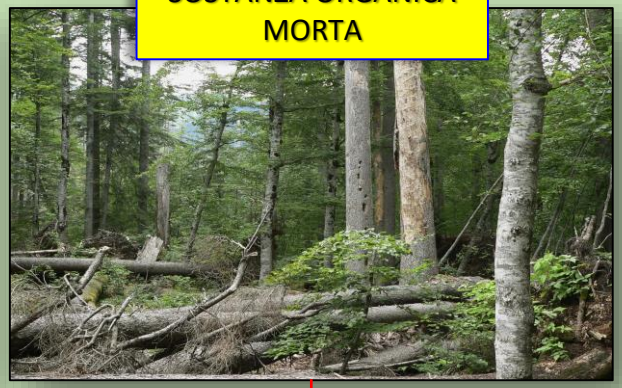
BIOMASSA LEGNOSA IPOGEA



Rapporto provvigione/radici grosse
allocazione fotosintetati → valori costanti per singola particella
f (specie, forma di governo).

Massa radici grosse (Ø ≥ 2 mm); radici fini (Ø < 2 mm) escluse.

SOSTANZA ORGANICA MORTA



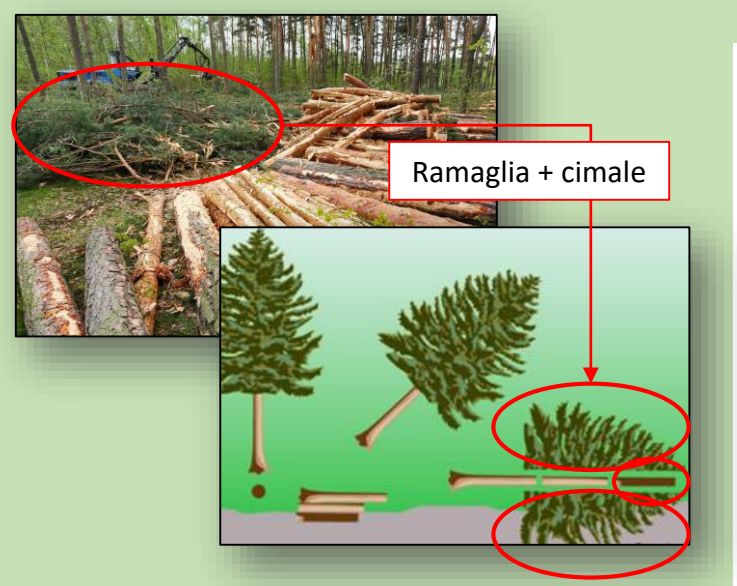
Bilancio di massa specifico
INPUT: disturbi naturali, auto-diradamento, biomassa residuale lasciata in foresta;
OUTPUT: decomposizione.

Legno morto in piedi e a terra (Ø ≥ 10 cm) + lettiera Ø < 10 cm).

BIOMASSA RESIDUALE PRELEVABILE PER FINI ENERGETICI: APPROCCIO GENERALE

Per ciascuna particella: indice di utilizzazione (IU) biomassa residuale potenzialmente producibile (m_{PROn}; $t \cdot anno^{-1}$ SS) da prelievi di fusto.

→ 6 parametri tecnici



Livello	Valore empirico
Nullo	0,00
Basso	0,25
Medio	0,50
Alto	0,75
Massimo	1,00

N.	Parametro tecnico	Categoria	Valore Categoria (v_{CAT}) e livello qualitativo	Peso parametro (p_{PAR})
1	Funzione Prevalente	Protettiva	0,00 (nullo)	da 0 a 1
		Turistico-ricreativa	0,00 (nullo)	
		Altro	0,00 (nullo)	
		Produttiva	0,75 (alto)	
2	Forma di governo	Fustaia di conifere	0,25 (basso)	da 0 a 1
		Fustaia mista	0,50 (medio)	
		Fustaia di latifoglie	0,75 (alto)	
		Ceduo	1,00 (massimo)	
3	Metodo di lavoro	Fusto intero	0,25 (basso)	da 0 a 1
		Legno corto	0,25 (medio)	
		Pianta intera	1,00 (massimo)	
4	Accessibilità	Insufficiente (classe IV)	0,00 (nullo)	da 0 a 1
		Bassa (classe III)	0,25 (basso)	
		Medio-alta (classe II)	0,75 (alto)	
		Massima (classe I)	1,00 (massimo)	
5	Transitabilità	Medio-bassa (classi III e IV)	0,25 (basso)	da 0 a 1
		Medio-alta (classi I e II)	0,75 (alto)	
6	Domanda di biocombustibili	Ridotta	0,25 (basso)	da 0 a 1
		Buona	0,50 (medio)	
		Consistente	1,00 (massimo)	

MATERIALI E METODI: IL MODELLO «*WOODY BIOMASS AND CARBON ASSESSMENT*» (WOCAS) – 8

BIOMASSA RESIDUALE PRELEVABILE PER FINI ENERGETICI: APPROCCIO GENERALE

$$vp_{P_m} = v_{CAT} \cdot p_{P_m} \rightarrow IU = \sum_{m \rightarrow 1}^{6} vp_{P_m} \rightarrow m_{PREn} = m_{PROn} \cdot IU$$

- Valore pesato parametro
- Valore categoria parametro
- Peso parametro

LIVELLO TERRITORIALE

Impianto TLR/cogenerazione centralizzato

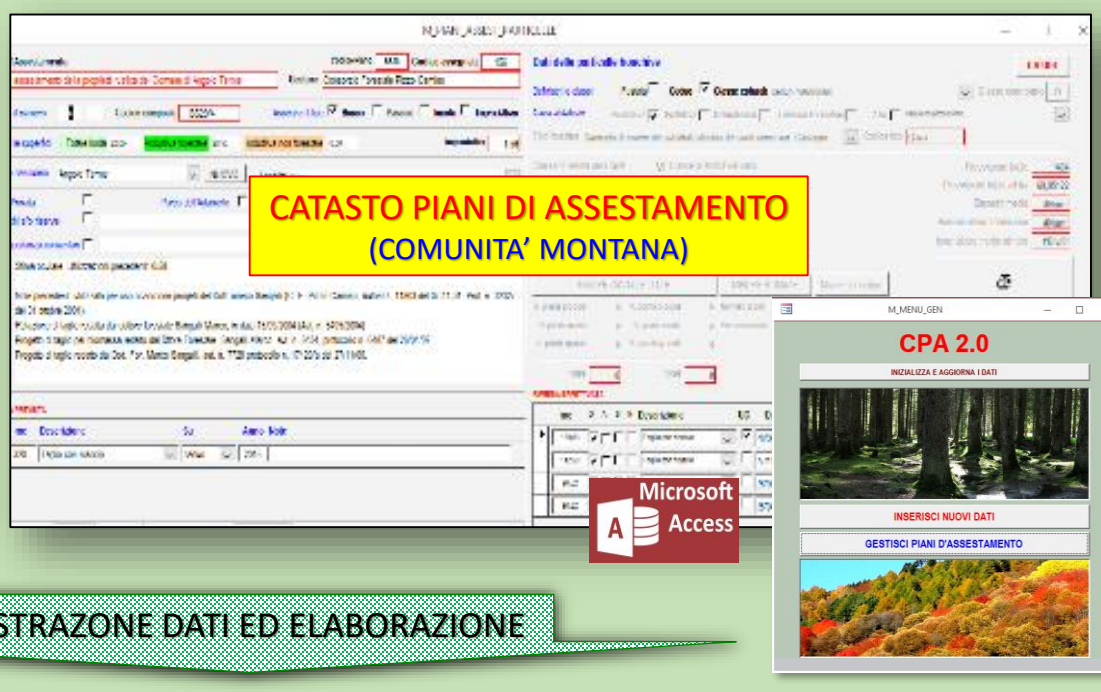
ENERGIA PRODUCIBILE (GJ·anno^{-1})

Benefici ambientali (biomassa locale)

Combustibile fossile risparmiato (m^3·anno^{-1} cond. std)

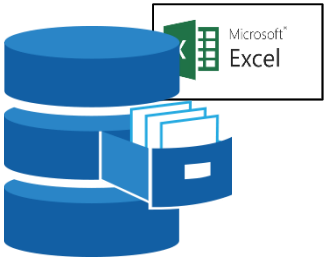
Emissioni CO_2 in atmosfera evitabili (t·anno^{-1} CO_2)

MASSA LEGNO E CARBONIO

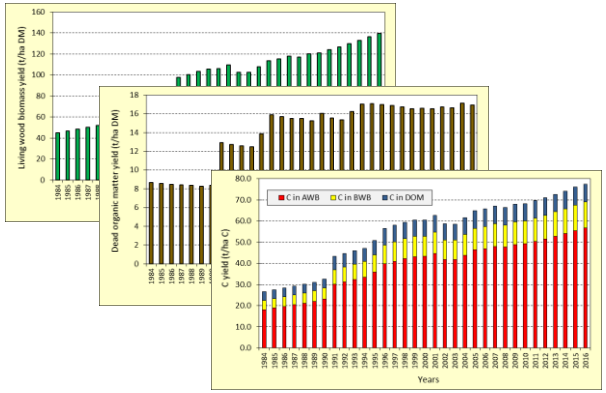


ESTRAZONE DATI ED ELABORAZIONE

Calcolo massa annuale legno e C



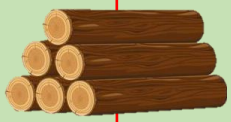
Modello WOCAS



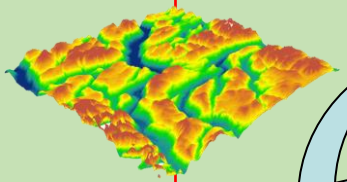
45 PAF (2019 particelle; area = 37000 ha; periodo: 1984-2018)

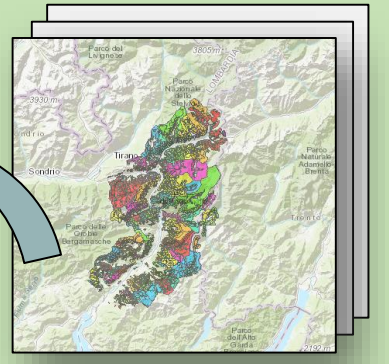
BIOMASSA RESIDUALE PRELEVABILE PER FINI ENERGETICI

Dati da PAF



Modello digitale terreno *(risoluzione 30 m)*





Shape file particelle forestali

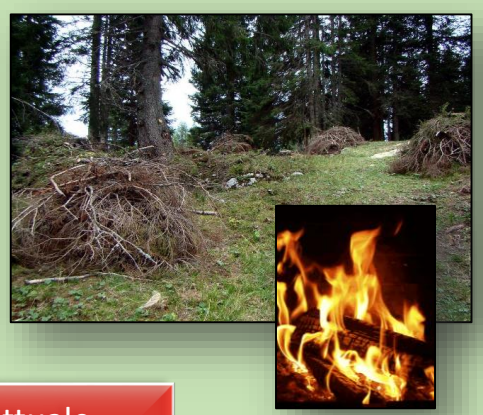
Modello WOCAS

SOFTWARE GIS

Biomassa potenzialmente producibile ($t \cdot anno^{-1}$ SS)

+

Classe accessibilità particella + classe transitabilità VASP

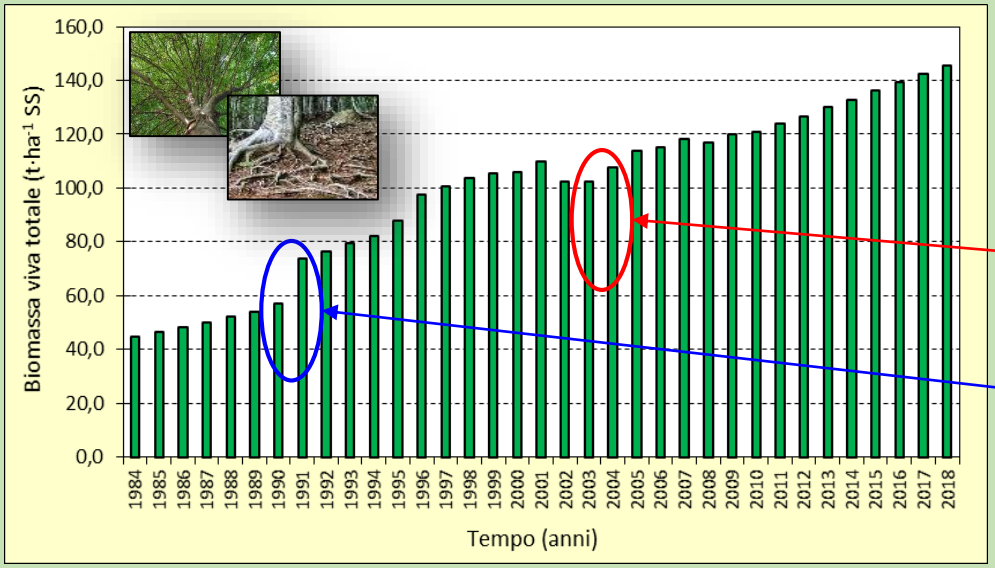


GIS GEOPROCESSING

1960 particelle; area: 35400 ha; periodo: 2009-2018.

Flusso biomassa attuale potenzialmente disponibile

MASSA MEDIA PONDERATA DI LEGNO (1984-2018) – LIVELLO TERRITORIALE



AUMENTO MASSA UNITARIA

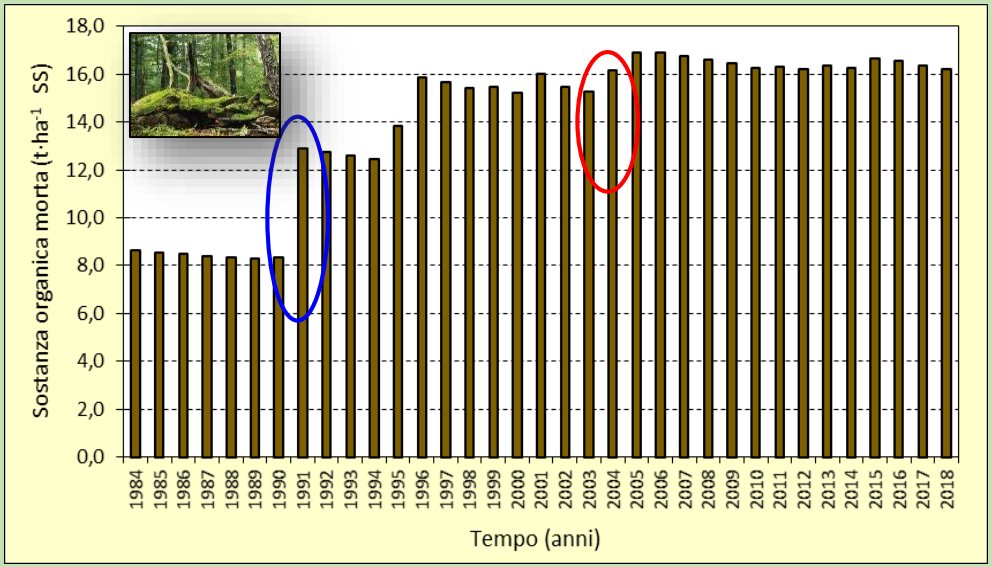
1. Incremento particelle gestite
2. Incremento netto > prelievi (tasso estrazione < 1)
3. Attivazione nuovi PAF (incremento nuove particelle)

Inclusione particelle con elevata area ma poca biomassa;
aumento massa tagliata in particelle gestite;
tasso aumento area > tasso incremento biomassa

Inclusione particelle con elevata biomassa e elevata area
tasso incremento biomassa > tasso aumento area

min: 44,72 ±44,42 t·ha^{-1} SS (1984)
81,2% biomassa epigea;
18,8% biomassa ipogea.

max: 145,49 ±70,76 t·ha^{-1} SS (2018)
82,1% biomassa epigea;
17,9% biomassa ipogea.

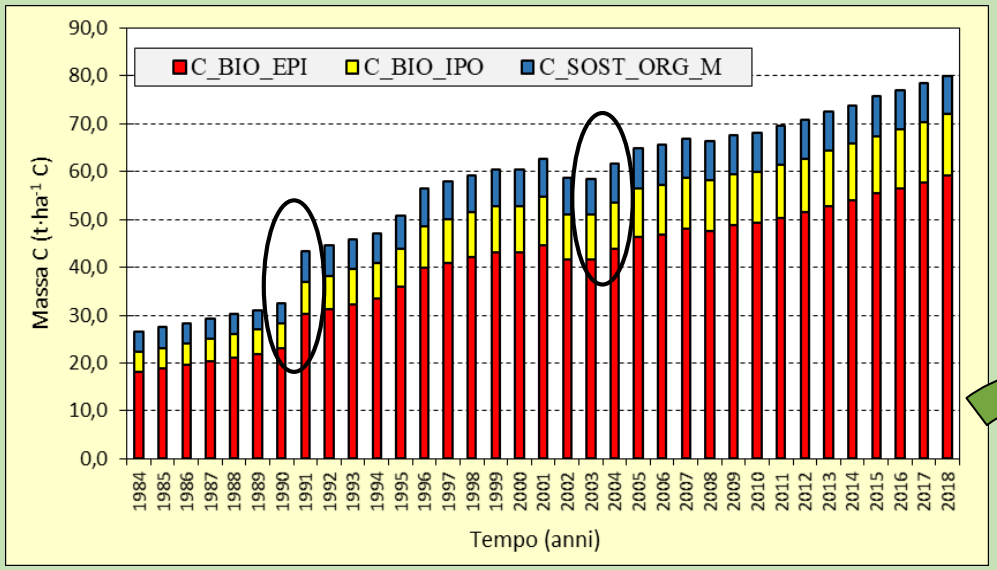


min: 8,28 ±7,79 t·ha^{-1} SS (1989)

max: 16,90 ±12,08 t·ha^{-1} SS (2006)

Elevata deviazione standard: particelle con elevata area ma bassa biomassa e particelle con bassa area ma elevata biomassa.

WEIGHTED AVERAGE C YIELD FOR EACH ANALYZED YEAR (1984-2016) – LANDSCAPE LEVEL



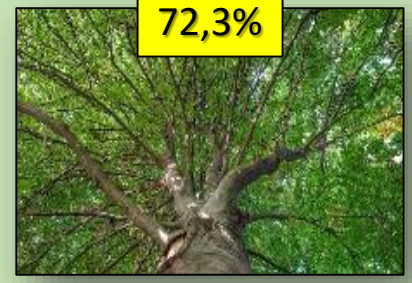
Per ciascun anno massa C in un pool:
f (crescita e perdite nella particella)
→ Trasferimento C tra pool

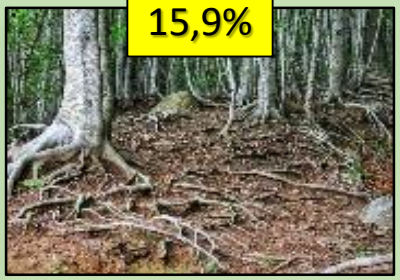
$$\text{Massa C} = C_{BIO_EPI} + C_{BIO_IPO} + C_{SOST_ORG_M}$$

min: 26,63 ±26,80 t·ha^{-1} C (1984)

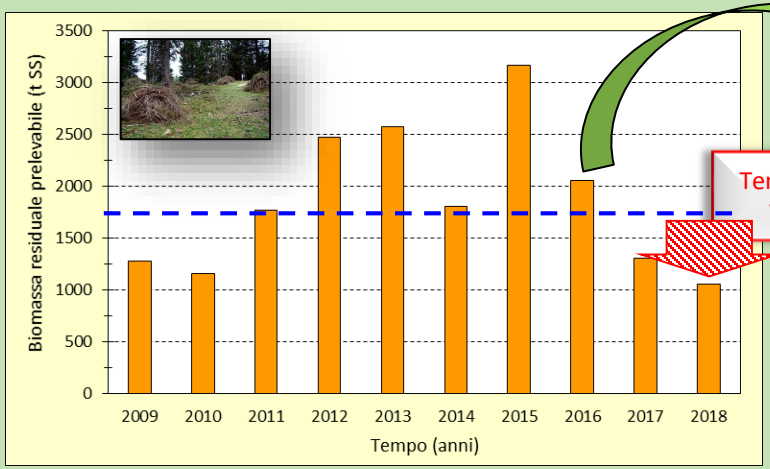
max: 80,05 ±40,01 t·ha^{-1} C (2018)

Massa C media complessiva pesata (1984-2018) = 67,48 t·ha^{-1} C





BIOMASSA RESIDUALE PRELEVABILE PER FINI ENERGETICI



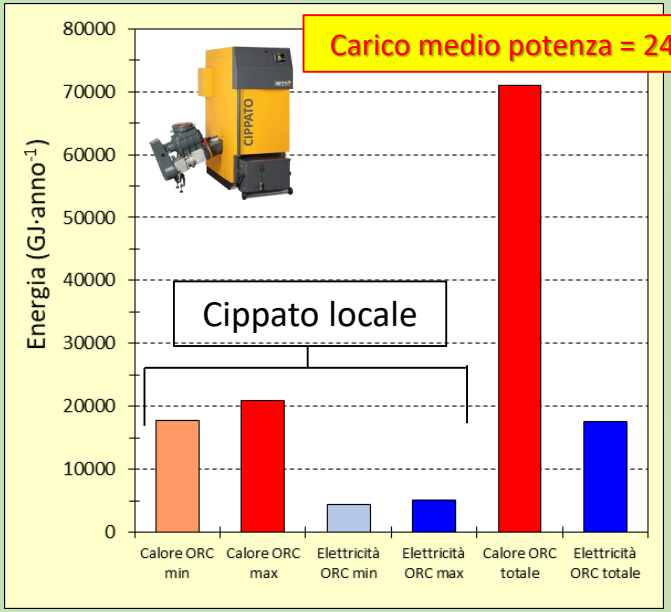
Tempesta Vaia

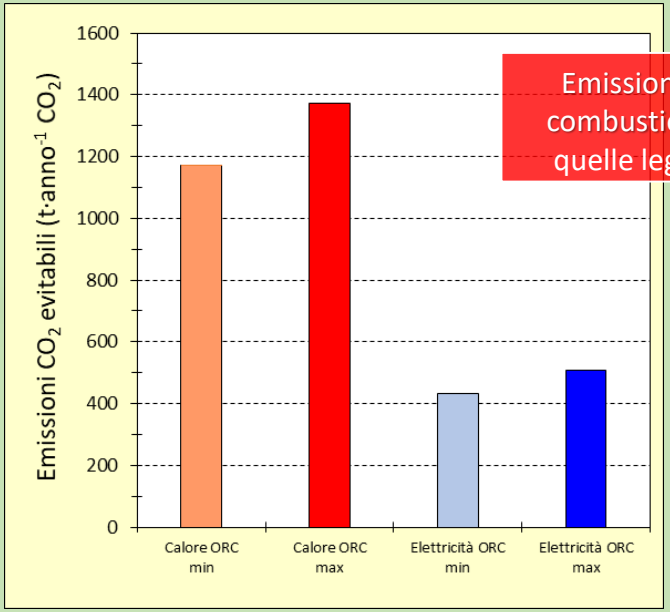
Flusso annuale biomassa residuale prelevabile:
Valore medio 2009-2018: $1.86 \cdot 10^3 \pm 7.01 \cdot 10^2$ t·anno^{-1} SS

- Gestione sostenibile;
- Periodo di tempo limitato;
- foreste simili caratteristiche in termini di volume totale, produttività media e modalità di gestione.

IMPIANTO TLR PONTE DI LEGNO

Energia potenzialmente producibile *vs* energia prodotta e emissioni CO_2 evitabili (unità ORC; anno rif.: 2019)





Emissioni riferite al processo di combustione non comprensive di quelle legate a operatività filiera

CONCLUSIONI

- Contributo sviluppo metodi per **coniugare gestione forestale tradizionale** con sfide **cambiamenti climatici**;
- **approccio bottom-up innovativo** applicabile a **qualsiasi area forestale gestita da PAF** (→ obiettivi EU-2050; «climate smart forestry»);
- massa annuale legno e C per **singola particella** e in differenti **comparti ecosistemici**;
- biomassa residuale potenzialmente prelevabile *f* (valori e peso parametri);
- diradamenti fustaie/fusti con caratteristiche scadenti → ulteriore fonte biomassa residuale;
- **primo impiego dati PAF Valle Camonica** in modello di calcolo «management-oriented»;
- emissioni evitabili CO_2 → **combustione finale**.

…IN FASE DI SVOLGIMENTO..

- Impatto **tempesta Vaia** su stoccaggio C e biomassa residuale disponibile;
- previsioni medio-lungo periodo → **scenari gestionali;**
- applicazione WOCAS in foreste di **Valtellina**.

Grazie per l'attenzione