



# DiSAA

DIPARTIMENTO  
di SCIENZE  
AGRARIE e  
AMBIENTALI



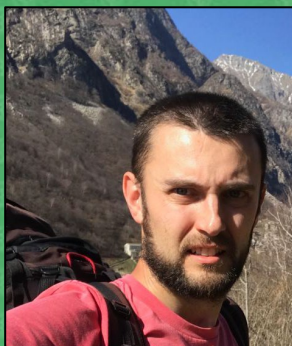
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,  
TERRITORIO, AGROENERGIA



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)

## GESTIONE DEL PATRIMONIO FORESTALE: QUANTO LEGNO PRELEVARE, QUALE MECCANIZZAZIONE E A QUALI COSTI

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



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

**Convegno FIPER: Filiera bosco-legno-energia: opportunità per il  
rilancio dei territori montani**

Erba (CO), 19 maggio 2023



PRELIEVO DEL LEGNO: DOVE, QUANTO E COME

DOVE E QUANTO PRELEVARE, COME E QUALE DESTINAZIONE PRODUTTIVA

PIANI ASSESTAMENTO FORESTALE (PAF)

PIANI INDIRIZZO FORESTALE (PIF)

CARTOGRAFIE TEMATICHE



LEGNA DA ARDERE



TONDAME DA SEGA



CIPPATO (ENERGIA)



MASSA LEGNOSA PRELEVABILE NEL MEDIO-LUNGO PERIODO IN MANIERA SOSTENIBILE

**1. VIABILITA' FORESTALE (PRIMARIA E SECONDARIA)**

**Classi transitabilità strade forestali (Regione Lombardia 2008)**

Classe di transitabilità	Mezzi	Carico ammissibile (t)	Larghezza minima (m)	Pendenza prevalente (%)	Pendenza massima con fondo naturale (%)	Pendenza massima con fondo stabilizzato (%)	Raggio dei tornanti (m)
I	Autocarri	25	3,5 (**)	<10	12	16	9
II	Trattori con rimorchio	20	2,5 (**)	<12	14	20	8
III	Piccoli trattori (*)	10	2,0	<14	16	25	6
IV	Piccoli automezzi	4	1,8	14	>16	>25	<6

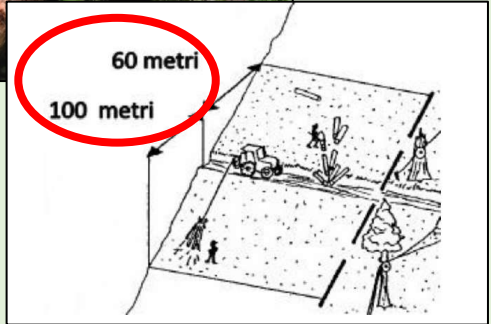


Strade molto diversificate in relazione a: localizzazione, estensione, tipologia costruttiva

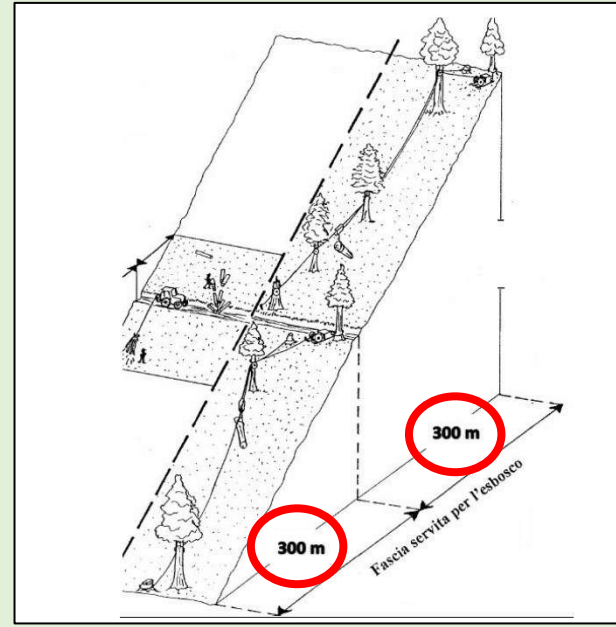
**POSSIBILITA' IMPIEGO MACCHINE DIVERSE**  
f(DENSITA' E CARATTERISTICHE RETE VIARIA)



**TR + VERRICELLO**

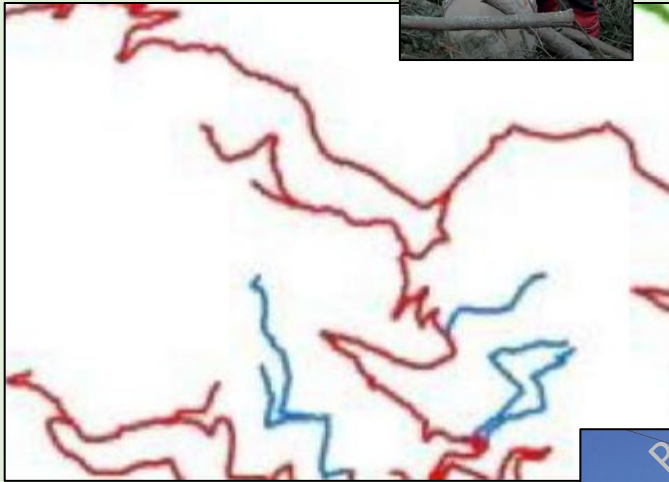
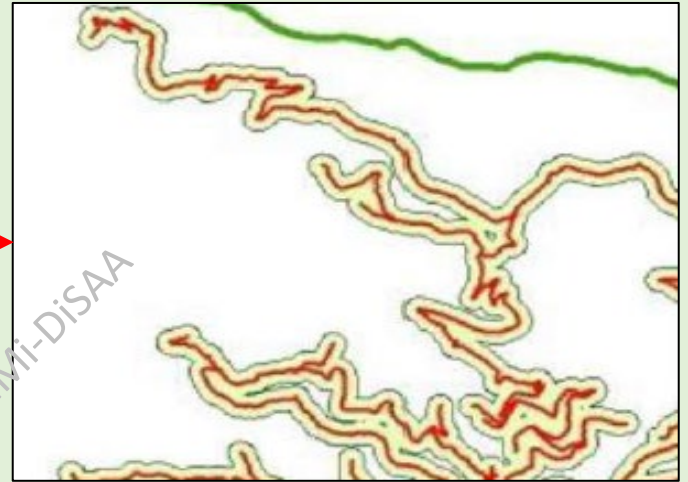


**GRU A CAVO**





**TR + VERRICELLO**



**GRU A CAVO**



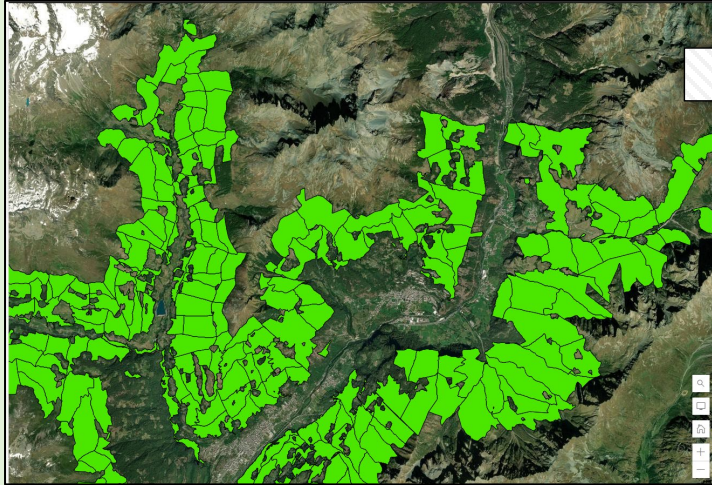
**LIVELLO TECNOLOGICO  
MACCHINE MOLTO DIFFERENTE**

**DISTANZA CON GRU A CAVO  $\geq$  3-5 VOLTE DISTANZA  
TR+VERRICELLO  $\rightarrow$  AREA SFRUTTAMENTO MAGGIORE**



Prof. M. Fiala, D. L. Nonini UniMI-DiSAA

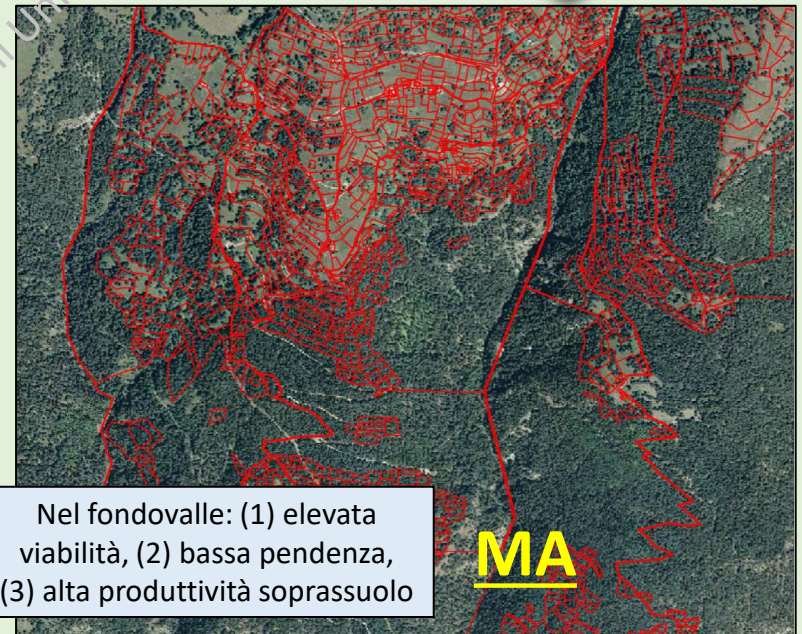
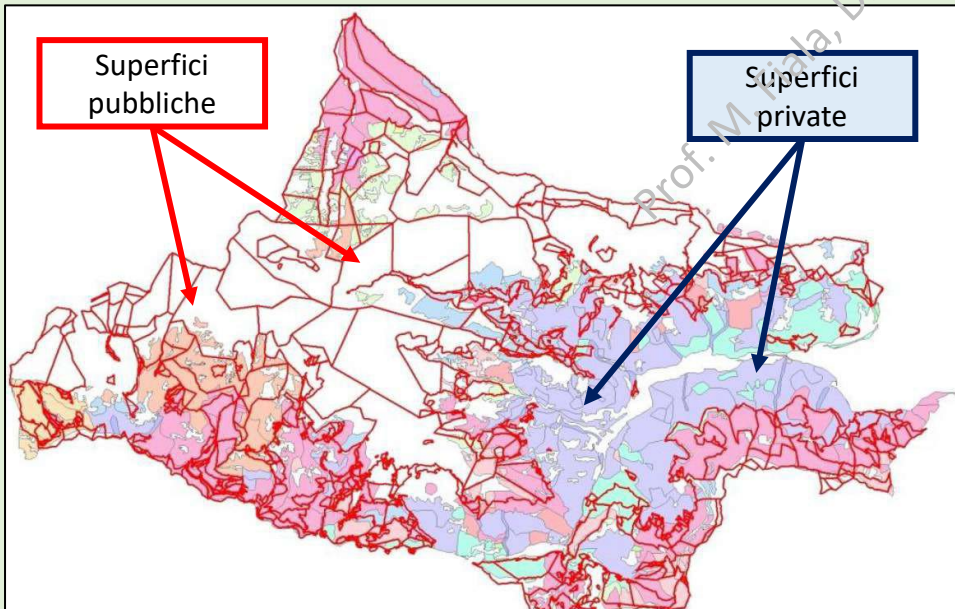
## 2. PROPRIETA' SUPERFICI BOSCHIVE



Superfici **pubbliche** → gestione PAF → *informazioni accurate*



Superfici **private** → territorio frammentato, no gestione → *informazioni spesso mancati o inesatte*



**NO DISPONIBILITA' REALE BIOMASA  
ESCLUSIONE SUPERFICI PRIVATE**

3. DISTURBI NATURALI E ANTROPICI



Incendi



Schianti da vento



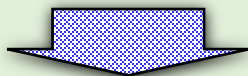
Interventi selvicolturali recenti



**NO DISPONIBILITA' REALE BIOMASA  
ESCLUSIONE SUPERFICI PERCORSE DA DISTURBO**

4. FUNZIONE PREVALENTE

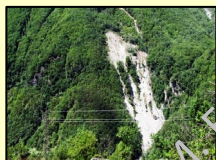
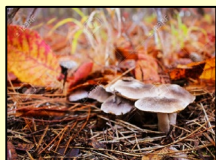
GESTIONE FORESTALE SOSTENIBILE



MULTIFUNZIONALITA'



SERVIZI ECOSISTEMICI



FUNZIONE FORESTALE INFLUENZA MODALITÀ ED ENTITÀ INTERVENTO SELVICOLTURALE



**Funzione di protezione:**

le foreste proteggono i nuclei abitati, le strade e altre infrastrutture dalla caduta di massi e dalle valanghe.



**Funzione turistico-ricreativa:**

le foreste ci consentono di apprendere, conoscere, praticare sport, o più semplicemente rilassarci.



**Funzione di conservazione**

**della biodiversità:** boschi diversi costituiscono habitat diversi, adatti alle esigenze di vita di molteplici specie animali e vegetali.



**Funzione di produzione:**

le foreste producendo prodotti legnosi e non legnosi forniscono materie prime e reddito.



**Funzione paesaggistica:**

le foreste connotano il paesaggio montano lombardo.



**Funzione di stoccaggio di CO<sub>2</sub>:**

attraverso la fotosintesi, gli alberi trasformano l'anidride carbonica contenuta nell'aria in carbonio organico incorporato nel legno.

POPOLAMENTI CON FUNZIONE DIVERSA DA QUELLA PRODUTTIVA GENERALMENTE ESCLUSI O INTERVENTO RIDOTTO

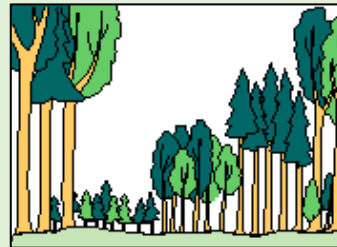


## 5. CARATTERIZZAZIONE DENDROMETRICA

FUSTAIA



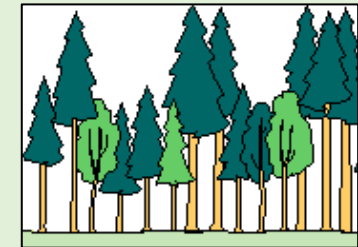
Regolare



Disetanea

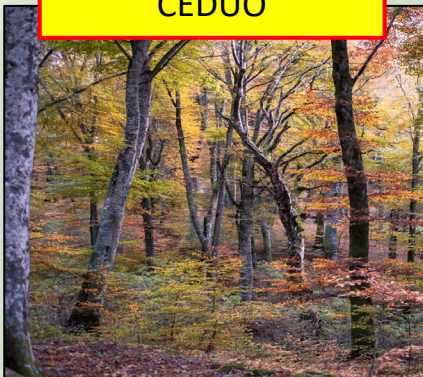


Irregolare

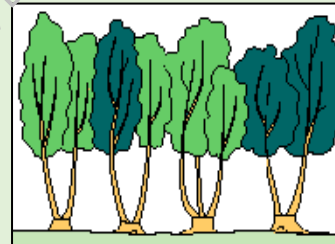


*ESCLUSIONE CATEGORIE FORESTALI SCARSO INTERESSE E SOPRASSUOLI CON BASSI VALORI DI BIOMASSA E/O INCREMENTO ANNUO (LIMITI STAZIONALI O STADIO EVOLUTIVO)*

CEDUO



Semplice



Composto



Stadio evolutivo, composizione specifica, struttura, provvigione e incremento annuo

CONDIZIONANO

Obiettivi intervento di taglio e volume legnoso prelevabile (ripresa legnosa potenziale)

**6. DEFINIZIONE INTERVENTI SELVICOLTURALI E 7. ASSORTIMENTI RITRAIBILI**

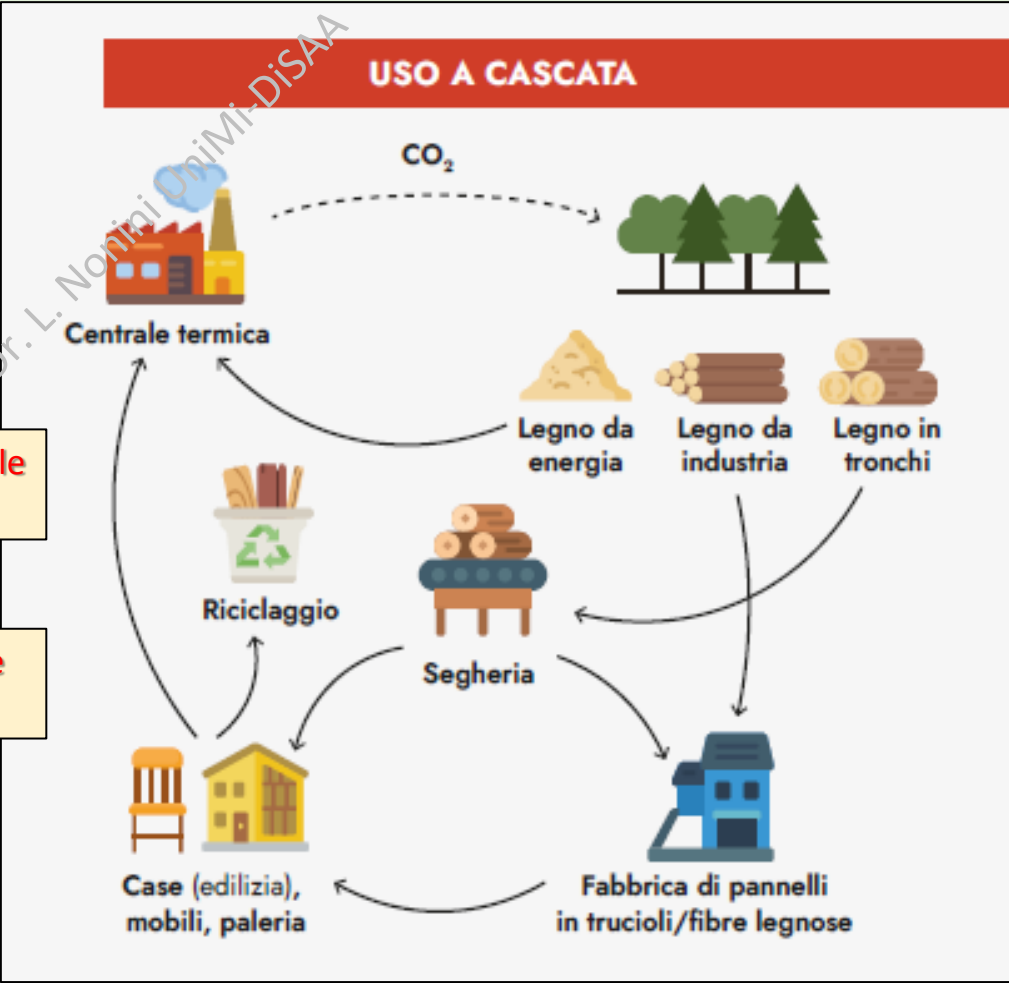
Taglio : di sementazione, di preparazione, secondario, di sgombero, di diradamento, di sterzatura, saltuario, di conversione, a buche, a strisce, fitosanitario, a raso

RIPRESA POTENZIALE (% MASSA LEGNOSA) E ASSORTIMENTO RITRAIBILE



Da bosco: biomassa residuale 20-25% biomassa epigea

Da segheria: biomassa residuale 40-50% massa lavorata





QUALE MECCANIZZAZIONE?

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

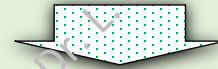
Caratteristiche strade

**Organizzazione impresa forestale**

Organizz./direzione lavori

Preparazione addetti

Vie di esbosco disponibili



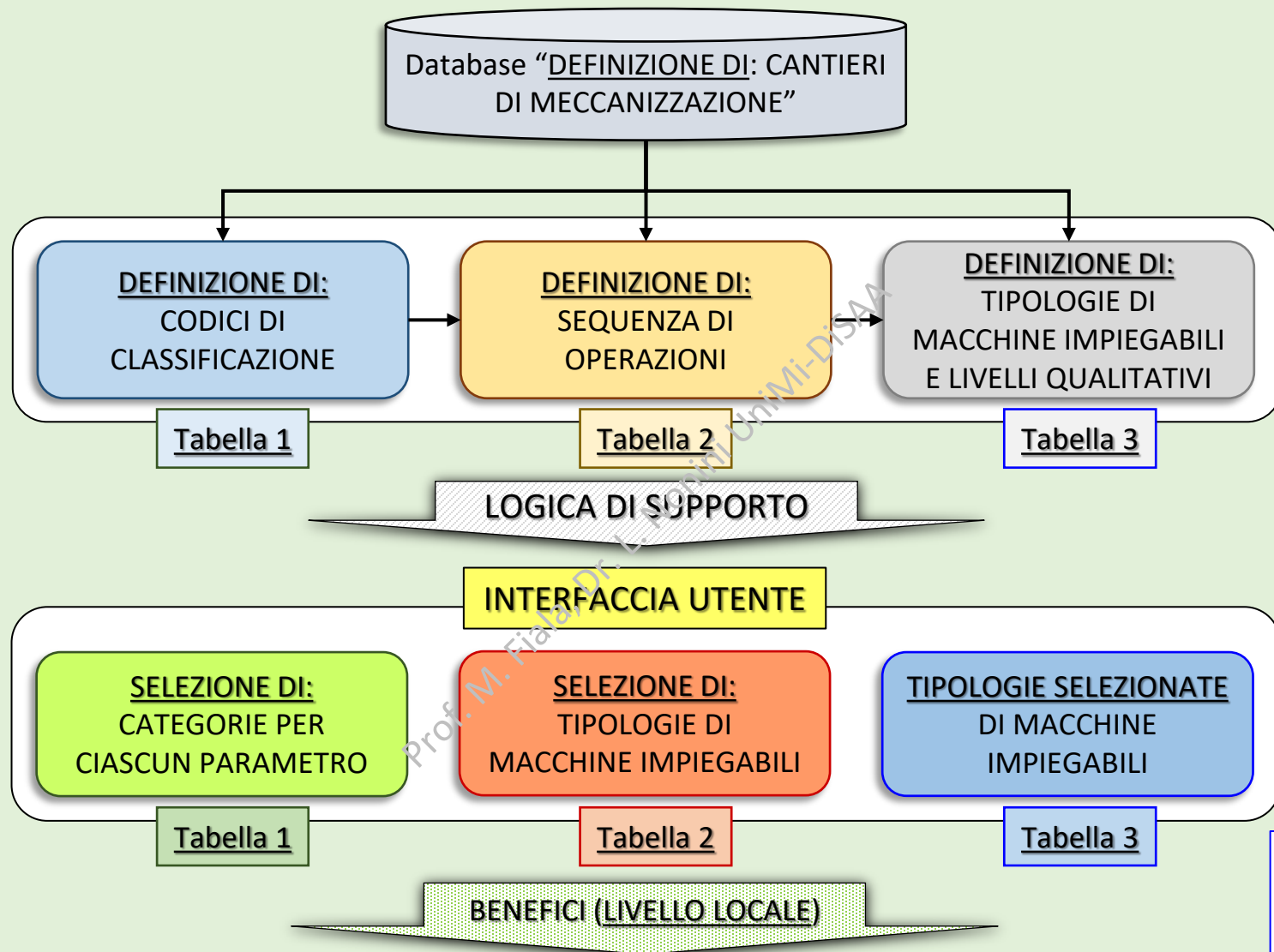
- 1) QUALI **OP** SONO CONDOTTE E CON QUALI **MACCHINE**?  
 2) COME SCEGLIERE IL **CANTIERE DI MECCANIZZAZIONE OTTIMALE**?



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

# Modello «FOREstry MACHinery chain selection» (FOREMA v1) – 1: logica generale



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

# Modello «FOREstry MACHinery chain selection» (FOREMA v1) – 2: fattori, parametri e categorie

Database «DEFINIZIONE DI: CANTIERI DI MECCANIZZAZIONE»

Particella forestale classificata in base a:



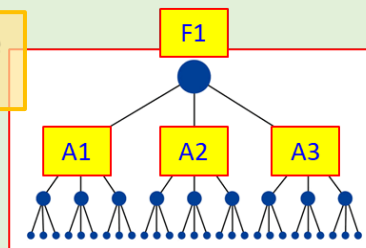
PIANI ASSESTAMENTO FORESTALE (PAF)

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	Assortimento legnoso	Fustaia	F2
		3	Metodo di lavoro	Legna da ardere	A1
2	Caratteristiche del sistema produttivo	4	Livello tecnologico macchine	Travi/paleria	A2
		5	Classe di transitabilità strada forestale	Cippato	A3
		6	Classe di accessibilità particella forestale	Legno corto	M1
		7	Massa legnosa recuperata	Fusto intero	M2
3	Condizioni operative sito-specifiche			Albero intero	M3
				Basso	L1
				Medio-alto	L2
				Medio-alta	T1
				Medio-bassa	T2
			Alta	AC1	
			Media	AC2	
			Bassa	AC3	
				$\leq 15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ SS}$	H1
				$> 15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ SS}$	H2

PARAMETRI E CATEGORIE

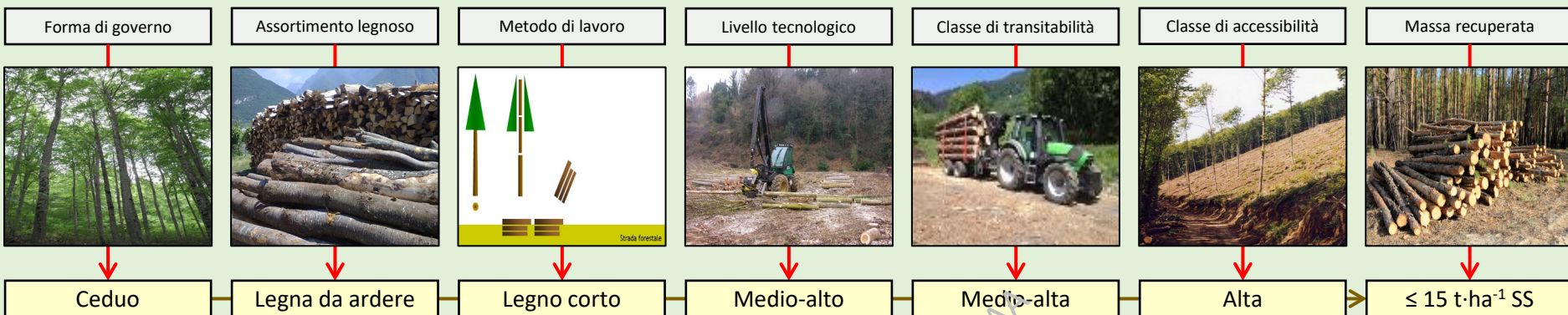
Combinazione sottocodici



STRUTTURA GERARCHICA AD ALBERO:

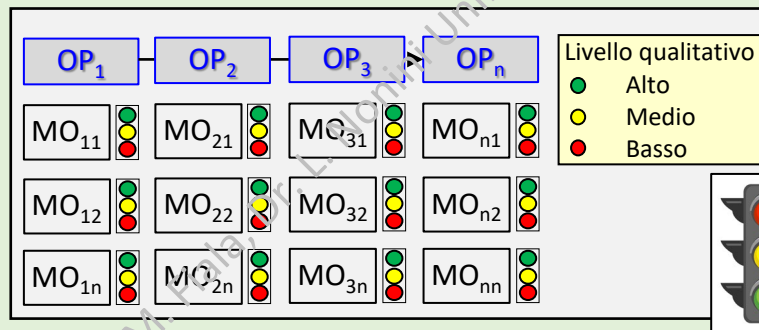
Ciascuna categoria include tutte le categorie dei parametri successivi

# Modello «FOREstry MACHinery chain selection» (FOREMA v1) – 3: esempio



## Sequenza temporale OP

Per ciascuna OP: tipologie macchine impiegabili e livelli qualitativi



**Livello qualitativo**  
 Impiego consigliato/sconsigliato +  
 Facilità d'uso  
*f (manovrabilità e maneggevolezza in condizioni operative definite)*

## Abbattimento



Motosega	●
Harvester 4RM	●
Harvester cingolato	●
Feller-buncher	●
Feller-skidder	●
Forvester	●

## Sramatura



Motosega	●
Harvester 4RM	●
Harvester cingolato	●
Processore	●

## Sezionatura



Motosega	●
Harvester 4RM	●
Harvester cingolato	●
Processore	●

## Conc. e esbosco



TR + verricello	●
TR + pinza	●
Skidder + pinza	●
Skidder + verricello	●
Gru a cavo (smm; tr)	●
Forwarder	●

## Carico e trasporto



TR + carro	●
Autotreno	●
Autoarticolato	●

# Modello «FOREstry MACHinery chain selection» (FOREMA v1) – 4: interfaccia utente

**TABELLA 1 – SELEZIONE DI: CATEGORIE PER CIASCUN PARAMETRO**

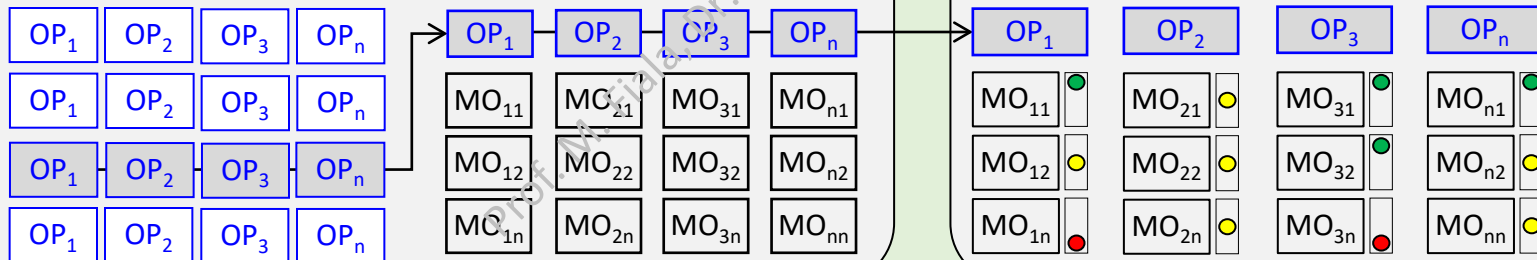
Forma di governo	Assortimento legnoso	Metodo di lavoro	Livello tecnologico macchine	Classe di transitabilità	Classe di accessibilità	Massa recuperata						
Ceduo	F1	Legna ardere	A1	Legno corto	M1	Bassa	L1	Medio-alta	T1	Alta	AC1	≤ 16 t·ha <sup>-1</sup>
Fustaia	F2	Travi/paleria	A2	Fusto intero	M2	Medio-alta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



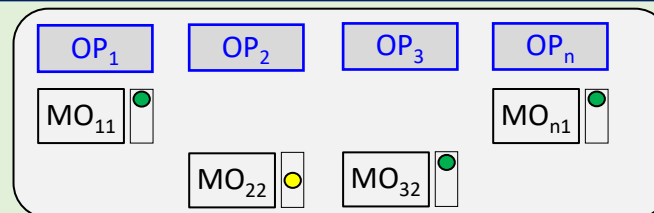
Ricerca

DATABASE DEFINIZIONE DI: CANTIERI DI MECCANIZZAZIONE

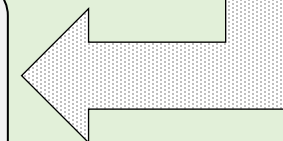
**TABELLA 2: SELEZIONE DI: TIPOLOGIE DI MACCHINE IMPIEGABILI**



**TABELLA 3: TIPOLOGIE SELEZIONATE DI MACCHINE IMPIEGABILI**



Operatore





# Cantiere «tipo» ambiente alpino produzione legno cippato fini energetici

ABBATTIMENTO



Motosega + dpi

CONC. + ESBOSCO



Metodo lavoro pianta intera

Gru a cavo ssm;  
verricello

SRAM. + SEZ.



Motosega

CIPPATURA



Cippatrice

TRASPORTO



TR + carro;  
autocarro

SEGMENTO DI  
TRASFORMAZIONE  
(IMPIANTO TELERISCALDAMENTO)



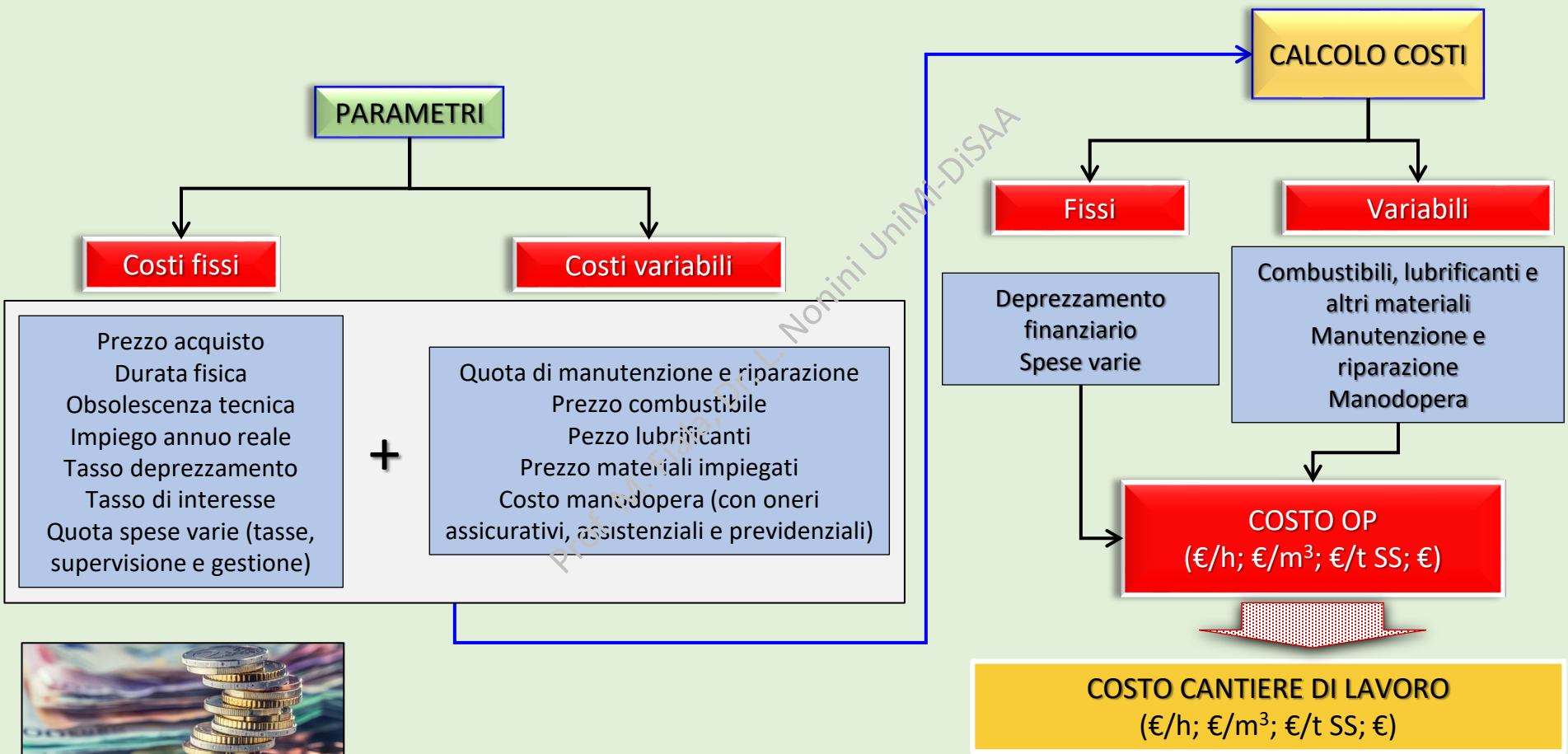
SEGMENTO DI PRODUZIONE  
(CANTIERE MECCANIZZAZIONE)

CIPPATURA INTEGRALE CEDUO vs CIPPATURA BIOMASSA RESIDUALE FUSTAIA CONIFERE



QUALI COSTI?

**SOGGETTI FORESTALI PER REDAZIONE BILANCI DI ESERCIZIO; DECISORI PUBBLICI PER IMPIEGO RISORSE UMANE E TECNICHE E PIANIFICAZIONE INTERVENTI SELVICOLTURALI**

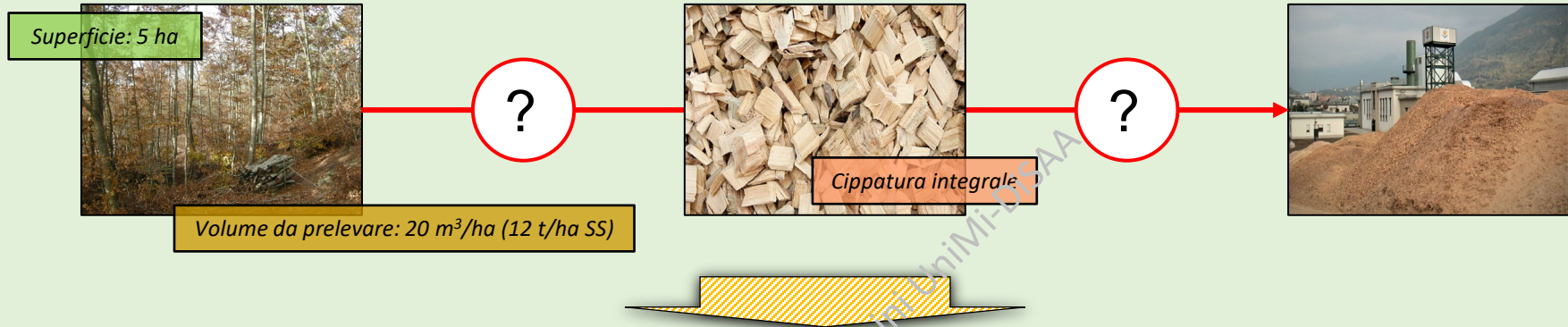




CASO STUDIO

# Caso studio – 1: sequenza operazioni e tipologie macchine impiegabili

## PRODUZIONE CIPPATO PER FINI ENERGETICI BOSCO CEDUO



### Selezione 1 (operatore)

PARAMETRO TECNICO	CATEGORIA
Forma di governo	Ceduo
Assortimento legnoso	Cippato
Metodo di lavoro	Albero intero
Livello tecnologico macchine	Medio-alto
Classe di transitabilità strada forestale	Medio-alta
Classe di accessibilità particella forestale	Alta
Massa legnosa recuperata (t·ha <sup>-1</sup> SS)	≤ 15.0

FOREMA v1

N.	OP	TIPOLOGIE MACCHINE IMPIEGABILI
	Nome	
1	Abbattimento	Motosega, harvester 4RM, harvester cingolato, feller-buncher, feller skidder, forvester.
2	Concentramento e Esbosco	TR + pinza, TR + verricello, skidder + pinza, skidder + verricello, gru a cavo tradizionale, gru a cavo a stazione motrice mobile.
3	Sezionatura	Motosega, processore
4	Cippatura	TR + cippatrice, cippatrice semovente
5	Carico e trasporto	TR + carro, autotreno, autoarticolato

### Selezione 2 (operatore)

N. OP	TIPOLOGIE SELEZIONATE DI MACCHINE IMPIEGABILI
1	Motosega
2	TR + verricello
3	Motosega
4	TR + cippatrice
5	TR con carro



Database "DEFINIZIONE DI:  
CANTIERI DI  
MECCANIZZAZIONE"

**ORGANIZZAZIONE CANTIERE E PRODUTTIVITA' DEL LAVORO**

**OP 2-5 CONCATENATE**  
 → stessa produttività del lavoro (m<sup>3</sup>/h; t/h SS)

DATI	Udm	OP e MACCHINE				
		1	2	3	4	5
		Motosega	TR + verricello	Motosega	TR + cippatrice	TR + carro
Tempo disponibile	Giorni	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0
N. ore per addetto per turno	h·UL <sup>-1</sup> ·turno <sup>-1</sup>	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
N. turni di lavoro per giorno	Turni-giorno <sup>1</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
N. addetti (1 macchina)	-	1	2	1	1	1
Produttività lorda (1 macchina)	m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	1,0	12,5	2,0	12,5	4,4
Tempo disponibile per addetto	h·UL <sup>-1</sup>	40,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Tempo necessario totale	h	100,0	8,0	50,0	8,0	23,0
N. macchine necessarie	-	3	1	6	1	3
Produttività lorda totale	t·h <sup>-1</sup> SS	1,8	7,6	7,6	7,6	7,6
N. addetti totali	-	3	2	6	1	3
Tempo necessario (1 macchina)	h	33,3	8,0	8,0	8,0	8,0



Distanza concentrazione: 100 m;  
 Distanza esbosco: 250 m.



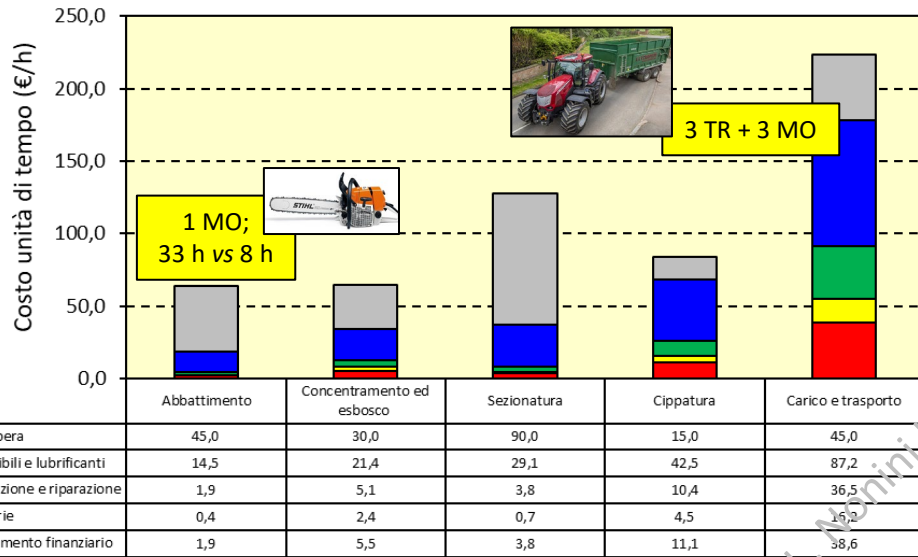
Distanza trasporto: 10 km

$f$ (distanza, velocità trascinamento biomassa e percorrenza A/R; volume caricato per singolo viaggio; tempi di lavoro (h).



**Tempo totale cantiere = 33,3 + 8 = 41,3 h**

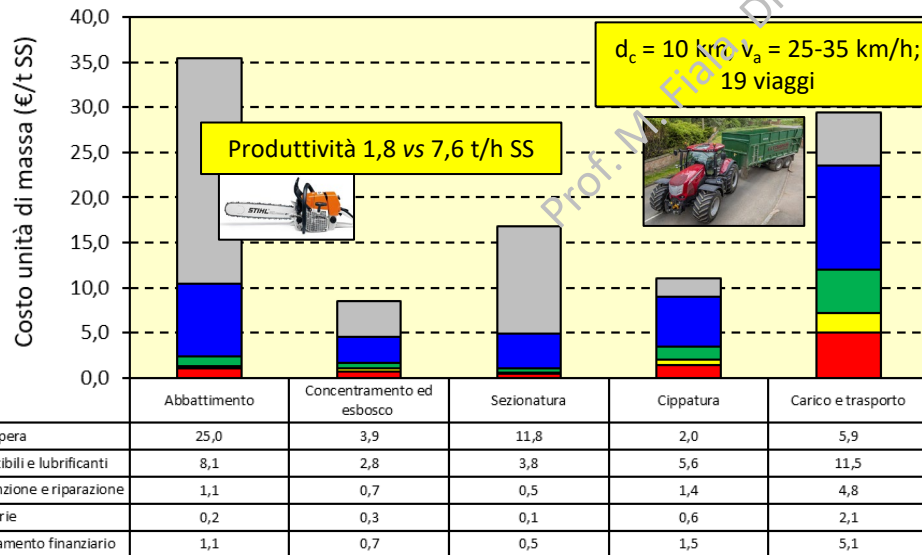
# Caso studio – 4: risultati (costo per unità di tempo e per unità di massa)



**COSTO CANTIERE DI LAVORO**  
147,3 €/h

$$C_{H\_CAN} (\text{€/h}) = C_{TOT\_CAN} (\text{€}) / T_{TOT\_CAN} (\text{h})$$

$$C_{M\_CAN} (\text{€/t SS}) = \sum C_{MOP} (\text{€/t SS})$$



**COSTO CANTIERE DI LAVORO**  
101,1 €/t SS

1. Piano di Approvvigionamento per biomassa a fini energetici: necessario considerare limitazioni/aspetti critici relativi alle caratteristiche sia del territorio, sia della particella interessata;
2. Modello *Forestry Machinery Chain selection* supporta l'operatore nella selezione del cantiere forestale in relazione a caratteristiche foresta, caratteristiche sistema produttivo e condizioni lavoro sito-specifiche;
3. Scelta macchine impiegabili per svolgimento operazioni forestali condiziona direttamente costi economici ad esse associati;
4. Calcolo costi cantiere meccanizzazione: verificare se operazioni sono interconnesse (stessa produttività del lavoro) oppure no;
5. Produttività operazioni meccanizzate: consigliabile esprimerla in t/h di SS (e non m<sup>3</sup>/h) → massa reale che la macchina è in grado di lavorare nell'unità di tempo; fondamentale per confrontare valori di produttività relativi a macchine differenti impiegate per medesima operazione o valori produttività della medesima macchina in istanti di tempo differenti (contenuto idrico biomassa non è mai trascurabile).



# 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)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TORINO



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO



**DiSAA**  
DIPARTIMENTO  
di SCIENZE  
AGRARIE e  
AMBIENTALI

**fiper**

FEDERAZIONE ITALIANA PRODUTTORI  
DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI



**Associazione Consorzi  
Forestali della Lombardia**

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