



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; 02 503 16868), Dr. Luca Nonini (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

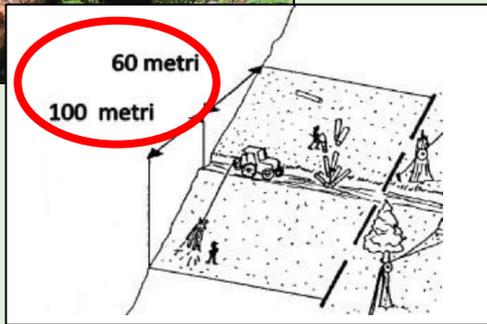


Strade molto diversificate in relazione a: localizzazione, estensione, tipologia costruttiva

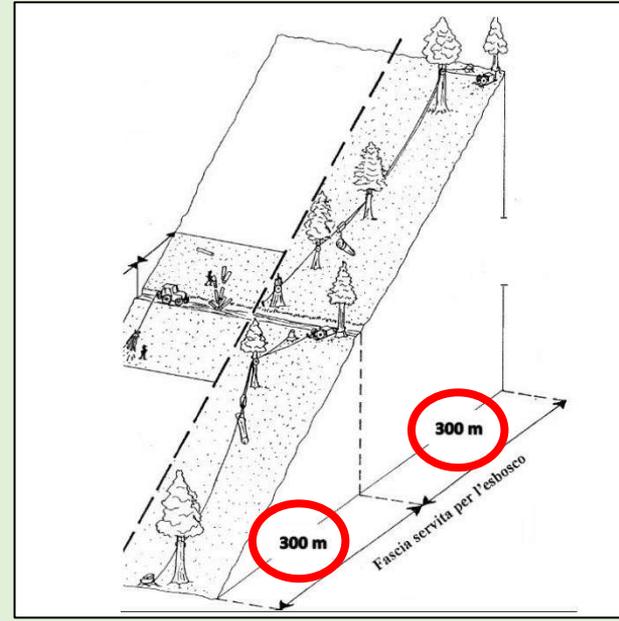
POSSIBILITA' IMPIEGO MACCHINE DIVERSE f(DENSITA' E CARATTERISTICHE RETE VIARIA)



TR + VERRICELLO

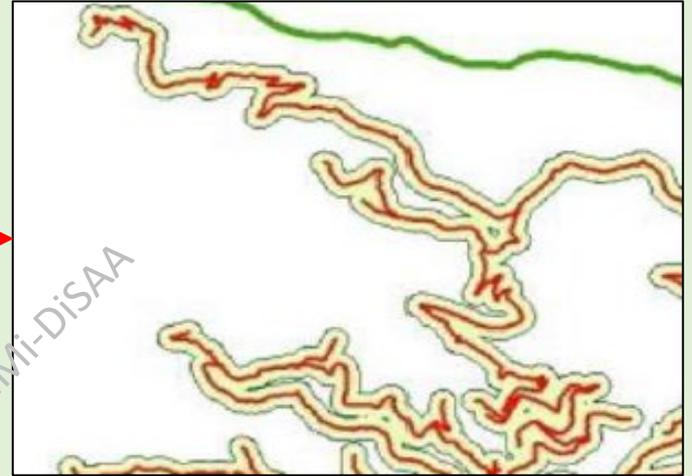
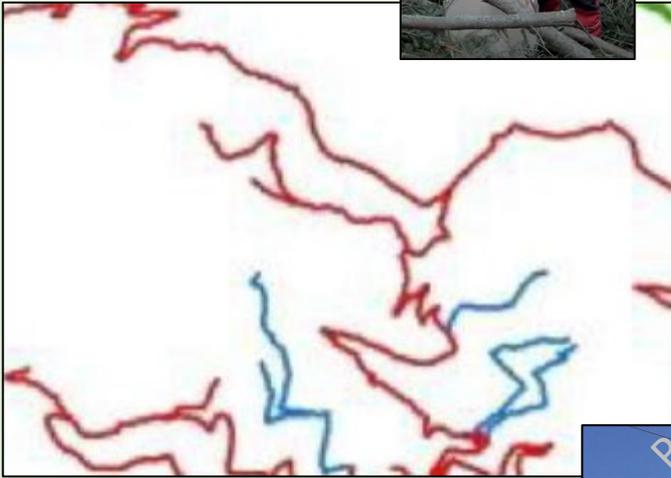


GRU A CAVO





TR + VERRICELLO



GRU A CAVO



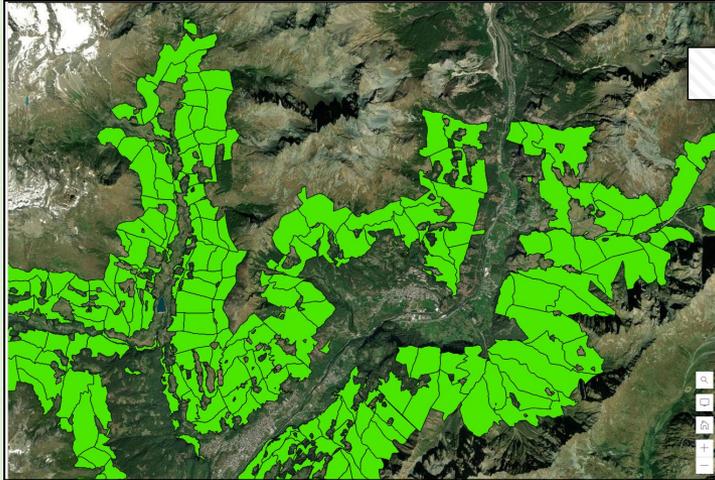
**LIVELLO TECNOLOGICO
MACCHINE MOLTO DIFFERENTE**

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



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

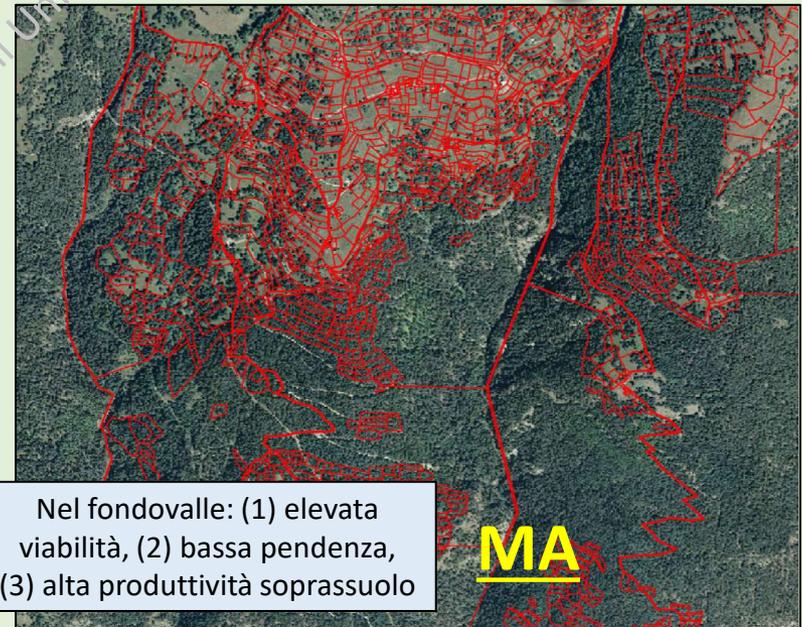
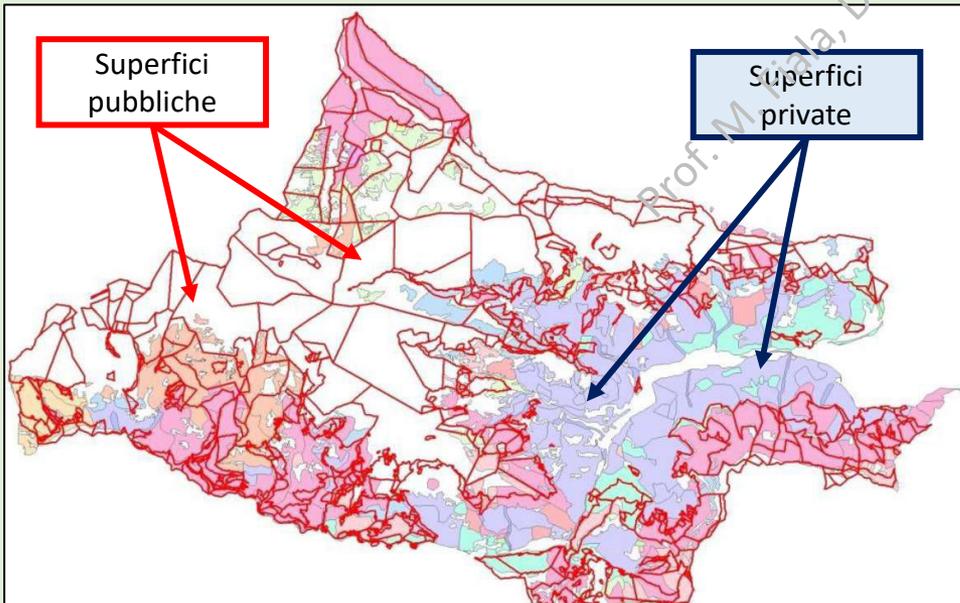
2. PROPRIETA' SUPERFICI BOSCHIVE



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

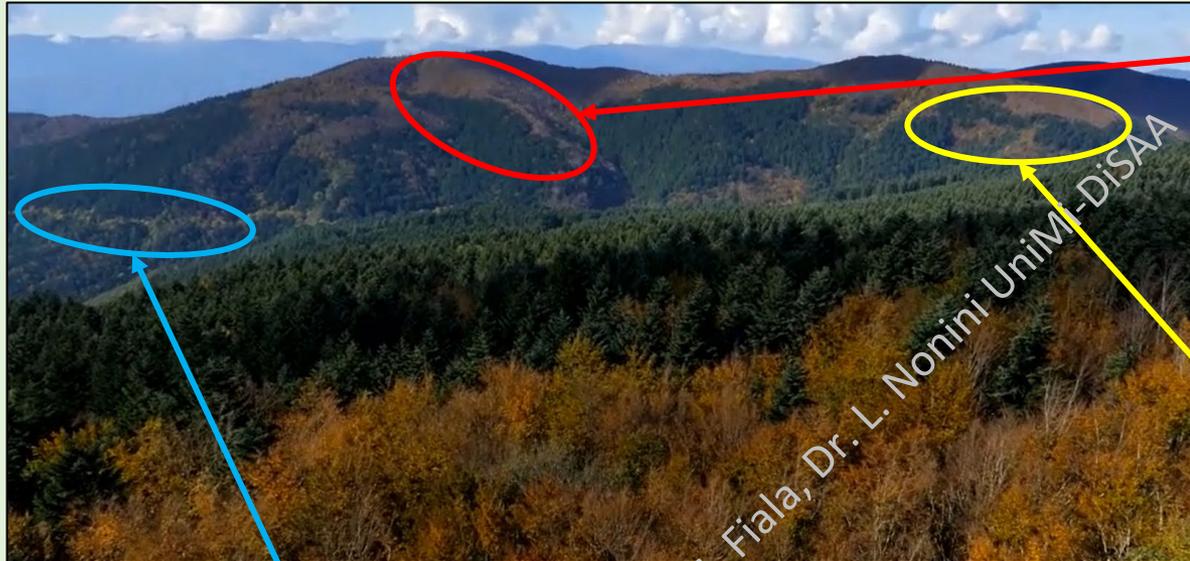


Superfici **private** → territorio frammentato, no gestione →
informazioni spesso mancati o inesatte



**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.



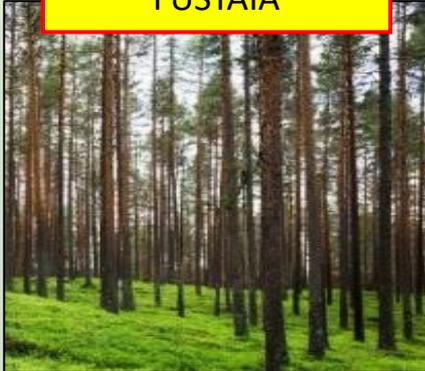
Funzione di stoccaggio di CO₂:

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

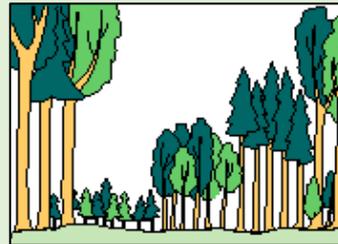
POPOLAMENTI CON FUNZIONE DIVERSA DA QUELLA PRODUTTIVA GENERALMENTE ESCLUSI O INTERVENTO RIDOTTO

5. CARATTERIZZAZIONE DENDROMETRICA

FUSTAIA



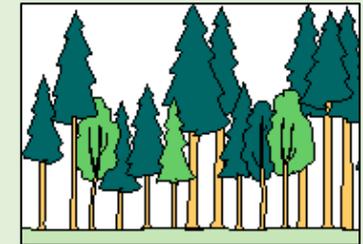
Regolare



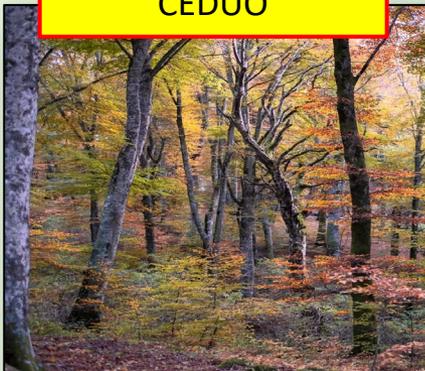
Disetanea



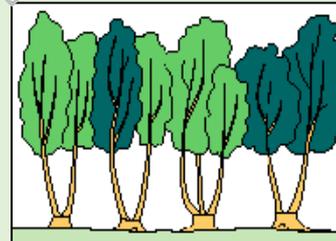
Irregolare



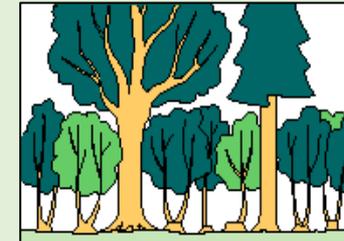
CEDUO



Semplice



Composto



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

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

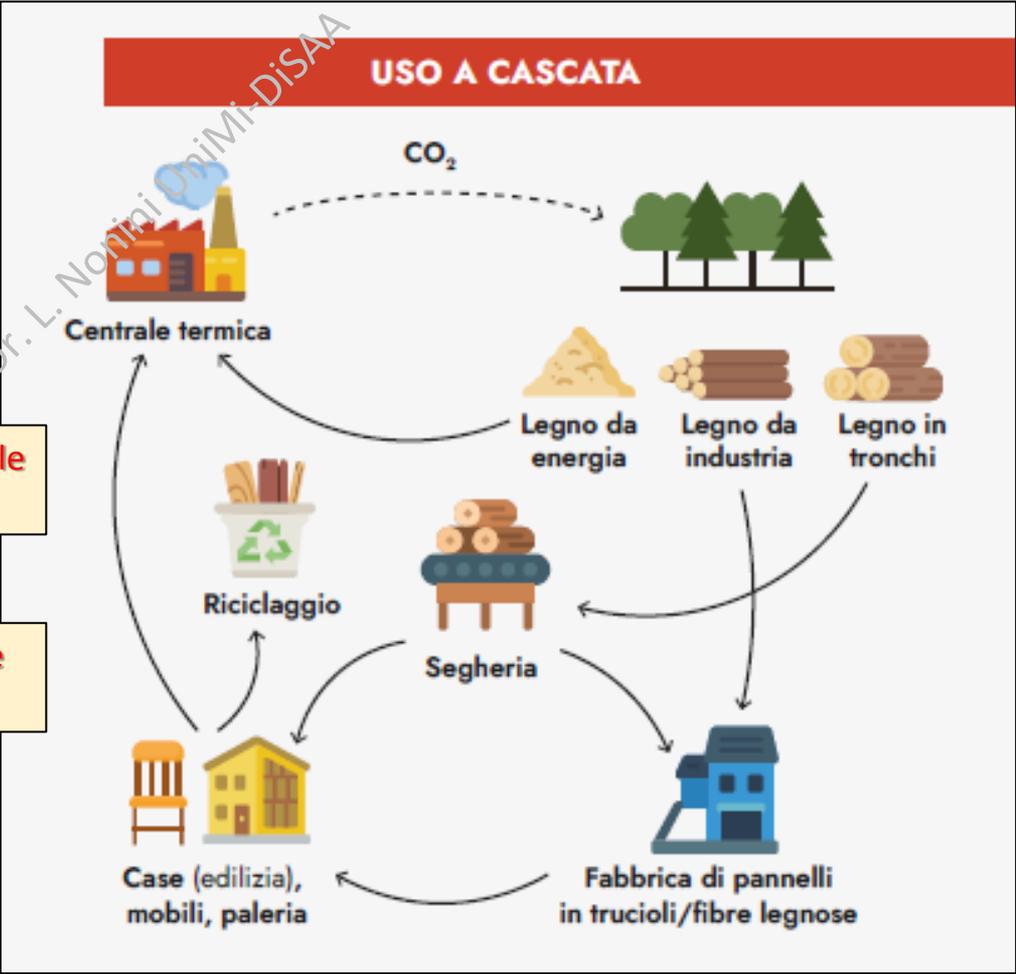
Taglio : di sementazione, di preparazione, secondario, di sgombero, di diradamento, di sterzatura, saltuario, di conversione, a buche, a strisce, fitosanitario, a raso

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



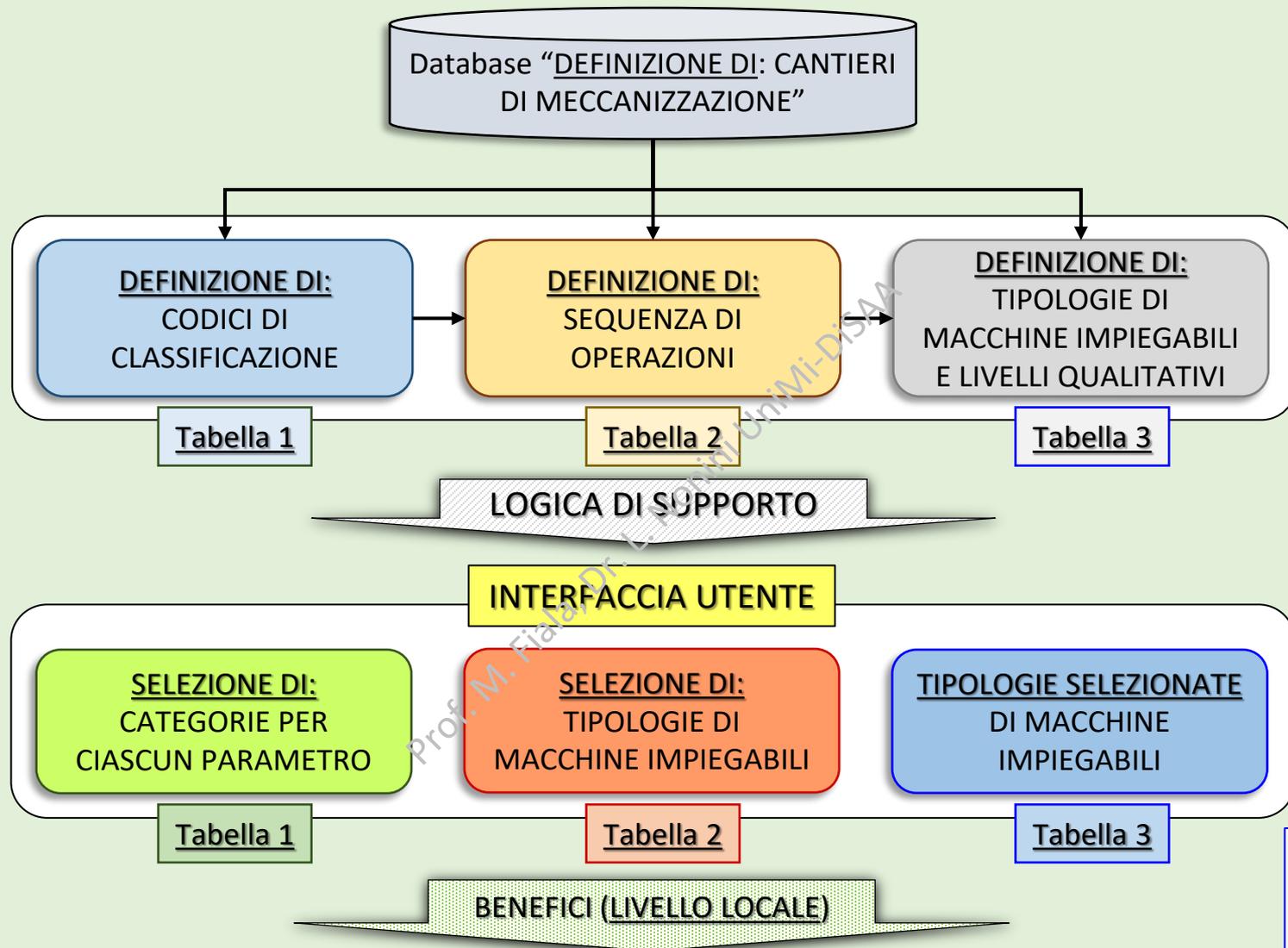
- 1) QUALI **OP** SONO CONDOTTE E CON QUALI **MACCHINE**?
 2) COME SCEGLIERE IL **CANTIERE DI MECCANIZZAZIONE OTTIMALE**?



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:



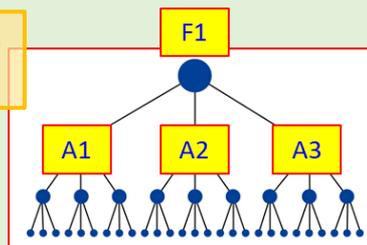
PIANI ASSESTAMENTO FORESTALE (PAF)

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

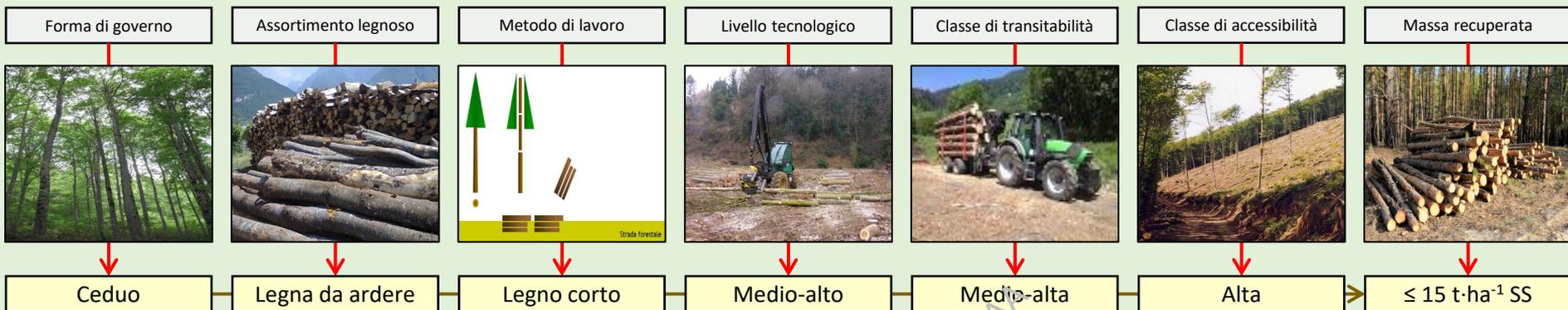
Combinazione sottocodici



STRUTTURA GERARCHICA AD ALBERO:

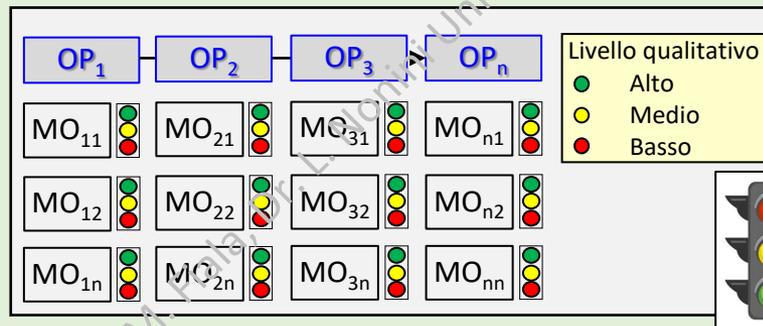
Ciascuna categoria include tutte le categorie dei parametri successivi

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 ⁻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

DATABASE DEFINIZIONE DI: CANTIERI DI MECCANIZZAZIONE

TABELLA 2: SELEZIONE DI: TIPOLOGIE DI MACCHINE IMPIEGABILI

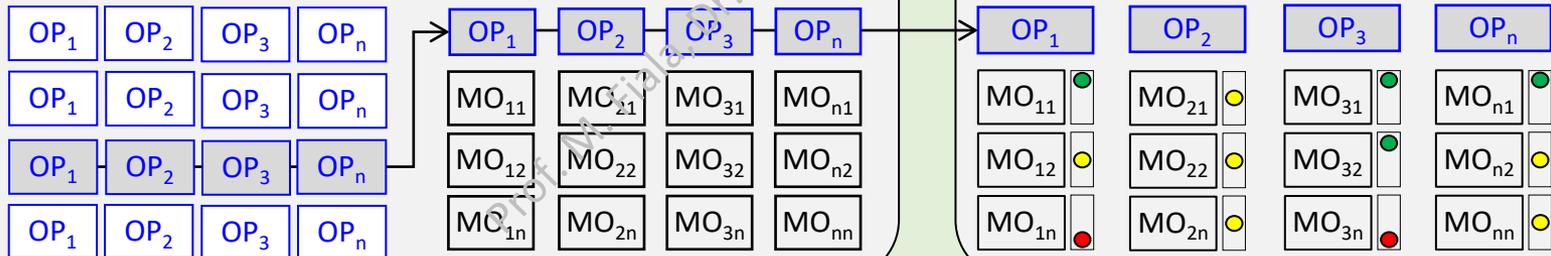
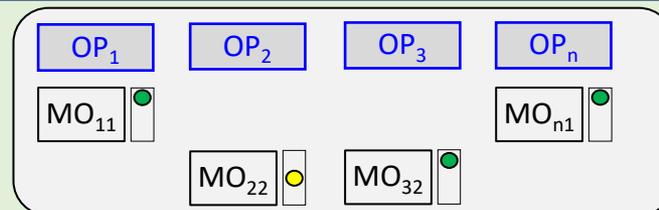
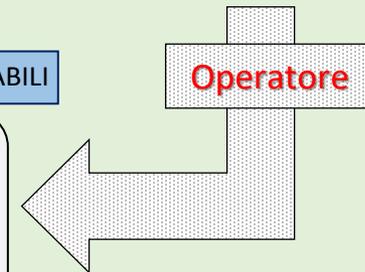


TABELLA 3: TIPOLOGIE SELEZIONATE DI MACCHINE IMPIEGABILI



Operatore



Cantiere «tipo» ambiente alpino produzione legno cippato fini energetici

ABBATTIMENTO



Motosega + dpi

CONC. + ESBOSCO



Metodo lavoro pianta intera

Gru a cavo smm;
verricello

SRAM. + SEZ.



Motosega

CIPPATURA



Cippatrice

TRASPORTO



TR + carro;
autocarro

SEGMENTO DI TRASFORMAZIONE
(IMPIANTO TELERISCALDAMENTO)



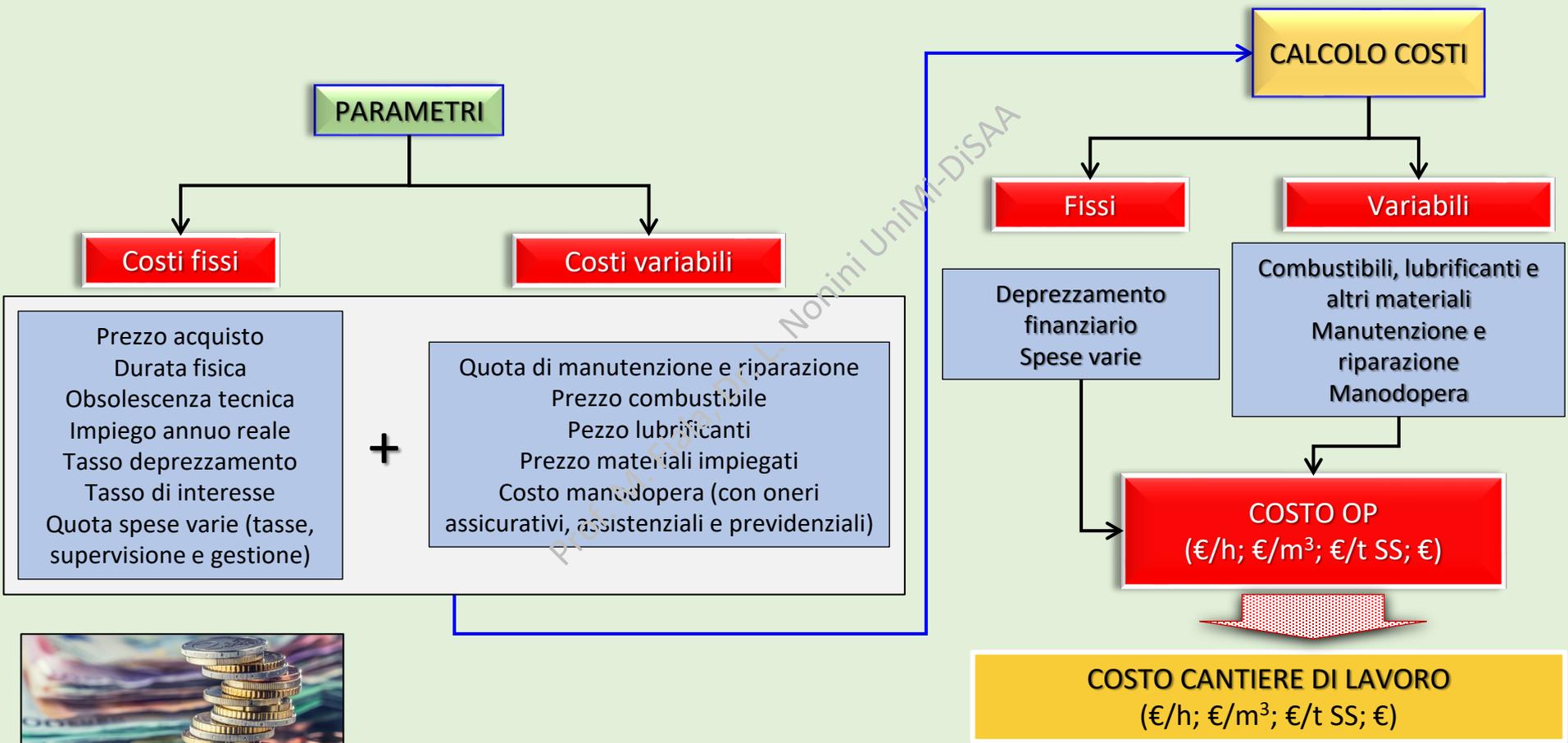
SEGMENTO DI PRODUZIONE
(CANTIERE MECCANIZZAZIONE)

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

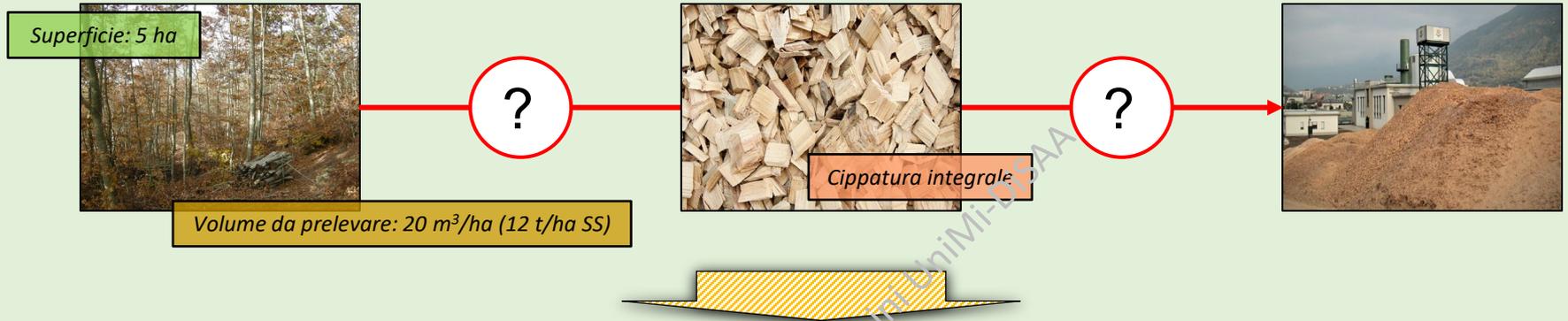




CASO STUDIO

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 ⁻¹ 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 (m³/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 ⁻¹ ·turno ⁻¹	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
N. turni di lavoro per giorno	Turni-giorno ¹	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
N. addetti (1 macchina)	-	1	2	1	1	1
Produttività lorda (1 macchina)	m ³ ·h ⁻¹	1,0	12,5	2,0	12,5	4,4
Tempo disponibile per addetto	h·UL ⁻¹	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 ⁻¹ 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.



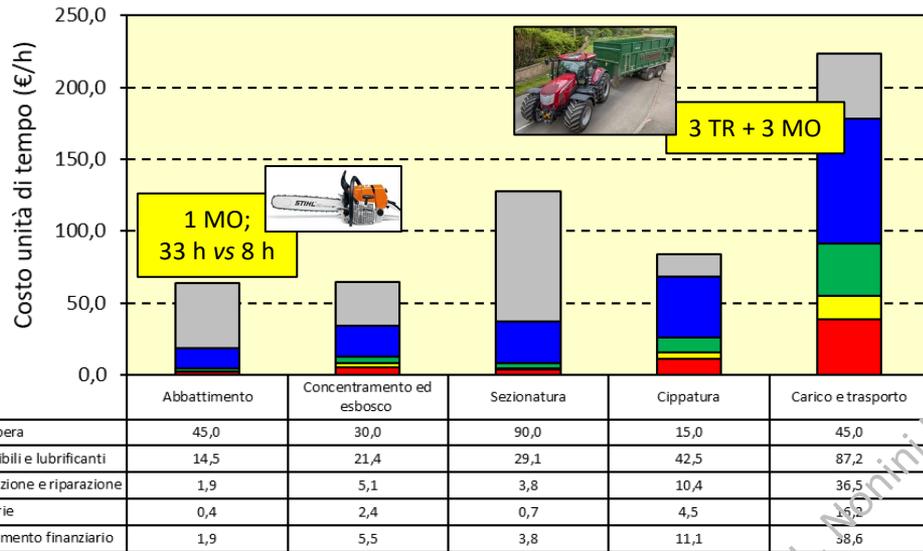
Distanza trasporto: 10 km

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



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

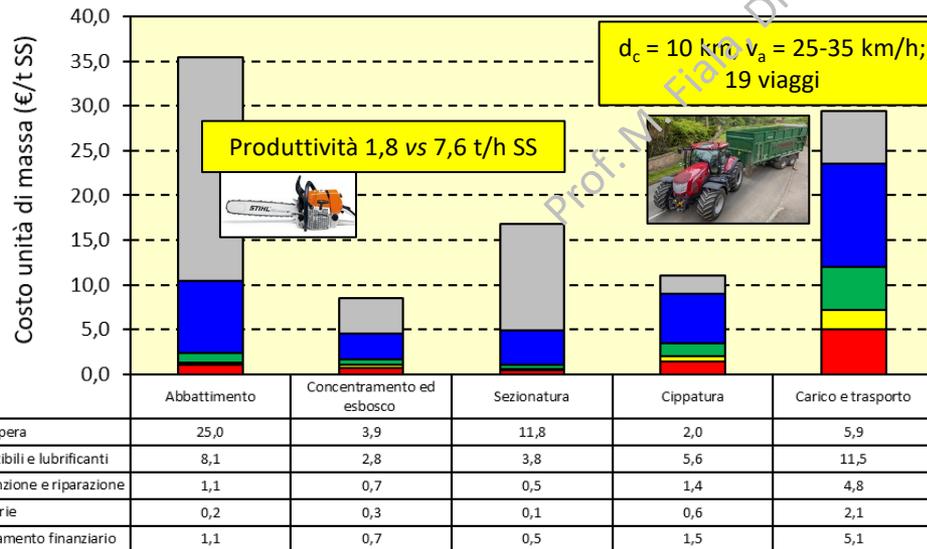
Caso studio – 4: risultati (costo per unità di tempo e per unità di massa)



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 m³/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