



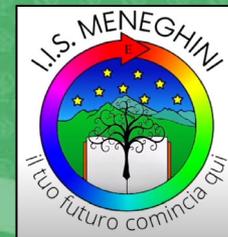
DiSAA

DIPARTIMENTO
di SCIENZE
AGRARIE e
AMBIENTALI



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

Istituto Istruzione Superiore F. Meneghini
Via A. Morino 5, 25048 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)

MECCANIZZAZIONE FORESTALE E IMPIEGO DEL LEGNO PER 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
19 ottobre 2022



MECCANIZZAZIONE FORESTALE

Impiego di **Trattori e Macchine Operatrici (MO)** per raccolta in sicurezza biomassa legnosa.

BENEFICI

- ✓ Aumento produttività lavoro (m^3/h , t/h TQ, t/h SS);
- ✓ riduzione costi unitari produzione ($€/m^3$; $€/h$; $€/t$ TQ; $€/t$ SS)
 - ✓ miglioramento qualità del lavoro;
 - ✓ miglioramento condizioni di sicurezza;
 - ✓ riduzione sforzo fisico operatori;

Impiego edilizio ed energetico

«Uso a cascata» del legno



RISULTATI

APPROVVIGIONAMENTO RAZIONALE
E SOSTENIBILE BIOMASSA

*Obiettivo primario lavori di
utilizzo forestale*

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

ESSENZIALE PER

Aumento competitività tecnico-economica soggetti forestali → maggiore impiego risorse locali;
miglioramento sostenibilità complessiva (economica, energetica e ambientale) filiera.



Operazioni forestali per recupero (raccolta e trasporto) biomassa: sequenza temporale

Sistema produzione

Assortimento legnoso

Metodo di lavoro

Livello innovazione macc.

Caratteristiche bosco

Specie arborea

Modalità gestione

Dimensione alberi

Condizioni lavoro sito-specifiche

Massa legnosa raccolta

Accessibilità bosco

Viabilità forestale

Organizzazione impresa forestale

Disponibilità macchine

Preparazione addetti

Organizz./direzione lavori

FASI

OPERAZIONI

1

ABBATTIMENTO E ALLESTIMENTO

Taglio albero (+ *sramatura, sezionatura, scortecciatura*)



2

MOVIMENTAZIONE LEGNAME ALLESTITO

Concentramento ed esbosco biomassa da punto di abbattimento e allestimento a imposto



3

CARICO E TRASPORTO

(*Cippatura*), carico e conferimento biomassa a utente finale (segheria, impianto teleriscaldamento-cogener.)



Metodo di lavoro: **forma** con cui la biomassa è prelevata dal bosco e movimentata all'imposto

1 - LEGNO CORTO



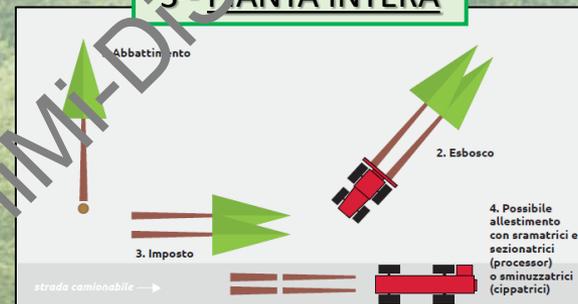
Esbosco fusto e biomassa residuale sezionati in assortimenti definitivi; **legna da ardere (ET dispositivi domestici)**.

2 - FUSTO INTERO



Esbosco fusto sramato ma non sezionato; successive lavorazioni all'imposto; **legna da ardere (ET), tondame (travi/paleria)**.

3 - PANTA INTERA



Esbosco fusto intero con tutte le lavorazioni all'imposto; **legna da ardere (ET), tondame (travi/paleria), cippato (ET, EE imp. TLR)**.

SEQUENZA OPERAZIONI

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

TABELLA 1 - Metodo di lavoro e sequenza temporale delle operazioni, con riferimento ai contesti alpini italiani.

TIPOLOGIE MACCHINE

Operazione	Metodo di lavoro		
	Legno corto	Fusto intero	Pianta intera
Abbattimento		Motosega	Motosega
Sramatura	Motosega	Motosega	Motosega; TR + processore
Sezionatura		Motosega; TR + processore	Motosega; TR + processore
Concentramento	TR + verricello; TR + carro; TR + pianale di carico; teleferica	TR + verricello; teleferica	TR + verricello; teleferica
Esbosco	TR + verricello; TR + pianale di carico; teleferica	TR + verricello; teleferica	TR + verricello; teleferica
Cippatura	-	-	Cippatrice
Carico e trasporto	TR + carro; TR + pianale di carico	TR + carro, TR + pianale di carico; autocarro	TR + carro, TR + pianale di carico; autocarro

TABELLA 2 - Metodo di lavoro, operazioni e tipologie di macchine/attrezzature più impiegate nei contesti alpini italiani (Legenda: TR = trattore gommato 4 ruote motrici).

NB: La definizione della tipologia di macchina dipende anche dagli altri criteri di scelta.

ABBATTIMENTO E ALLESTIMENTO

Parzialmente meccanizzato



Standard tecnici ed ergonomici elevati

Produttività: 1-3 m³/h
(0,5-1,5 t/h SS)

Motosega + dpi



Totalmente meccanizzato



TR/escavatore + pinza con bracci metallici + organo taglio

Produttività: 5-40 m³/h
(2,5-20 t/h SS)

Feller buncher

Impianti lineari e arboreti da biomassa

Tipologia motosega	Cilindrata (cm ³)	Potenza motore (kW)	Massa (kg)
Leggera	30-50	1,5-2,2	4-6
Media	50-75	2,3-3,6	6-8
Pesante	75-100	3,7-5,1	10
Super pesante	100-130	5,2-6,5	10-15

Catena



Disco



Cesoia



Processore
(allestimento all'imposto)

TR/escavatore + testata sramatrice e sezionatrice



Produttività: 10-40 m³/h
(5-20 t/h SS)

Macchine specializzate (es. harvester) → abbattimento e allestimento → elevata produttività ma poco diffuse in ambienti alpini

MOVIMENTAZIONE LEGNAME ALLESTITO (CONCENTRAMENTO ED ESESCO)

Per via terrestre



Verricello: MO
portata o fissa al TR
(sollevatore + pdp)

Produttività: 2-6 m³/h
(1-3 t/h SS)

TR + verricello

condizioni operative «non complesse»



Produttività: 5-12 m³/h
(2,5-6 t/h SS)

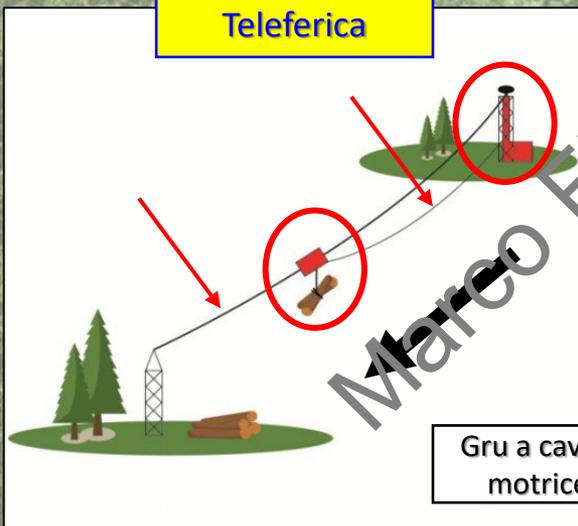
TR + carico



TR + pianale di carico

Baricentro basso, ruote motrici larga sezione e bassa pressione, ampia luce libera da terra.

Teleferica



Gru a cavo stazione
motrice mobile

Per via aerea

Produttività: 3-12 m³/h
(1,5-6 t/h SS)



condizioni operative «complesse»

CARICO E TRASPORTO A UTENTE FINALE (SEGHERIA, IMPIANTO TPA)



$d < 15$ km

TR + carro



$d < 15$ km

TR + pianale di carico



$d > 15$ km

Autocarro/autoartic.

Scelta tipologia macchina → caratteristiche strade forestali e distanza da percorrere.

Preceduta da

CIPPATURA



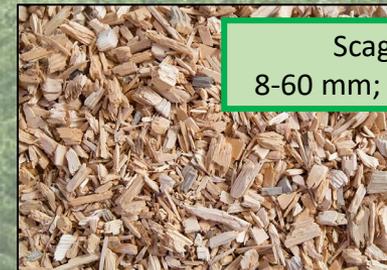
Differenti organi di taglio

Cippatrice

Produttività: 10-200 m³/h
(2-45 t/h SS)



Ramaglia e scarti lavorazione (+ fusto)



Scaglie lunghezza 8-60 mm; spessore 5-15 mm)

VALORIZZAZIONE ENERGETICA E ECONOMICA DI BIOMASSA ALTRIMENTI INUTILIZZATA E SCARTATA



CANTIERE «TIPO» IN VAL CAMONICA (CIPPATO PER FINI ENERGETICI)

ABBATTIMENTO



Motosega + dpi

ESBOSCO



Gru a cavo sm

SRAMAT. + SEZ.



Processore

CIPPATURA



Cippatrice

TRASPORTO



TR + carro

SEGMENTO DI
IMPIEGO (IMPIANTO
TELERISCALDAMENTO)SEGMENTO DI PRODUZIONE
(CANTIERE MECCANIZZAZIONE)

MATERIALE DI APPROFONDIMENTO

1. Cavalli R., Menegus G. (2003). *Linee guida per l'esecuzione delle utilizzazioni forestali*. Regione del Veneto Direzione Regionale Foreste ed Economia Montana, Venezia, p. 136; <https://www.regione.veneto.it/static/www/agricoltura-e-foreste/Lavoraresiduipermigliorarelambiente.pdf>
2. Hippoliti G., Piegai F. (2015). *Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno*. Compagnia delle Foreste, Arezzo, p. 157;
3. Piegai F. (1997). *Glossario dei termini più comuni impiegati nell'ambito delle utilizzazioni forestali*. Sherwood n° 29, pp. 13-19; <http://www.proverde.it/Pubblicazioni/Glossario%20termini%20forestali.pdf>
4. Spinelli R., Magagnotti N. (2007). *La produzione di biomassa legnosa nella selvicoltura alpina: quantità, sistemi di raccolta, costi*. L'Italia Forestale e Montana m. 5/6, pp. 421-435;
5. Spinelli R., Magagnotti N., Dellagiacomia F. (2008). *Meccanizzazione nelle fustaie Alpine. Due diversi sistemi di lavoro*. Sherwood n.147, pp. 45-49.
6. Spinelli R., Hartsough B., Magagnotti N., Secknus M., Nocentini G. (2008). *Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici*. GAL Prealpi e Dolomiti, Sedico, Belluni, p. 222.
7. Verani S., Sperandio G., Picchio R., Savelli S. (2009). *La raccolta della biomassa forestale. Tecniche, economia e sicurezza del lavoro*. CNR, Montecrotono, Roma, p. 50.

CLIP VIDEO

1. <https://www.youtube.com/watch?v=sFyEY0o2aiE>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=1Z915o8BGFc>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=kR-VTcN5Mes>
4. https://www.youtube.com/watch?v=JOqs_TiHNPC
5. <https://www.youtube.com/watch?v=TXKzqwOchCg>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=eCJwRNk1-IY>
7. https://www.youtube.com/watch?v=l_vcS1kTcUk
8. <https://www.youtube.com/watch?v=lClqJhZvy0w>
9. <https://www.youtube.com/watch?v=R2zRekkQ0Q>



IMPIEGO DEL LEGNO PER FINI ENERGETICI



Cippato $U = 45-55\%$;
250-350 kg/m³

Cumulo → essiccazione naturale →
diminuzione contenuto acqua e aumento
«contenuto energetico»



A seconda dell'assortimento
notevoli variazioni di volume a
parità di massa

1 t_q
 $U = 50-55\%$

RAMAGLIA
≈ 10 m³

CIPPATO
≈ 3 m³

TONDO
≈ 1,5 m³

PARAMETRI ENERGETICI

- ✓ Origine (conifere, latifoglie; ramaglia; fusto; ramaglia + fusto);
- ✓ Pezzatura e distribuzione granulometrica;
 - ✓ Umidità;
 - ✓ Contenuto in cenere;
- ✓ Potere calorifico (inferiore e netto);
- ✓ massa volumica apparente.

Qualità biocombustibile →
efficienza di conversione
energetica

EQUIVALENTE ENERGETICO:

1 kg gasolio ≈ 4-5 kg cippato ($U = 40\%$)
1 kg cippato ($U = 40\%$) ≈ 0,20-0,30 kg gasolio

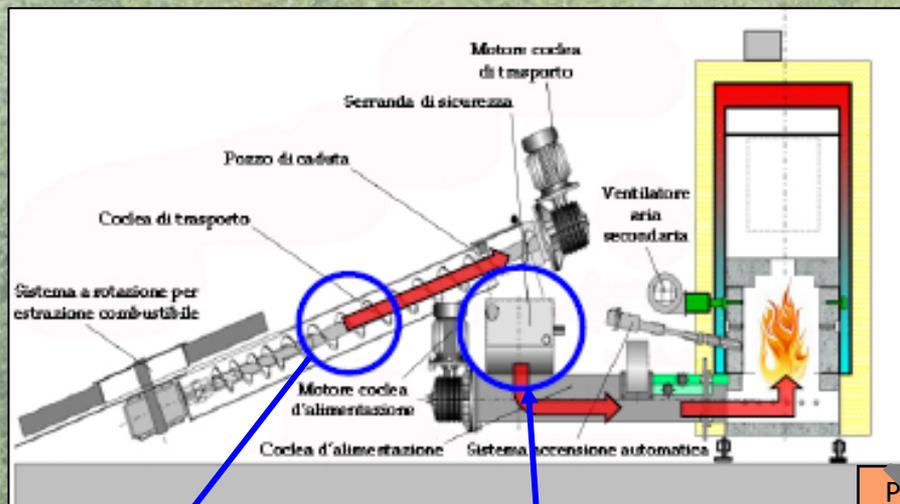
GASOLIO



CIPPATO



ENERGIA TERMICA (CALORE → ACQUA CALDA)



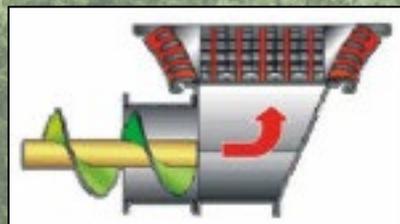
CALDAIA (GENERATORI) A SFIORO



Biocombustibile caricato automaticamente dal basso verso l'alto spinge in avanti il materiale in via di combustione e ceneri

Potenza termica nominale:
30 → 100 kW

RENDIMENTO TERMICO MEDIO: 80-85%



Caldaia a fiamma inversa → notevole aumento del rendimento termico



Riscaldamento edifici dimensioni medio-grandi o più utenze termiche collegate insieme da reti di teleriscaldamento.



ENERGIA TERMICA (CALORE → ACQUA CALDA) + ENERGIA ELETTRICA

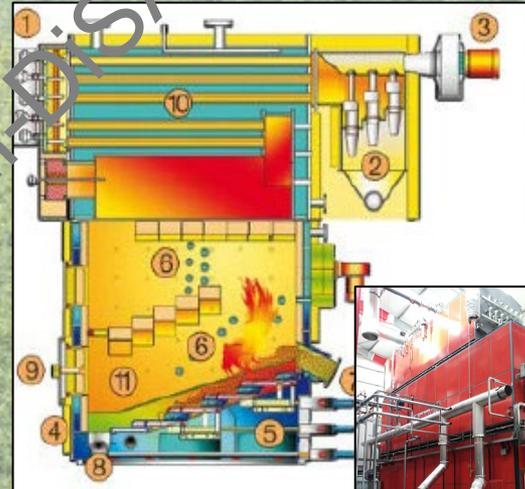


RENDIMENTO TERMICO MEDIO: 80-85%

Griglia inclinata mobile: **cippato grossolano** umidità 45-55%; potenza nominale generatori: 1-20 MW.

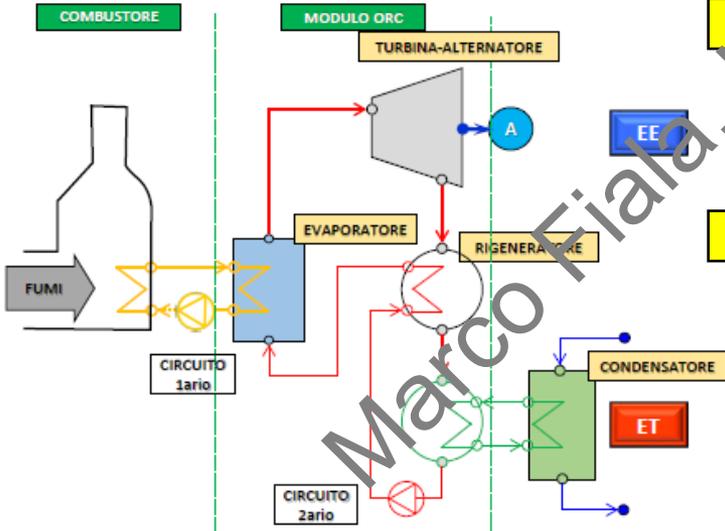
Griglia fissa: **cippato fine** umidità 20-30%; potenza nominale: 0,03-1 MW.

Potenza termica nominale:
1 → 20 MW



ET + ET

CICLO RANKINE (A FLUIDO ORGANICO)



ET → rete distrib. locale

+

EE → rete distrib. nazionale

BENEFICI AMBIENTALI

Combustibile fossile risparmiato → emissioni CO₂ evitate



MATERIALE DI APPROFONDIMENTO

1. AREA Science Park (2006). *Energia dalle biomasse Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali*, p. 261; <http://aida.casaccia.enea.it/aida/file/01.pdf>
2. Bonari E., Maracchi G. (2016). *Le biomasse lignocellulosiche*. Firenze University Press, Strumenti per la didattica e la ricerca, p 254; https://media.fupress.com/files/pdf/24/3040/3040_24335
3. ENAMA (2011). *Biomasse ed energia. Capitolo 1. Caratteristiche tecniche delle biomasse e dei biocombustibili*, p. 124; <https://www.progettobiomasse.it/it/pdf/studio/p1c1.pdf>
4. ENAMA (2011). *Biomasse ed energia. Capitolo 5. Processi e tecnologie*, pp. 3-42; <https://www.progettobiomasse.it/it/pdf/studio/p1c5.pdf>
5. Fiala M. (2007). *Combustibili solidi di origine agricola: le biomasse legnose*, I Georgofili – Quaderni 2007-I, Produzione di Energia da Fonti Biologiche Rinnovabili, a cura dell'Accademia dei Georgofili (Edizioni Polistampa), pp. 13–54;
6. Fiala M. (2012). *Energia da biomasse agricole. Produzione e utilizzo. Con esempi applicativi*. Maggioli Editore, Rimini, p. 430. ISBN 978-88-387-7090-5;
7. Fiala M., Nonini L. (2018). *Biomass and biofuels*. EPJ Web of Conferences volume 189, pp. 55-89. Lecture Notes - Joint EPS-SIF International School on Energy 2017 - Course 4: Advances in Basic Energy Issues. https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/ref/2018/24/epjconf_eps-sif2018_00006/epjconf_eps-sif2018_00006.html

CLIP VIDEO

1. <https://www.youtube.com/watch?v=AX2macYEVuE>
2. https://www.youtube.com/watch?v=9NDAh_eXpSI
3. <https://www.youtube.com/watch?v=2k8uu1m8mNk>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=RyxRAdNqlqk>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=BaMQVztfziE>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=X4KWfPFgt9Y>

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