



DiSAA

DIPARTIMENTO
di SCIENZE
AGRARIE e
AMBIENTALI



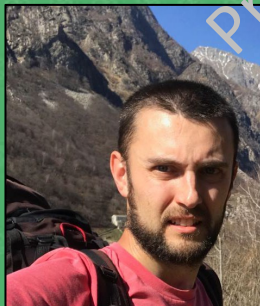
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,
TERRITORIO, AGROENERGIA

Istituto Tecnico Agrario Statale «G. Piazzi» (Sondrio)
Istituto Istruzione Superiore «F. Meneghini» (Edolo)

Progetto *“USEFOL – Approcci innovativi per la valutazione della fornitura di servizi ecosistemici in foreste lombarde”*
finanziato da Regione Lombardia (Progetti di Ricerca in campo agricolo e forestale – BANDO 2018)

MODELLI DI CALCOLO PER LA QUANTIFICAZIONE DI BIOMASSA E CARBONIO IN PARTICELLE FORESTALI E CANTIERI DI MECCANIZZAZIONE APPLICABILI PER LA RACCOLTA DEL LEGNAME A FINI ENERGETICI.

Prof. Marco Fiala (marco.fiala@unimi.it; 02 503 16868), Dr. Luca Nonini (luca.nonini@unimi.it; 02 503 16694)



Università degli Studi di Milano «La Statale»
Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali. Produzione, Territorio, Agroenergia
Via G. Celoria 2, 20133 Milano

Seminario divulgativo Istituti Superiori
27-28 aprile 2023

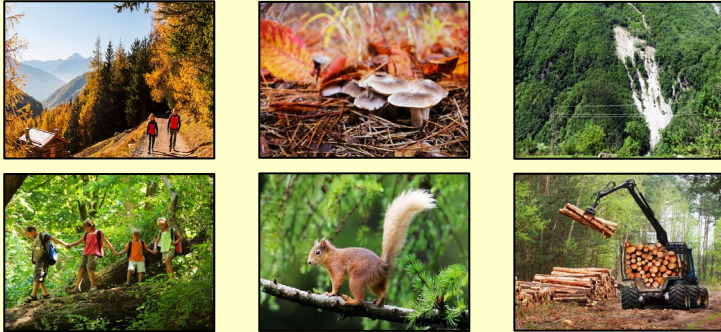


QUANTIFICAZIONE DI BIOMASSA E CARBONIO

GESTIONE FORESTALE SOSTENIBILE

MULTIFUNZIONALITA'

SERVIZI ECOSISTEMICI



Mitigazione cambiamento climatico:

- **SEQUESTRO CARBONIO (C)**
- **BIOMASSA LEGNOSA** → *materiali a lungo ciclo di vita e energia.*

UNFCCC + protocollo Kyoto



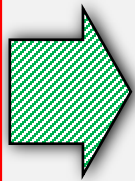
PIANI ASSESTAMENTO FORESTALE (PAF)

LIVELLO LOCALE

PARTICELLA FORESTALE

PROBLEMA

Dati solo su volume cormometrico lordo (fusto con corteccia); informazioni su prelievi effettuati spesso mancanti.



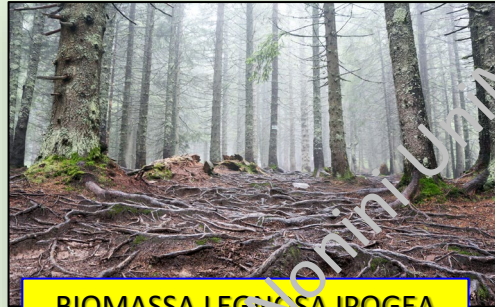
SOLUZIONE

Modelli di calcolo quantificazione masse legno e C differenti comparti (*pools*) ecosistemici: (1) biomassa legnosa epigea (BLE), (2) biomassa legnosa ipogea (BLI), (3) sostanza organica morta (SOM).

OBIETTIVO: quantificazione **RESE DI BIOMASSA** ($t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ di sostanza secca, SS) e **C** ($t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$) a scala di **SINGOLA PARTICELLA** in differenti **COMPARTI ECOSISTEMICI**.



**BIOMASSA LEGNOSA EPIGEA
(BLE)**



**BIOMASSA LEGNOSA IPOGEA
(BI.I)**



**SOSTANZA ORGANICA MORTA
(SOM)**

BENEFICI (LIVELLO LOCALE)

Amministrazioni, Enti e operatori di filiera:

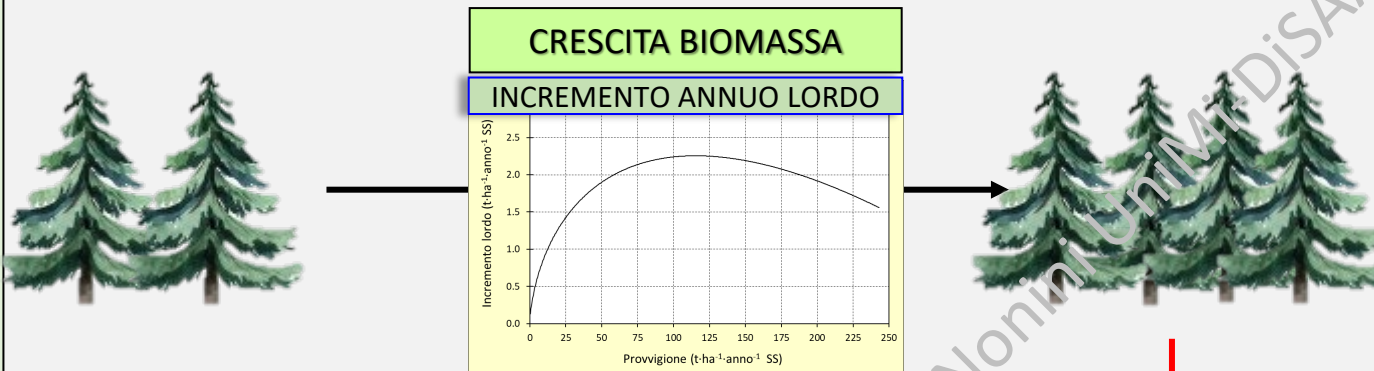
- ❖ AGGIORNAMENTO PAF, PREVISIONI/PRESCRIZIONI;
- ❖ PRATICHE SOSTENIBILI DI GESTIONE FORESTALE → miglioramento composizione soprassuoli e loro valore ecologico compatibilmente con fornitura servizi ecosistemici e biodiversità.

BASE DI PARTENZA PER:

- (1) Valutazione **disponibilità biomassa** (filiere produttive, reti TLR);
- (2) **Mercati volontari C**

RESA BIOMASSA E C: 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.



RESA BIOMASSA E C

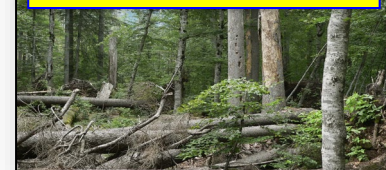
BIOMASSA LEGNOSA
EPIGEA (BLE)



BIOMASSA LEGNOSA
IPOGEA (BLI)



SOSTANZA ORGANICA
MORTA (SOM)



PERDITE



AUTO-DIRADAMENTO
Non disponibile da PAF.



DISTURBI NATURALI
Eventualmente disponibile da PAF (salvage logging).



PRELIEVI EFFETTUATI
Disponibile da istanze taglio.

*Bilancio annuale
(Linee guida IPCC)*

RESA BIOMASSA E C: BILANCIO ANNUALE (SINGOLA PARTICELLA)

BIOMASSA LEGNOSA EPIGEA
(BLE)

BIOMASSA LEGNOSA IPOGEA
(BLI)

SOSTANZA ORGANICA MORTA
(SOM)



Fattori di espansione della biomassa
(*biomass expansion factors*, BEF)
tendenza ramificazione →
 f (specie, provvigione, condizioni
ambientali e modalità gestione).

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

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

Massa fusto + rami e cimale con
corteccia; foglie escluse.

Massa radici grosse ($\varnothing \geq 0,2$ cm).

Legno morto in piedi e a terra ($\varnothing \geq$
10 cm) + lettiera $\varnothing < 10$ cm).

DUE SCENARI

BEF COSTANTE (valori medi e costanti per specie legnosa).

BEF VARIABILE (valori calcolati per ciascuna particella).

BEF = massa ramaglia
rispetto a massa fusto





493 PARTICELLE FORESTALI (7 PAF: SUP. TOT = 15300 ha)

ESTRAZIONE DATI SINGOLA PARTICELLA



CM TIRANO + CF ALTA VALTELLINA

DESCRIZIONE PARTICELLA FORESTALE #1	
NUMERO PARTICELLA	LOCALITA'
51	Cedice Alto
Superficie totale CATASTALE (ha) 51,7340	
Superficie calcolata GIS (ha) 44,1111	
Superficie calcolata GIS (ha) 51,8134	

SPECIE	
Pinus	41,4250
Ferula	4,1111
Alnus	3,2750

PROTEZIONE	
Classe catastale	Protezione
Classe catastale	Protezione

ES	
ES	Area boschiva
ES	Area boschiva
ES	Area boschiva

PROTEZIONE	
Normativa	Realta'
350	70

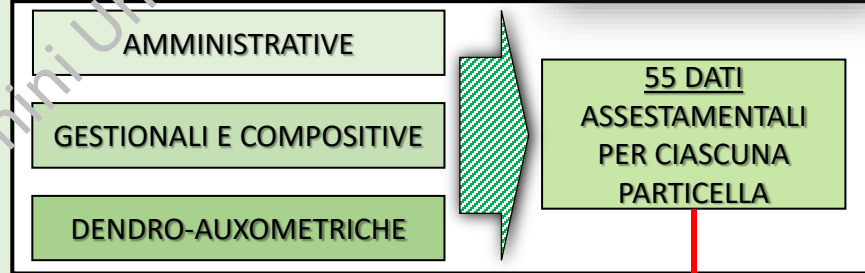
INCREMENTI	
Incremento	Corrente
0,56	2,3

INTERVENTI DI ORDINARIA UTILIZZAZIONE FORESTALE	
Sup. forestale in produzione (ha)	1,100
Sup. forestale in riserva (ha)	1,400

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO FORESTALE	
Intervento	
Intervento	

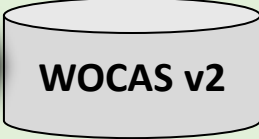
PDF

CARATTERISTICHE



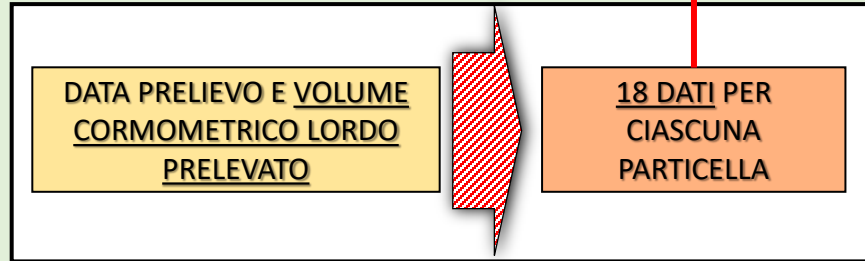
FONTE N. 1: PIANO ASSESTAMENTO FOR.

73 DATI PER CIASCUNA PARTICELLA. COMPLESSIVAMENTE: 35989 DATI.



+

FONTE N. 2: ISTANZE TAGLIO (2005-2021)





2019 PARTICELLE FORESTALI (45 PAF: SUP. TOT = 37000 ha)

ESTRAZIONE DATI SINGOLA PARTICELLA



FONTE: CATASTO PIANI DI ASSESTAMENTO

M_MENU_GEN

CM VALLE CAMONICA



CPA 2.0

INIZIALIZZA E AGGIORNA I DATI

PIANI ASSESTAMENTO FOR.



INSERISCI NUOVI DATI

GESTISCI PIANI D'ASSESTAMENTO

ISTANZE TAGLIO (1984-2018)



CARATTERISTICHE

AMMINISTRATIVE

GESTIONALI E COMPOSITIVE

DENDRO-AUXOMETRICHE

19 DATI ASSESTAMENTALI PER CIASCUNA PARTICELLA

54 DATI PER CIASCUNA PARTICELLA. COMPLESSIVAMENTE: 109026 DATI.

WOCAS v2

DATA PRELIEVO E VOLUME CORMOMETRICO LORDO PRELEVATO

35 DATI PER CIASCUNA PARTICELLA

2005-2021: 411 prelievi in 210 particelle

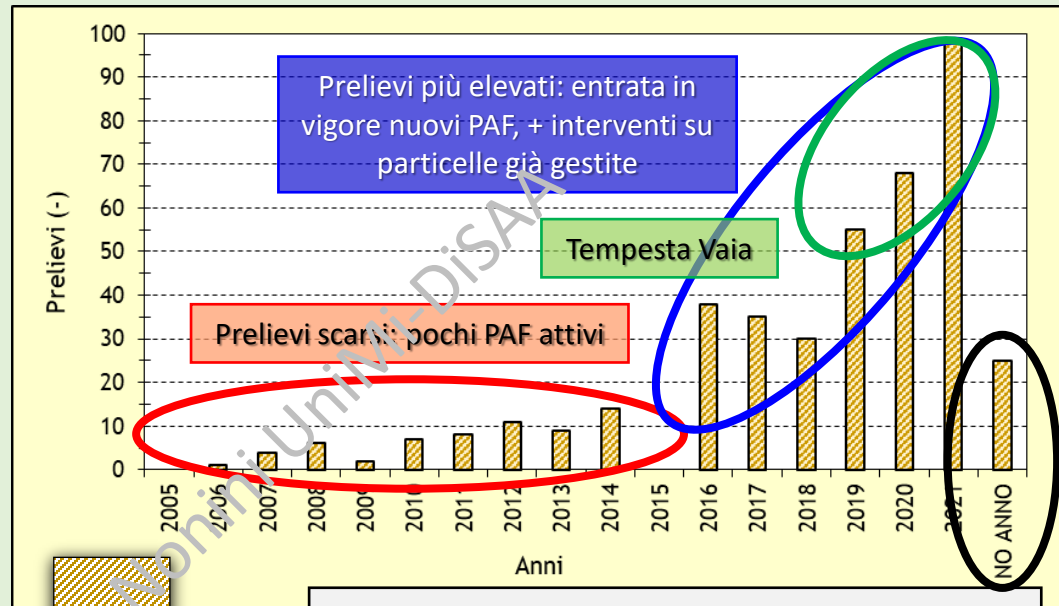
(min = 1; max = 6 prelievi/particella)

→ Volume cormometrico = **44760 m³**

→ Massa cormometrica = **20480 t SS**



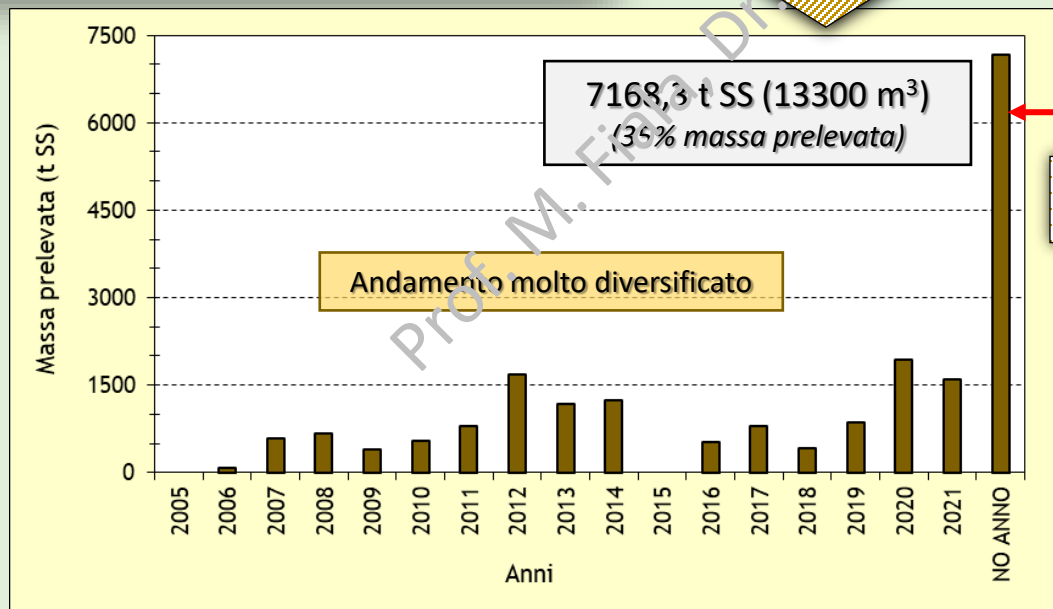
Prelievi effettuati



25 prelievi: data esecuzione *non disponibile*

DATI NON INSERITI NEL MODELLO

Massa cormometrica prelevata



ESCLUDENDO
7168 t SS

BEF COSTANTE:

Residui epigei = 3760 t SS

Residui ipogei = 3855 t SS

BEF VARIABILE:

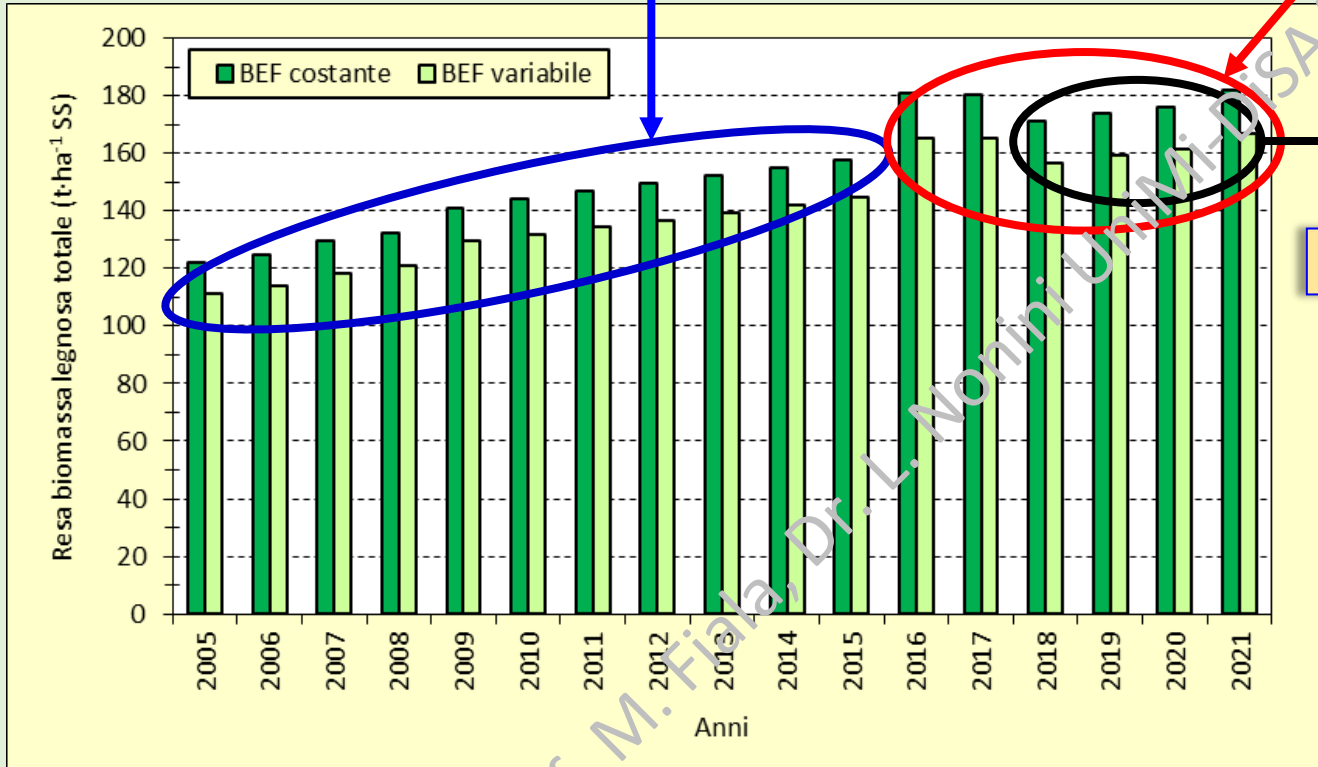
Residui epigei = 1988 t SS

Residui ipogei = 3855 t SS



Fase iniziale: aumento lineare resa:
 1) attivazione PAF; 2) crescita particelle già gestite;
 3) incremento netto > prelievi (tasso prelievo < 1).

Fase stabilizzazione:
 Entrata in vigore PAF elevate superfici e elevata biomassa



Tempesta Vaia
 BLE e BLI trasferita a SOM; aumento prelievi (bonifica soprassuoli); attivazione PAF.

7% delle particelle (0,8% sup. for)



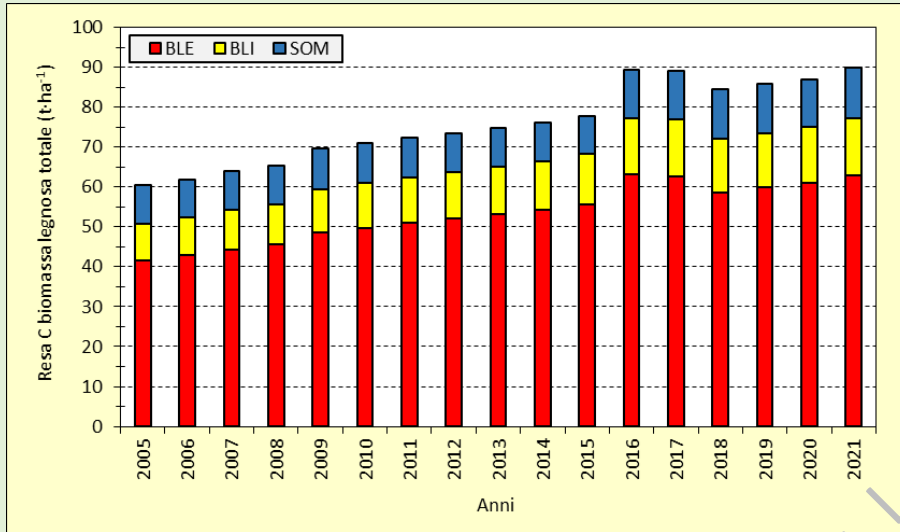
Contributo di tutte le particelle gestite in uno specifico anno.



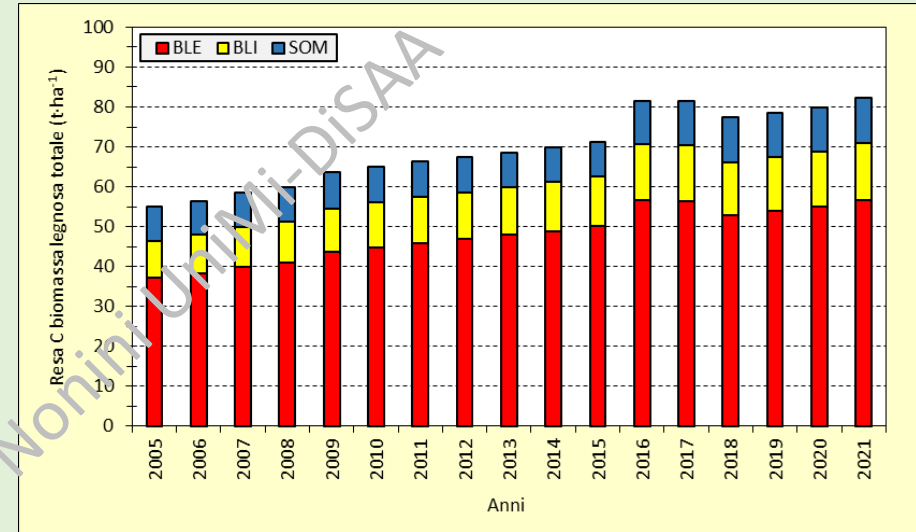
RESA MEDIA PONDERATA BIOMASSA (t·ha⁻¹ SS)
BEF COSTANTE = 122 t·ha⁻¹ SS (2005) → 182 t·ha⁻¹ SS (2021)
 BLE = 70%; BLI = 16%; SOM = 14%
BEF VARIABILE = 111 t·ha⁻¹ SS (2005) → 167 t·ha⁻¹ SS (2021)
 BLE = 69%; BLI = 17%; SOM = 14%

RESA BEF VARIABILE ≈ -10% RESA BEF COSTANTE

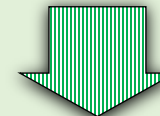
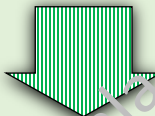
BEF COSTANTE



BEF VARIABILE



1 m³ di legna
= 1 t di CO₂



Per ciascun anno resa C in un pool:

f (crescita, mortalità naturale, disturbi e prelievi) → Trasferimento C tra pools

RESA MEDIA PONDERATA C (t·ha⁻¹)

BEF COSTANTE = 60 t·ha⁻¹ (2005) → 90 t·ha⁻¹ (2021)

BLE = 70%; BLI = 16%; SOM = 14%

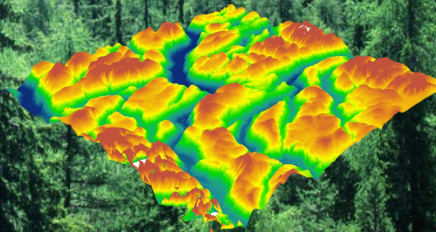
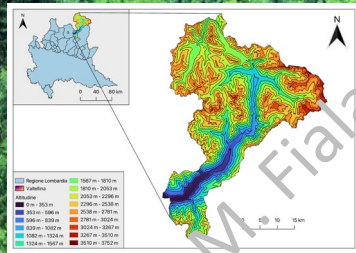
BEF VARIABILE = 55 t·ha⁻¹ (2005) → 82 t·ha⁻¹ (2021)

BLE = 69%; BLI = 17%; SOM = 14%



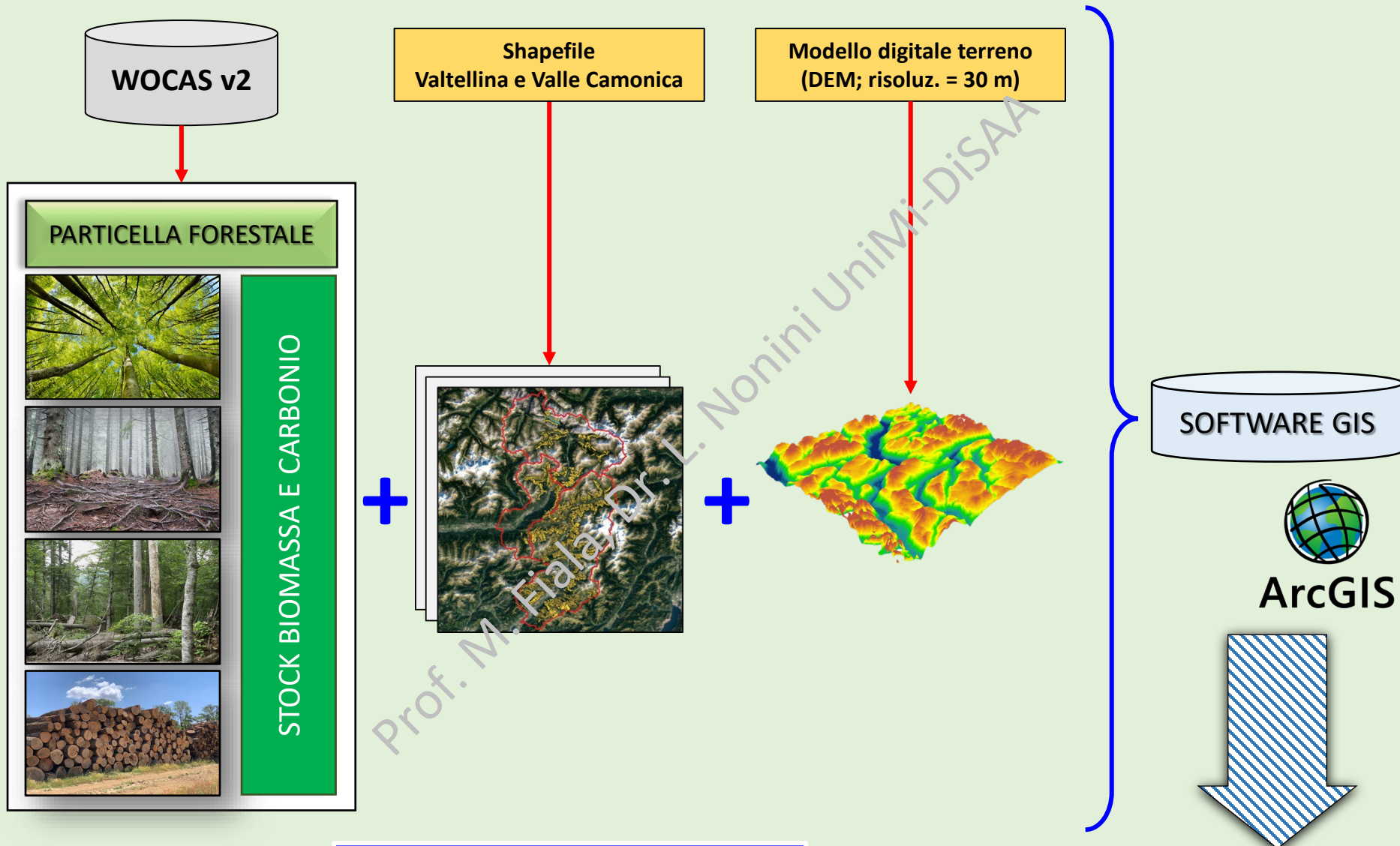


ArcGIS



Prof. M. Fiala, Dr. L. Norini UniMi-DiSA

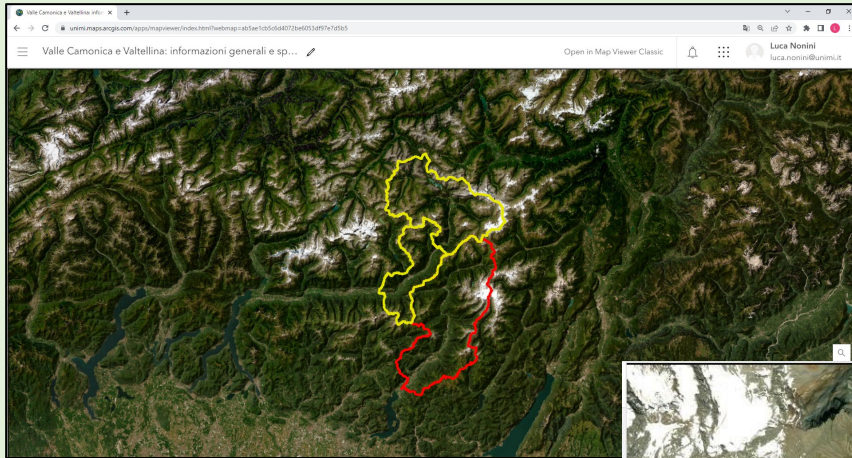
APPLICAZIONE WEB-GIS



SCHEDA INFORMATIVA PARTICELLARE

Spazializzazione informazioni
Valtellina: 7 PAF; 493 particelle; 10540 ha; Valle Camonica: 45 PAF; 2019 particelle; 37000 ha

SCHEDA PARTICELLARE: INFORMAZIONI GENERALI E SPECIFICHE



INTERFACCIA UTENTE: SELEZIONE SINGOLA PARTICELLA
E VISUALIZZAZIONE RAPIDA INFORMAZIONI

Piattaforma non (ancora) pubblica



Informazioni generali: 40 dati



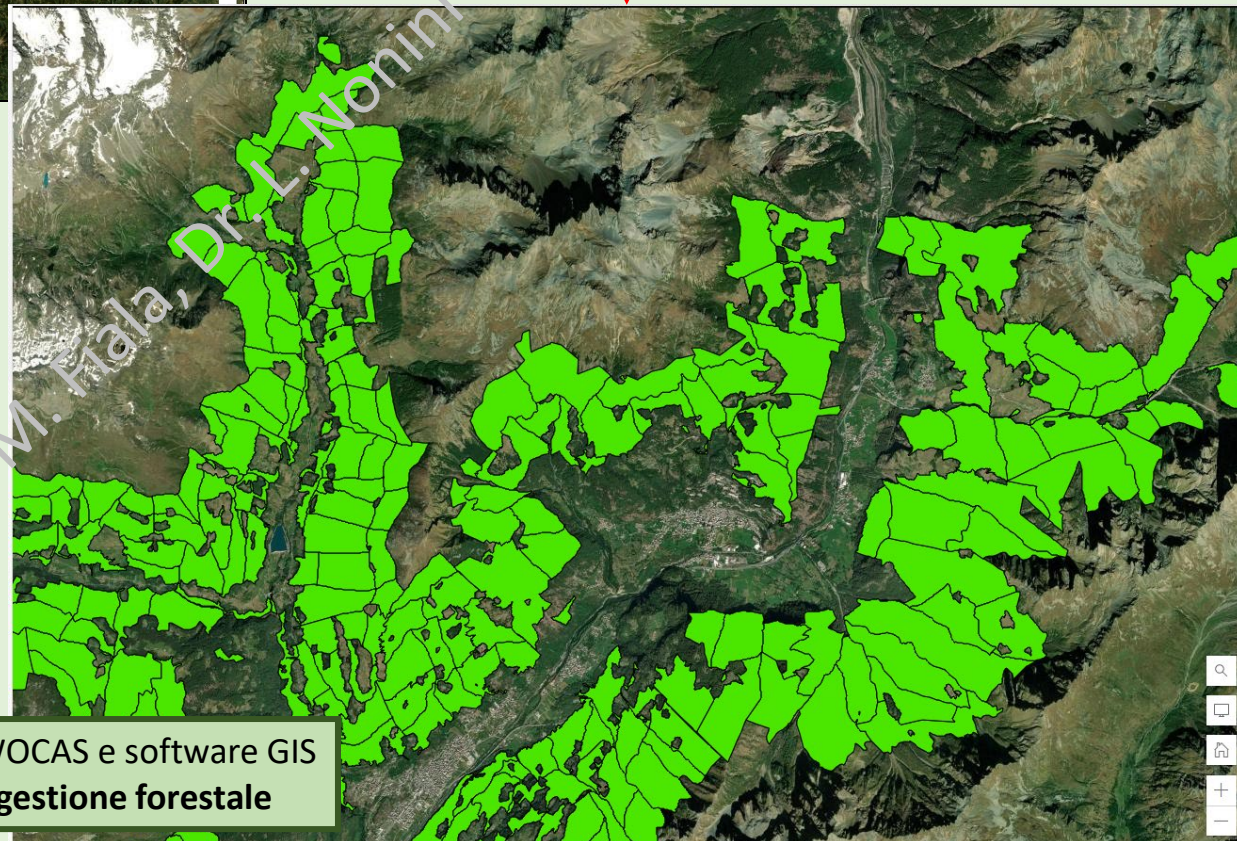
Informazioni specifiche: 24 dati



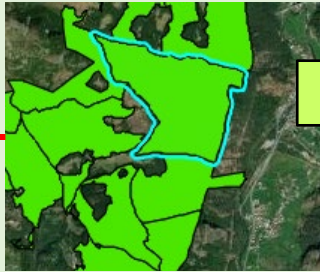
**COMPLESSIVAMENTE:
64 DATI PER CIASCUNA PARTICELLA.**



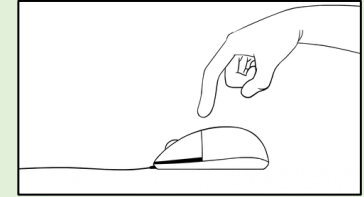
Integrazione dati PAF, modello WOCAS e software GIS
→ **supporto pianificazione e gestione forestale**



SCHEDA PARTICELLARE: INFORMAZIONI GENERALI



Dati da analisi GIS e dati *input* modello WOCAS



Blocco 1

Blocco 2

Blocco 3

Informazioni generali	
Numero particella	27
Codice identificativo Piano Assestamento Forestale (PAF)	SO_AV_SND_06
Codice identificativo particella	SO_AV_SND_06/27
Pendenza nel centroide (%)	97.97
Pendenza media (%)	90.12
Pendenza minima (%)	7.89
Pendenza massima (%)	251.25
Altitudine media (m slm)	1524
Altitudine minima (m slm)	1128
Altitudine massima (m slm)	1969
Distanza da strada forestale (m)	299.4
Classe transitabilità strada forestale	IV (Medio-bassa)
Classe accessibilità	Insufficiente
Macchine impiegabili per trasporto biomassa	Trattore (potenza motore ≤ 66 kW; massa ≤ 10 t); automezzi leggeri (massa ≤ 4 t)

Comune censuario	Sondalo
Località	Sopra Le Prese Nuove
Soggetto proprietario	Comune di Sondalo
Anno entrata in vigore PAF	2018
Anno scadenza PAF	2022
Ente gestore	Comunità Montana Alta Valtellina
Inclusione in parchi e/o riserve (si; no)	-
Nome parco e/o riserva	-
Inclusione in siti di importanza comunitaria (si; no)	-
Nome sito di importanza comunitaria	-
Inclusione in zone di protezione speciale (si; no)	-
Classe colturale	Fustaia adulta
Classe attitudinale	Fustaia protettiva di conifere
Tipologia forestale	Pecceta montana dei substrati silicatici dei suoli xerici
Superficie lorda (ha)	74.20
Superficie forestale (ha)	56.22

Fustaia: volume cormometrico da cavallettamento (m3)	0.00
Fustaia: volume cormometrico da stima (m3)	8433.00
Volume cormometrico totale (m3)	8433.00
Massa cormometrica totale (t SS)	3204.54
Resa cormometrica (m3/ha)	150.01
Resa cormometrica (t/ha SS)	57.00
Incremento annuo lordo volumetrico (m3/anno)	67.00
Incremento annuo lordo massico (t/anno SS)	25.46
Resa incremento annuo lordo volumetrico (m3/ha/anno)	1.19
Resa incremento annuo lordo massico (t/ha/anno SS)	0.45

Codice PAF e particella

Parametri morfometrici

Amministrative

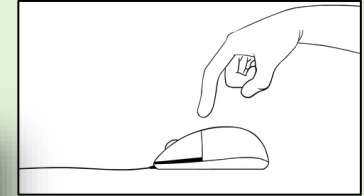
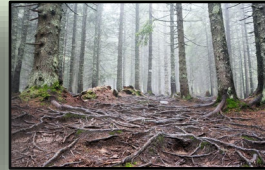
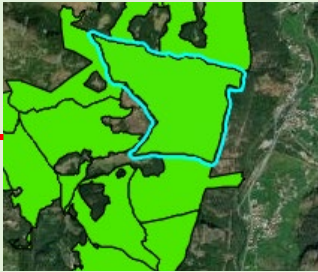
Gestionali e compositive

Dendro-auxometriche



SCHEDA PARTICELLARE: INFORMAZIONI SPECIFICHE

Dati *output* modello WOCAS (stock biomassa e C)



Blocco 1

Valtellina: Informazioni specifiche (anno 2021) - Scenario 1

Massa cormometrica (t SS)	3609.14
Resa cormometrica (t/ha SS)	64.20
Biomassa legnosa epigea (t SS)	4655.79
Resa biomassa legnosa epigea (t/ha SS)	82.82
Biomassa legnosa ipogea (t SS)	1046.65
Resa biomassa legnosa ipogea (t/ha SS)	18.62
Biomassa legnosa epigea + ipogea (t SS)	5702.43
Resa biomassa legnosa epigea + ipogea (t/ha SS)	101.44
Massa sostanza organica morta (t SS)	972.95
Resa sostanza organica morta (t/ha SS)	17.31
Biomassa legnosa totale (t SS)	6675.38
Resa biomassa legnosa totale (t/ha SS)	118.74

Biomassa (epigea, ipogea, legno morto)

Blocco 2

C biomassa legnosa epigea (t)	2346.52
Resa C biomassa legnosa epigea (t/ha)	41.94
C biomassa legnosa ipogea (t)	527.51
Resa C biomassa legnosa ipogea (t/ha)	9.38
C biomassa legnosa epigea + ipogea (t)	2874.03
Resa C biomassa legnosa epigea + ipogea (t/ha)	51.12
Quantità sostanza organica morta	490.36
Resa C sostanza organica morta (t/ha)	8.72
C biomassa legnosa totale (t)	3364.39
Resa C biomassa legnosa totale (t/ha)	59.85
Massa cormometrica prelevata da anno entrata in vigore PAF (t SS)	0.00
Biomassa legnosa residuale potenzialmente prodotta da anno entrata in vigore PAF (t SS)	0.00

Carbonio, biomassa prelevata e residuale





CANTIERI DI LAVORO: CRITERI DI SCELTA TECNICO-OPERATIVA

Operazioni forestali (OP) per recupero biomassa: **sequenza temporale**

Sistema produzione

Assortimento legnoso

Metodo di lavoro

Livello tecnologico macc.

Caratteristiche bosco

Specie arborea

Modalità gestione

Dimensione alberi

Condizioni lavoro sito-specifiche

Massa legnosa raccolta

Accessibilità bosco

Caratteristiche strade

Organizzazione impresa forestale

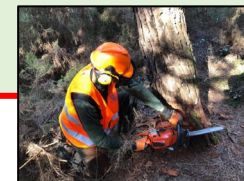
Organizz./direzione lavori

Preparazione addetti

Vie di esbosco disponibili

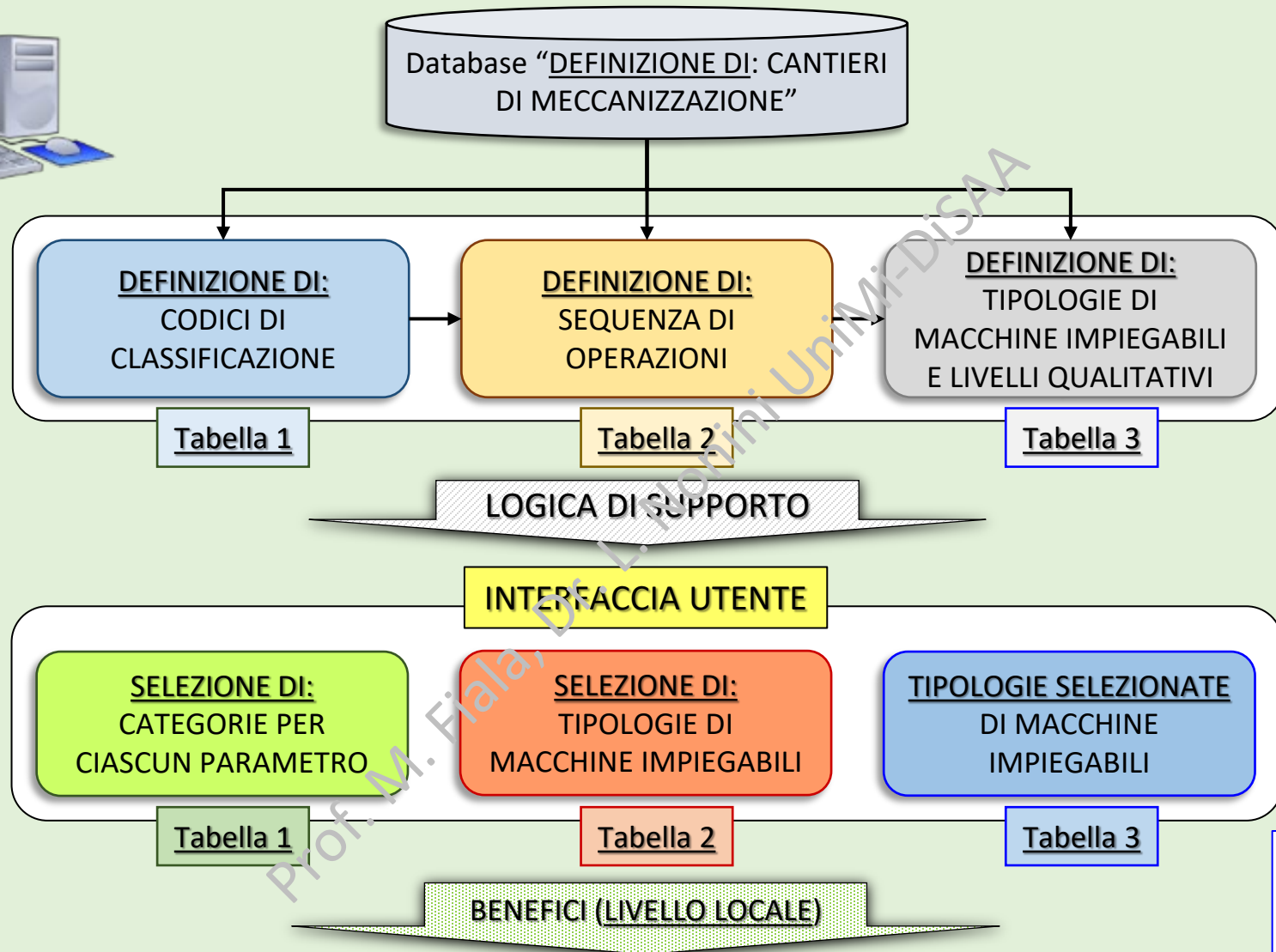


- 1) QUALI **OP** SONO CONDOTTE E CON QUALI **MACCHINE**?
 2) COME SCEGLIERE IL **CANTIERE DI MECCANIZZAZIONE OTTIMALE**?



Possibilità impiego macchine diverse per stessa OP nelle medesime condizioni operative.
 Sequenza temporale OP f (organizzazione lavoro e caratteristiche filiera)

Operazione	Metodo di lavoro		
	Legno corto	Fusto intero	Pianta intera
Abbattimento	prima	prima	prima
Sramatura	seconda	seconda	quarta
Sezionatura	terza	quinta	quinta
Concentramento	quarta	terza	seconda
Esbosco	quinta	quarta	terza
Cippatura	-	-	sesta
Carico e trasporto	sesta	sesta	settima



Aumento competitività tecnico-economica soggetti forestali (consorzi e imprese forestali → bilanci aziendali; decisori pubblici → impiego risorse umane e tecniche e pianificazione interventi);
Miglioramento sostenibilità complessiva (*economica, energetica e ambientale*) filiera

Database «DEFINIZIONE DI: CANTIERI DI MECCANIZZAZIONE»

Particella forestale classificata in base a:



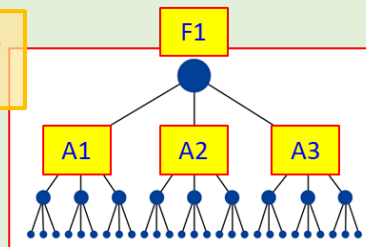
PIANI ASSESTAMENTO FORESTALE (PAF)

TABELLA 1 – DEFINIZIONE DI: CODICI DI CLASSIFICAZIONE

N°	Fattore Limitante	N°	Parametro Tecnico	Categoria	Sottocodice	
1	Caratteristiche della foresta	1	Modalità di gestione	Ceduo	F1	
		2		Fustaia	F2	
2	Caratteristiche del sistema produttivo	3	Assortimento legnoso	Legna da ardere	A1	
				4	Travi/paleria	A2
				5	Cippato	A3
		4	Metodo di lavoro	Legno corto	M1	
				Fusto intero	M2	
3	Condizioni operative sito-specifiche	5	Livello tecnologico macchine	Albero intero	M3	
				Basso	L1	
				Medio-alto	L2	
		6	Classe di transitabilità strada forestale	Medio-alta	T1	
				Medio-bassa	T2	
7	Classe di accessibilità particella forestale	Alta	AC1			
		Media	AC2			
7	Massa legnosa recuperata	5	Classe di accessibilità particella forestale	Bassa	AC3	
				≤ 15 t·ha ⁻¹ SS	H1	
				> 15 t·ha ⁻¹ SS	H2	

PARAMETRI E CATEGORIE

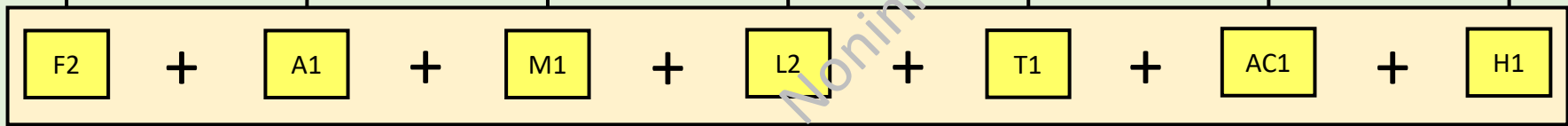
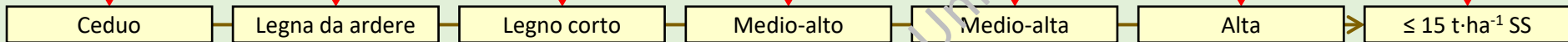
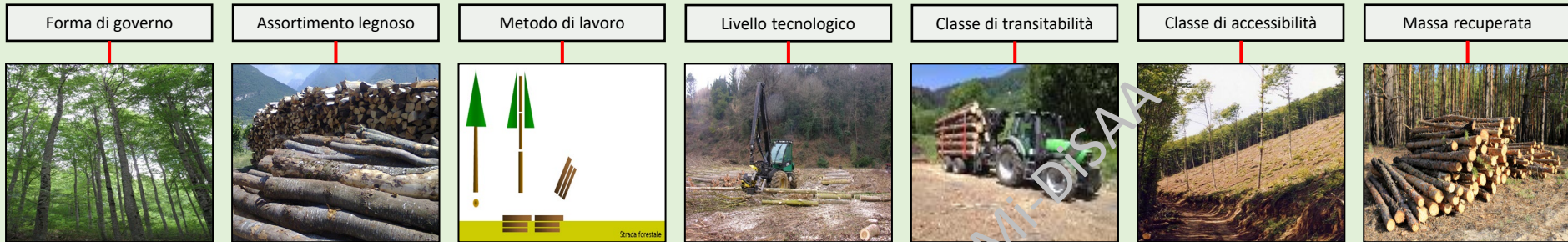
Combinazione sottocodici



STRUTTURA GERARCHICA AD ALBERO:

Ciascuna categoria include tutte le categorie dei parametri successivi

Esempio



CODICE DI CLASSIFICAZIONE

F1A1M1L2T1AC1H1

Per ciascuna OP: tipologie macchine impiegabili e livelli qualitativi

OP₁	OP₂	OP₃	OP_n	Livello qualitativo ● Alto ● Medio ● Basso
MO ₁₁	MO ₂₁	MO ₃₁	MO _{n1}	
MO ₁₂	MO ₂₂	MO ₃₂	MO _{n2}	
MO _{1n}	MO _{2n}	MO _{3n}	MO _{nn}	

Sequenza temporale OP



INTERFACCIA UTENTE

TABELLA 1 – SELEZIONE DI: CATEGORIE PER CIASCUN PARAMETRO

Forma di governo	Assortimento legnoso	Metodo di lavoro	Livello tecnologico macchine	Classe di transitabilità	Classe di accessibilità	Massa recuperata						
Ceduo	F1	Legna ardere	A1	Legno corto	M1	Bassa	L1	Medio-alta	T1	Alta	AC1	≤ 16 t·ha ⁻¹
Fustaia	F2	Travi/paleria	A2	Fusto intero	M2	Medio-alta	L2	Medio-bassa	T2	Media	AC2	
		Cippato	A3	Albero intero	M3					Bassa	AC3	



Ricerca

CODICE DI CLASSIFICAZIONE (CC)

DATABASE DEFINIZIONE DI: CANTIERI DI MECCANIZZAZIONE

TABELLA 2: SELEZIONE DI: TIPOLOGIE DI MACCHINE IMPIEGABILI

LISTA CC

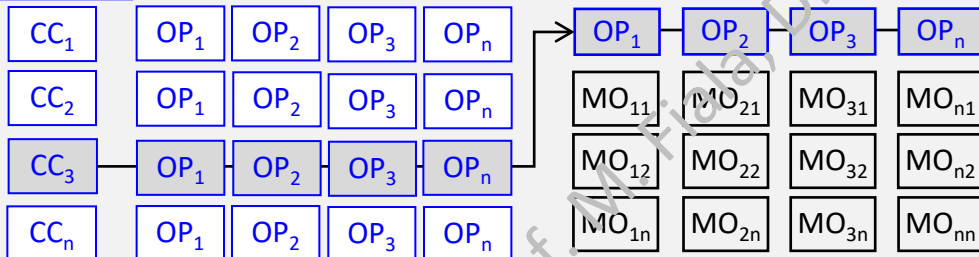
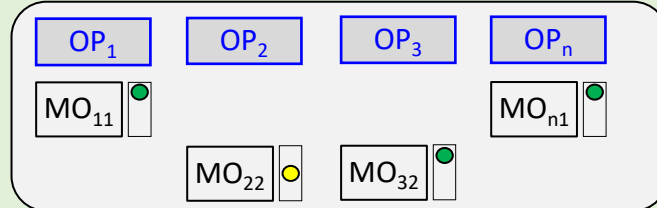
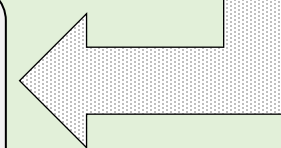


TABELLA 3: TIPOLOGIE SELEZIONATE DI MACCHINE IMPIEGABILI



Operatore



ORGANIZZAZIONE CANTIERE E PRODUTTIVITA' DEL LAVORO

DATI DI INPUT (UTENTE)

PARTICELLA FORESTALE



- Superficie interessata al taglio (ha);
- Specie legnosa;
- Volume legnoso prelevato (m³)

OP E MACCHINE



- Tempo disponibile (giorni);
- N. ore per addetto per turno;
- N. turni di lavoro per giorno ;
- N. addetti per 1 macchina;
- **Produttività lorda macchina (m³/h)**

DATI DI OUTPUT (RISULTATI)

- Tempo disponibile per addetto (h/addetto);
- Tempo necessario totale (h);
- N. macchine necessarie;
- Produttività lorda totale (t/h SS);
- N. addetti totali;
- Tempo necessario per 1 macchina (h).

INPUT PER

CALCOLO PARAMETRI AMBIENTALI E COSTI ECONOMICI OP E CANTIERE DI LAVORO



Metodologia CIOSTA: suddivisione OP in 13 fasi
(→ tempi) di lavoro.

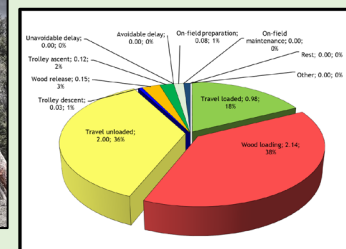


Concentramento ed esbosco, e trasporto:

- *Distanza (km);*
- *Velocità trascinamento biomassa e percorrenza A/R (km/h);*
- *Volume caricato per singolo viaggio (m³/viaggio);*
- **Tempi di lavoro (h).**

ORGANIZZAZIONE

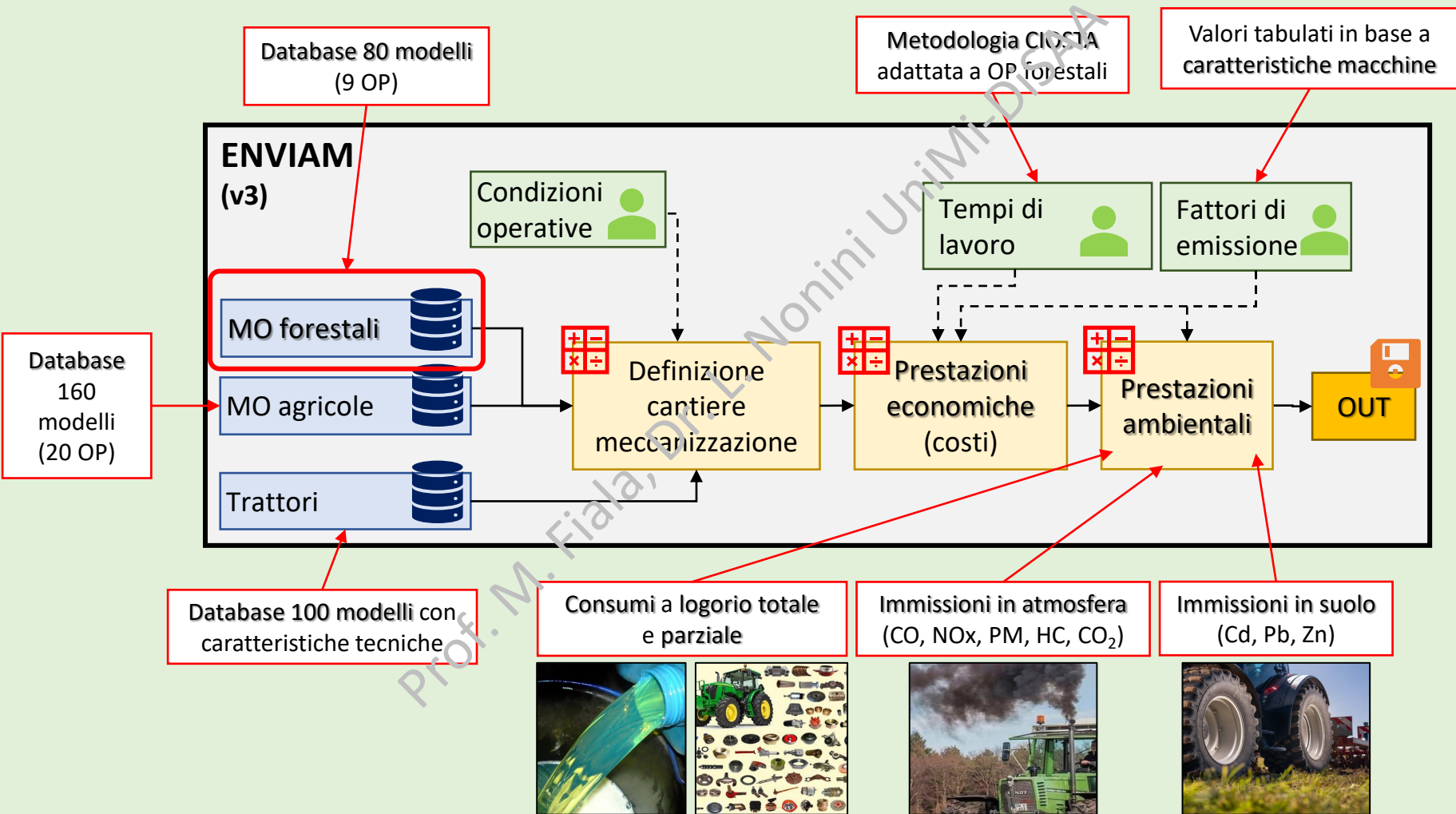
CANTIERE FORESTALE A OP CONCATENATE (HOT CHAIN) O INDIPENDENTI





CANTIERI DI LAVORO: COSTI ECONOMICI E PARAMETRI AMBIENTALI

LOGICA GENERALE MODELLO DI CALCOLO



Grazie per l'attenzione

Seminario condotto nell'ambito del Progetto *"USEFOL – Approcci innovativi per la valutazione della fornitura di servizi ecosistemici in foreste lombarde"* finanziato da Regione Lombardia (Progetti di ricerca in campo agricolo e forestale – BANDO 2018)



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