UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO

Facoltà di Agraria

Corso di Laurea Triennale in Valorizzazione e tutela dell'ambiente e del territorio montano

UTILIZZAZIONE A FINI ENERGETICI DI LEGNO CIPPATO DA FUSTAIA IN UN COMUNE DELLA PROVINCIA DI SONDRIO.

Relatore: Chiar.mo Prof. Marco FIALA

Correlatore: Chiar.mo Dott. Giulio SENES

Elaborato finale di:

Simone PROH

Matr. n. 673717

Anno Accademico 2007-2008

UTILIZZAZIONE A FINI ENERGETICI DI LEGNO CIPPATO DA FUSTAIA IN UN COMUNE DELLA PROVINCIA DI SONDRIO.

INDICE

PARTE GENERALE		
1. FINALITA' E OBBIETTIVI	Pag.	1
2. LA FILIERA BOSCO-LEGNO-ENERGIA	"	3
3. I LAVORI FORESTALI: TECNICHE DI RACCOLTA DEL LEGNO NEI BOSCHI GOVERNATI A FUSTAIA	"	6
3.1 ABBATTIMENTO E ALLESTIMENTO	"	7
3.2 LA MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE: CONCENTRAMENTO, ESBOSCO E TRASPORTO	"	8
3.3 LA SMINUZZATURA	"	12
3.4 ESSICCAZIONE E DEPOSITO DEL CIPPATO	"	15
3.5 LA MECCANIZZAZIONE FORESTALE INTERMEDIA	"	16
4. IL CIPPATO COME FONTE ENERGETICA	Pag.	18

4.1 IL POTERE CALORIFICO DEL LEGNO	"	18
4.1.1 LO STATO IDRICO DEL LEGNO	"	18
4.1.2 IL POTERE CALORIFICO VOLUMETRICO	"	22
5. ANALISI DELLA DISPONIBILITA' TERRITORIALE DI BIOMASSA	"	25
5.1 L'UTILIZZO DELLA TECNOLOGIA INFORMATICA PER L'ANALISI TERRITORIALE: IL GIS	"	25
5.2 IL GIS NELLA PIANIFICAZIONE DELLA FILIERA LEGNO-ENERGIA	"	27
5.3 DESCRIZIONE DEGLI INPUT	"	28
5.4 DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA PER LA STIMA DELLA DISPONIBILITÀ REALE DI BIOMASSA	"	29
5.4.1ANALISI DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELL'ATTITUDINE ECOLOGICA DEL TERRITORIO FORESTALE	"	30
5.4.2 ANALISI DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DEL TIPO DI GOVERNO DEL BOSCO	"	31
5.4.3 ANALISI DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELLA DISPONIBILITÀ DI INFRASTRUTTURE STRADALI	"	33
5.4.4 CALCOLO DELL'AREA DI DISPONIBILITÀ EFFETTIVA DI BIOMASSA	"	37
5.5 CALCOLO DELLA QUANTITÀ DI BIOMASSA REALMENTE DISPONIBILE	"	38
5.6 STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DI ENERGIA DA BIOMASSA	Pag.	39

PARTE SPECIALE		
6. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO: COMUNE DI GROSIO	"	40
6.1 IL PATRIMONIO BOSCHIVO	"	41
7.APPLICAZIONE DEL MODELLO ALL'AREA DI STUDIO	"	45
7.1 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELL'ATTITUDINE ECOLOGICA	"	45
7.1.1 MIGLIORAMENTI FORESTALI	"	49
7.2 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DEL TIPO DI GOVERNO DEL BOSCO	"	50
7.3 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE SULLA BASE DELLA RETE STRADALE E DELLA ACCESSIBILITÀ DEI BOSCHI	"	54
7.4 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ REALE DI BIOMASSA	"	56
8.CALCOLO DELLA QUANTITA' DI BIOMASSA EFFETTIVAMENTE DISPONIBILE	"	58
9. STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DI ENERGIA DA BIOMASSA	"	62
9.1 STIMA DELLE UTENZE SERVIBILI	Pag.	63

10. COSTI DELL'ENERGIA TERMICA	"	66
10.1STIMA DEI COSTI DELL'ET PRODOTTA CON BIOCOMBUSTIBILE	"	66
10.1.1 IL CANTIERE FORESTALE TIPO	"	67
10.2 CONFRONTO TRA I COSTI DELL'ENERGIA TERMICA	"	70
11. CONCLUSIONI	"	72
12. BIBLIOGRAFIA	"	74
ALLEGATI	"	76
ALLEGATO 1: PSR 2007-2013 - REGIONE LOMBARDIA	"	76
ALLEGATO 2: PRINCIPALI MACCHINE FORESTALI	"	78

1. FINALITA' E OBBIETTIVI

Il presente Elaborato finale nasce dalla volontà di valorizzare il patrimonio forestale locale attraverso la riattivazione della **filiera foresta-legno-energia**, con ricadute positive sia sull'occupazione che sull'ambiente, ristabilendo il presidio dell'uomo sul territorio montano.

Lo studio prevede di valutare in quali termini possa essere convenientemente utilizzata ai fini energetici (produzione di Energia Termica, ET) la biomassa presente, in un'ottica di **gestione sostenibile** delle risorse territoriali.

Per questo motivo il dimensionamento degli impianti termici dovrà essere valutato sulla base della stima della **disponibilità reale di biomassa locale,** proveniente sia dalle utilizzazioni dei boschi comunali (sotto forma di ramaglia forestale), sia eventualmente dalle industrie locali del legno operanti nel territorio (sotto forma di residui di lavorazione) nonché dalla potatura delle coltivazioni arboree presenti in loco.

Ciò anche in considerazione dell'andamento altalenante del prezzo del greggio, che potrebbe renderebbe economicamente meno vantaggioso, oltre che insostenibile da un punto di vista ambientale, un eventuale approvvigionamento di biomassa da distanze maggiori, come invece spesso avviene oggi in impianti a biomassa legnosa ampiamente sovradimensionati rispetto alle reali potenzialità del territorio.

Per la realizzazione della filiera, vi è inoltre la possibilità di usufruire dei finanziamenti previsti dal **Programma di Sviluppo Rurale Regionale (PSR 2007/2013)** attraverso le cui misure la Regione Lombardia interviene a sostegno del settore agricolo ed, in particolare, in merito al ricorso alle bio-energie **(MISURA 311, Diversificazione verso attività non agricole, ENERGIA**).

L'impianto generale del PSR 2007-2013 e gli investimenti ammissibili per usufruire dei fondi previsti vengono descritti nell'**Allegato 1.**

Il presente Elaborato Finale si pone, quindi, l'obbiettivo di fornire uno strumento utile alle amministrazioni del patrimonio forestale per quantificare la disponibilità reale di biomassa utilizzabile ai fini energetici, proveniente

dalle utilizzazioni forestali, che nel territorio in esame riguardano quasi interamente **boschi governati a fustaia**.

I risultati dello studio forniranno una prima inidicazione sulla possibilità di utilizzo di questa importante Fonte Energetica Rinnovabile (FER) locale, da destinare al riscaldamento di strutture pubbliche (scuole, municipio, ecc.) e private tramite una piccola rete di **teleriscaldamento**.

Pertanto si valuterà la quantità (t_{ta}/*anno*) di legno localmente disponibile per la filiera energetica, al netto degli eventuali impieghi come legname nei vari assortimenti e tenendo conto dei fattori discriminanti che ne influenzano l'utilizzo, quali la morfologia del territorio, la rete viaria, i costi di lavorazione, le specie forestali ed il tipo di governo del bosco.
Dalla quantità di bio-combustibile ritraibile si otterrà quindi l'ET generabile annualmente (*MWh*).
In seguito, attraverso il confronto tra la stima del costo dell'energia a bocca impianto prodotta con bio-combustibile (€/kWh) con il prezzo dell'energia prodotta attraverso i combustibili di origine fossile, si potranno ottenere indicazioni indispensabili per valutare la convenienza economica della realizzazione in loco della filiera e, quindi, della sostituzione degli attuali impianti di riscaldamento.

2. LA FILIERA BOSCO-LEGNO-ENERGIA

Per **"filiera bosco-legno–energia"** si intende la successione delle fasi che collegano la produzione del bio-combustibile al suo utilizzo finale nel generatore termico (**Tabella 2.1**), ognuna delle quali comprende diverse operazioni[1].

La successione delle fasi intermedie (depezzatura, trasporto, essiccazione e deposito) può variare notevolmente in relazione a situazioni contingenti e locali di varia natura (disponibilità di materia prima, esigenza del combustore, ecc.).

TABELLA 2.1 – Le fasi della filiera bosco-legno-energia

FASE	
1	**Produzione**
2	**Depezzatura**
3	**Essiccazione**
4	**Trasporto**
5	**Deposito o accumulo**
6	**Utilizzo finale**

1. Produzione

La **Produzione**, cioè l'approvvigionamento della biomassa legnosa, può provenire da **scarti di lavorazione** di segherie oppure dai **tagli** di boschi, a condizione che essa sia il più possibile costante e quantitativamente pre-determinata.

2. Depezzatura e Sminuzzamento

Per **depezzatura** viene qui intesa ogni operazione di taglio e sezionatura necessari per ottenere, anche attraverso una successiva **sminuzzatura,** il legno nelle dimensioni adatte per essere utilizzato come bio-combustibile.

[1] Le specifiche operazioni sono descritte nel CAPITOLO 3 "I LAVORI FORESTALI: TECNICHE DI RACCOLTA DEL LEGNO NEI BOSCHI GOVERNATI A FUSTAIA".

La depezzatura finale può seguire immediatamente il taglio della pianta in bosco ovvero può essere effettuata dopo un primo trasporto dei tronchi dal bosco nel deposito stagionale o può essere effettuata dopo la stagionatura nel deposito stagionale e subito prima dell'utilizzo finale nel deposito locale.
In termini operativi, come per ogni fase intermedia della filiera, la soluzione ottimale dipende da fattori contingenti e locali da considerare di volta in volta.
Il tipo di pezzatura attualmente più utilizzato nei generatori di calore di media-elevata potenza termica sono le scaglie o cippato di legno (*chips*), ottenute mediante lo **sminuzzamento** (o cippatura) del legno fresco oppure parzialmente **essiccato**.

3. Essiccazione

All'abbattimento il legno presenta un contenuto d'acqua piuttosto elevato (w=50-60%) ma anche molto variabile a seconda della specie. Considerato che durante la combustione è importante utilizzare legno con bassa umidità (indicativamente w<30%) risulta importante effettuare una buona **essiccazione**[2].

4. Trasporto

Il **trasporto** ha lo scopo di assicurare il flusso del legno (tra le differenti sedi operative in cui si attiva la filiera legno-energia) dalla produzione all'utilizzo in caldaia collegando razionalmente le varie fasi della filiera.
A seconda del sistema di riscaldamento, ma anche delle fasi operative da collegare e dell'organizzazione di cantiere adottata, si tratta di movimentare legno in differenti pezzature: tronchi di piante intere, oppure scaglie pronte all'uso come bio-combustibile.
La modalità di trasporto deve essere attentamente valutata in riferimento alla sua pesante incidenza economica sul costo finale del bio-combustibile a

[2] L'importanza del contenuto idrico del bio-combustibile è trattato nel CAPITOLO 4 "IL CIPPATO COME FONTE ENERGETICA".

bocca impianto. In merito, particolare attenzione va data all'operazione di carico e scarico tra la sede di provenienza e la sede di arrivo, utilizzando di volta in volta le soluzioni, manuali o meccaniche (con pinza idraulica, benna, ecc.), più opportune per aumentare la produttività del lavoro e ridurre i costi.

5. Deposito o accumulo

Il **deposito** è la sede di ricovero del bio-combustibile fino al momento dell'utilizzo. Schematicamente possono essere distinti due tipi di deposito: deposito **stagionale** e deposito **locale**.

Il deposito stagionale deve essere in grado di contenere il legno necessario per alimentare il generatore termico per due-tre annate.

Il deposito locale assicura, invece, la disponibilità immediata di combustibile per 1-2 settimane con pieno funzionamento del generatore di calore.

6. Utilizzo finale

L'utilizzo finale del bio-combustibile si identifica con la sua combustione in un idoneo impianto termico.

I generatori di calore possono essere distinti in funzione della classe di potenza nominale (*kW; kcal/h*); si parla pertanto di impianti piccoli,medi e grandi.

L'attenzione del presente studio si limita ai generatori termici con potenza nominale minore di 1 MW, così come previsto dal PSR per usufruire dei fondi a disposizione.

Nei sistemi funzionanti a cippato, il **caricamento** del bio-combustibile può essere manuale o meccanizzato. Nel secondo caso viene raggiunta un'autonomia di funzionamento piuttosto elevata (fino a una settimana a piena potenza) e rappresenta la soluzione più idonea per una caldaia collegata ad una rete di teleriscaldamento per la quale non sono ammessi blocchi e/o fermi che comportano la mancata erogazione del servizio.

3. I LAVORI FORESTALI: TECNICHE DI RACCOLTA DEL LEGNO NEI BOSCHI GOVERNATI A FUSTAIA

Nell'ottica di un utilizzo ai fini energetici di parte della biomassa legnosa ricavata da un taglio di piante in un bosco governato a fustaia, i lavori forestali (o *utilizzazioni forestali*) si distinguono nelle seguenti operazioni:

- ***Abbattimento* ed *atterramento*** degli alberi;
- ***Sramatura:*** taglio dei rami del fusto e ***cimatura*** (taglio dell'estremità più alta dei fusti arborei, con ∅ ≤ 10 cm nelle conifere;
- ***Sezionatura*** o ***depezzatura***: taglio di un albero abbattuto in diversi elementi di lunghezza conforme agli assortimenti che se ne vogliono ricavare;
- ***Scortecciatura:*** asportazione della corteccia del fusto;
- ***Concentramento:*** movimentazione di legname con la quale l'albero, il fusto o i singoli toppi, parzialmente o completamente allestiti, vengono spostati dal letto di caduta alle vie di esbosco o direttamente alle strade;
- ***Esbosco:*** movimentazione del legno con la quale alberi, fusti o toppi, riuniti in carichi, vengono portati lungo percorsi attrezzati (detti "*vie di esbosco*"), fino a un piazzale di deposito (detto "*imposto*"), situato su una strada camionabile o trattorabile;
- ***Trasporto:*** movimentazione del legname dall'imposto alle industrie di prima trasformazione, seguendo la viabilità principale di cui è dotato il territorio;
- ***Sminuzzatura*** del legname di scarto non utilizzabile per la segagione da utilizzarsi come bio-combustibile;
- ***Essiccazione e accumulo*** del materiale cippato.

I **sistemi di lavoro** sono diversi a seconda dell'ordine con il quale si eseguono le suddette operazioni. In tal senso si parla di:

- Sistema tradizionale, che prevede di *allestire* (cioè sramare, sezionare e scortecciare) i fusti sul letto di caduta ed esboscare solo il legno tagliato (materiale corto) in assortimenti commerciali predefiniti.

- Sistema dell'albero intero, che prevede di esboscare gli alberi tal quali, trasferendo l'esecuzione sia della sramatura che della sezionatura all'imposto.

Di norma, è con il sistema dell'albero intero che, mediante l'ausilio di apposite macchine operatrici collocate all'imposto o presso la centrale termica (sminuzzatrici-cippatrici), si producono scaglie di legno (*chips*) impiegando gli scarti legnosi (ramaglia e cimali).

3.1 ABBATTIMENTO E ALLESTIMENTO

Nell'*abbattimeto* di conifere adulte si utilizzano di norma **motoseghe medie**, con motore a scoppio (Ciclo Otto, due tempi) con 2-4 kW di potenza e barra di taglio con lunghezza variabile da 35 a 50 cm.

La *sramatura* va eseguita a raso del tronco, cioè sotto la corteccia, per facilitare l'eventuale successiva scortecciatura. Questa operazione viene eseguita manualmete con **accetta**, nel caso di rami piccoli, o più frequentemente con **motosega**, specialmente nel caso di rami con diametro più grosso.

Con la *sezionatura* il fusto della conifera viene suddiviso in assortimenti con caratteristiche dimensionali idonee per la commercializzazione e i successivi impieghi. Al momento dell'esecuzione dei vari assortimenti è necessario lasciare le cosiddette **soprammisure**, per compensare il ritiro del legname con la stagionatura (essiccazione naturale), l'imprecisione del taglio e gli eventuali danni che i pezzi possono subire durante l'esbosco.

La *scortecciatura* può essere eseguita con **attrezzi manuali**, oppure mediante **scortecciatrici meccaniche**. Va osservato che la presenza della corteccia sul legname abbattuto causa un rallentamento dell'essiccazione naturale e favorisce l'attacco di parassiti (insetti e funghi, in particolare), specialmente in

primavera-estate. Quindi, se il taglio avviene nella stagione vegetativa, il legname va scortecciato il più presto possibile, direttamente sul letto di caduta oppure una volta esboscato. In inverno il legname non subisce danni rilevanti a causa della presenza della corteccia che, quantitativamente, incide per il 10-20% del volume del legno.

Esistono, inoltre, **macchine operatrici combinate** che effettuano una o più operazioni del lavoro di abbattimento e allestimento del legname, a volte anche l'ammassamento o il concentramento, raramente l'esbosco. Si tratta di macchine tecnologicamente avanzate, molto produttive, ma prevalentemente adatte in terreni pianeggianti e con grandi quantitativi di materiale da lavorare così da ammortizzare convenientemente gli elevati costi di investimento.

3.2 LA MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE: CONCENTRAMENTO, ESBOSCO E TRASPORTO

Comprende tutte le operazioni occorrenti per portare la legna dal letto di caduta alla strada sino al luogo di utilizzo (segherie o altro).

Si suddivide in:

- *Concentramento:* dal letto di caduta alle vie di esbosco (piste, linee di teleferica) o direttamente alle strade;
- *Esbosco:* fino agli imposti, piazzali di deposito posti su strade camionabili;
- *Trasporto:* dagli imposti al luogo di utilizzazione/prima trasformazione del legname.

Per quel che riguarda il ***concentramento***, le distanze entro cui movimentare il materiale devono essere dell'ordine di qualche decina di metri; viceversa risultano troppo onerose e determinano danni al legname e al bosco.

Il concentramento può essere eseguito sfruttando la forza di gravità e, quindi, in discesa, dovuta alla pendenza naturale del terreno.

Il metodo più utilizzato fino a pendenze del 30-40% è lo **strascico con verricello**, che consiste nel trascinare il legname mediante una fune d'acciaio, lungo le linee di massima pendenza. Se il terreno lo permette si utilizzano verricelli montati su trattore, in grado di trascinare anche più tronchi. Se le condizioni di lavoro sono sfavorevoli (soprassuoli fitti, terreno accidentato), trovano impiego verricelli leggeri indipendenti, portatili o su telaio a slitta, mossi da motore a scoppio. Questi vanno ancorati a un albero e la fune viene generalmente rinviata su una carrucola appesa ad un altro albero.

Per **l'*esbosco*** le distanze devono essere dell'ordine delle centinaia di metri; se si supera il chilometro si è in presenza di una rete viaria principale (strade) insufficiente.

Per pendenze elevate (>40%), si adottano **teleferiche** forestali.

Un metodo di esbosco ancora utilizzato consiste nello sfruttare **linee naturali** di avvallamento, di solito vallette, entro le quali viene fatto scivolare il legname, preventivamente scortecciato. Ove esistono si sfruttano la **linee artificiali** costruite in pietrame. Meno utilizzate sono le cosiddette risine, canalette costruite per l'occasione in cui viene fatto scorrere il legname.

L'*esbosco a strascico* con trattori può rappresentare il proseguimento delle operazioni di concentramento effettuate con il verricello a trattore fermo. In questo caso il legname viene agganciato alla fune del verricello bloccato e trascinato fuori dal bosco.

Sicuramente questo è il sistema di esbosco più semplice ed economico, ma è fortemente condizionato dalla presenza di una adeguata rete di piste forestali/stradale.

Dove la meccanizzazione forestale ha raggiunto livelli elevati, per l'esbosco si utilizza il **forwarder,** una macchina con manovrabilità e capacità di carico superiore al trattore, dotata di gru in grado di prelevare le cataste, caricarle su un pianale incorporato e portarle fino a un imposto accessibile ai mezzi di trasporto (**Figura 3.1**).

Figura 3.1 – Esbosco con forwarder

In presenza di tagli di buona entità, il metodo di esbosco più utilizzato sulle Alpi è quello mediante **teleferica;** questi impianti, temporanei, permettono di svincolarsi dalle caratteristiche del terreno.

In questo caso il legname viene trasportato a valle sospeso a una fune, svincolando così il lavoro dalle avversità del terreno (pendenza, accidentalità, neve, ghiaccio) che condizionano tutti gli altri sistemi di esbosco.

Esistono diversi tipi di teleferiche a seconda del numero di funi e della loro funzione (portante o portante-traente). Oltre al tipo monofune solo portante (**fili a sbalzo**), il modello più utilizzato è il "Blondin" (o **gru a cavo**), che permette, a differenza degli altri tipi, di caricare la legna lungo tutta la linea d'esbosco, evitando le onerose operazioni di concentramento (**Figura 3.2)**.

Figura 3.2 - Esbosco con gru a cavo tipo mobile azionata dalla p.d.p. del trattore

Il ***trasporto*** del legname in montagna viene spesso effettuato su strade trattorabili con **trattori e rimorchi** (**Figura 3.3**). A volte vengono utilizzati dei **transporter**, cioè piccoli autocarri muniti di cassone o piano di carico. Se la viabilità lo permette, conviene ricorrere ad autocarri, equipaggiati con **gru idrauliche** e con **ritti** per contenere il carico, mezzi di trasporto più veloci e capaci dei rimorchi trainati da trattore.

Figura 3.3 - Rimorchio forestale agganciato al trattore equipaggiato con gru idraulica.

3.3 LA SMINUZZATURA

La *sminuzzatura* (o *cippatura*) è il processo di riduzione in scaglie variabili da 1 a 8 cm di lunghezza, dei fusti e/o della ramaglia, tramite azione meccanica. Le caratteristiche fondamentali del cippato sono:

- Dimensioni delle scaglie;
- Contenuto idrico, variabile alla raccolta dal 45% al 65%;
- Specie botanica di provenienza.

In base alle dimensioni delle scaglie di legno si parla di:

- Cippato piccolo: lunghezza < 8,5 cm;
- Cippato medio: lunghezza < 12 cm;
- Cippato grande: lunghezza < 25 cm.

Le dimensioni delle scaglie sono importanti in quanto influenzano la densità dell'ammasso stoccato (kg/m_{str}), il tempo di essicazione e, soprattutto i sistemi di alimentazione adottati nei generatori termici.
L'operazione di cippatura può essere eseguita:

- nel luogo di utilizzazione;
- direttamente agli imposti, evitando così l'oneroso trasporto della ramaglia (**Figura 3.4).**

Figura 3.4 - Cippatura della ramaglia all'imposto con macchina sminuzzatrice accoppiata a trattore gommato.

Se le dimensioni e la potenza disponibile per il suo funzionamento lo permettono, l'operazione di sminuzzatura può sostituire parte

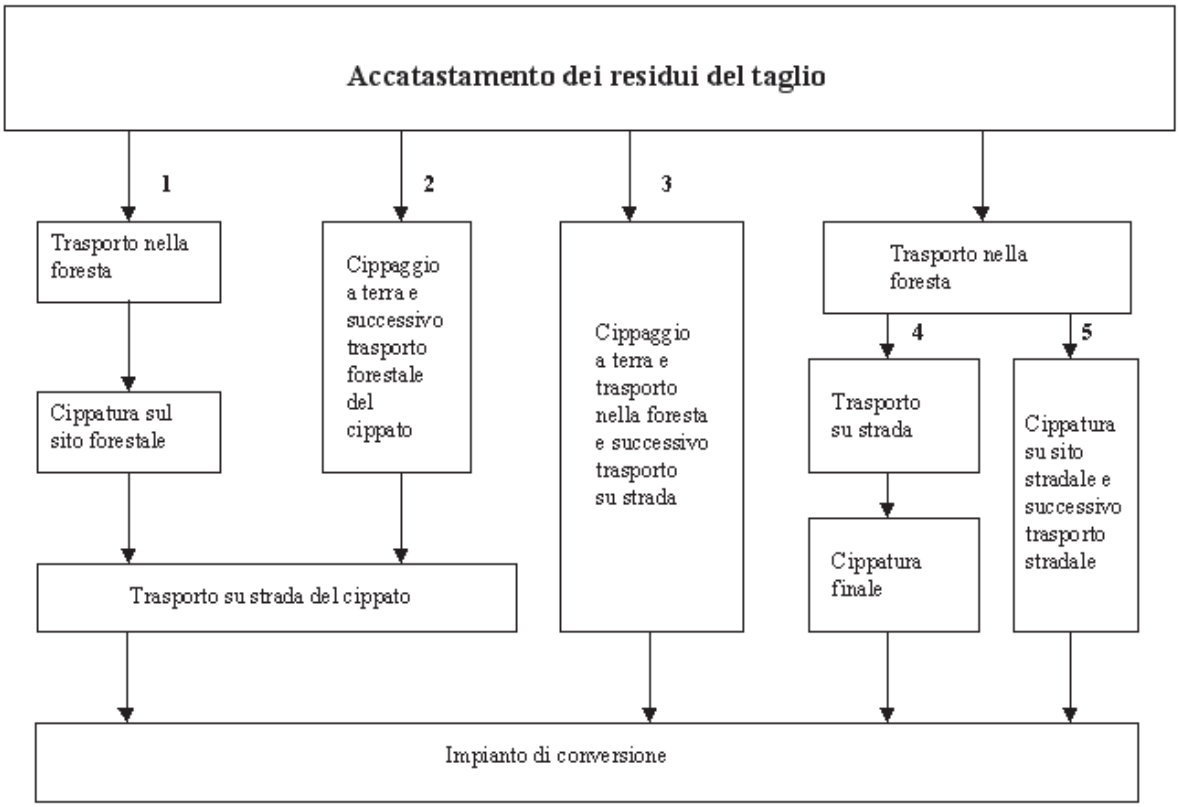
dell'allestimento, cioè la sramatura e la sezionatura dei fusti, in quanto vengono cippati piccoli fusti interi, con tutta la loro chioma.

Il legno cippato viene, inoltre, caricato direttamente su un autocarro adiacente e adibito al trasporto.

Nel caso di boschi governati a fustaia, l'**incremento di massa legnosa**, altrimenti abbandonata in bosco, e trasformabile in chips è di circa del 10-20%.

Le metodologie adottabili per la raccolta e il trasporto dei residui forestali sono numerose, in base alla morfologia del territorio, alla viabilità forestale esistente ed alle attrezzature in dotazione (**Tabella 3.1**).

Tabella 3.1 - varie metodologie e alternative per la raccolta ed il trasporto dei residui forestali



Per contenere gli elevati costi di cippatura, si devono adottare soluzioni per la raccolta dell´intero albero eseguendo la cippatura immediatamente prima della trasformazione energetica. In questo caso i processi di esbosco e di cippatura vengono effettuati in tempi diversi, preferendo sminuzzare il

materiale residuale in un secondo momento, a ciclo continuo e nelle condizioni ideali.

3.4 ESSICCAZIONE E DEPOSITO DEL CIPPATO

Sebbene le moderne caldaie sono in grado di bruciare anche cippato umido, sarebbe consigliabile utilizzare **cippato al secco atmosferico** (U=12-15%) o, comunque, con un contenuto idrico non superiore al 30%. In questo caso, una soluzione possibile prevede di lasciare essiccare naturalmente la legna all'imposto per il tempo necessario e, successivamente, procedere con la cippatura e il trasporto.

Cippare legno umido permette, invece, di avere il carico contemporaneo all'esbosco, ma richiede la disponibilità di aree e strutture idonee per l'accumulo e **l'essiccazione** dei chips nel luogo di utilizzazione.

In ogni caso è sconsigliabile il **deposito** di grandi quantitativi di biomassa cippata, che si conserva piuttosto male: ove possibile lo stoccaggio deve avvenire sotto forma di tronchi e cimali e la cippatura va eseguita solo poco prima dell'impiego in caldaia.

Nel caso di scaglie legnose depositati in luogo chiuso o silo **(Figura 3.5)**, per ridurre il contenuto di umidità nel cippato e la presenza di CO2 prodotta dalla fermentazione, è possibile ventilare forzatamente i cumuli con notevole consumo di energia. In alternativa, si possono ottenere risultati simili con periodici rivoltamenti dei cumuli, introducendo tuttavia anche in questo caso operazioni aggiuntive, onerose sul piano economico ed energetico.

Figura 3.5 – Capannone adibito al deposito del cippato in cumuli non areato

3.5 LA MECCANIZZAZIONE FORESTALE INTERMEDIA

La maggior parte delle ditte boschive italiane adotta un livello di meccanizzazione intermedio, basato sull'impiego di **motoseghe** e di **trattori agricoli** opportunamente attrezzati.

Il pricipale vantaggio della meccanizzazione intermedia è quello di basarsi su attrezzature versatili ed economiche, alla portata di coloro che non hanno grandi disponibilità di capitali e per i quali la boschiva non costituisce l'unica attività lavorativa: conclusa la stagione in bosco, il trattore può essere adoperato per lavori agricoli o per sgombero neve, ottimizzando l'investimento inizialmente sostenuto.

Per tutte le operazioni in bosco, dall'abbattimento al trasporto, le attrezzature perviste dalla meccanizzazione intermedia sono, oltre al trattore e alla motosega:

- **Verricello;**

- **Rimorchio con gru idraulica;**

- **Teleferica.**

L'attrezzatura di cui dotarsi varia in base al sistema di lavoro adottato e alle caratteristiche della zona di attività. Di basilare importanza, tuttavia, è la scelta di un trattore che si adatti anche ai lavori forestali, oppure di un mezzo già appositamente modificato per l'uso forestale.

4. IL CIPPATO COME FONTE ENERGETICA

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura dell'energia (**Tabella 4.1**), del lavoro e della quantità di calore, è il **Joule** (**J**). Nella pratica corrente, tuttavia, è ancora in uso l'utilizzo della **chilocaloria** (**kcal**) come Unità di Misura tecnica del calore, che corrisponde a 4,187 kJ.
Una ulteriore U.M. dell'energia deriva dalla definizione della potenza come lavoro compiuto da una forza nell'unità di tempo (P=W/t, essendo J/s=Watt), ed è il **kWh**.
Una uteriore U.M. molto usata in energetica, è la tonnellata di petrolio equivalente (**t_{ep}**), a cui corrisponde un contenuto energetico di 11,86 MWh.

Tab.4.1 – Unità di misura dell'energia termica.

1 T_{ep}	11,86 MWh
1 kWh	860 kcal
1 Mcal	1,162 kWh
1 Wh	3.600 J
1 kcal	4,186 kJ
1 kJ	0,239 kcal

4.1 IL POTERE CALORIFICO DEL LEGNO

Il **potere calorifico** di una sostanza combustibile indica la quantità di energia termica che può venire ricavata nella combustione completa dell'unità di massa (o, per i combustibili gassosi, di volume) del combustibile; viene, dunque, espresso in J/kg, kWh/kg o kcal/kg (o in J/m^3, kWh/m^3 o kcal/m^3).

4.1.1 LO STATO IDRICO DEL LEGNO

Per i combustibili che contengono acqua e/o idrogeno, come accade per il legno, si distingue tra **Potere Calorifico Superiore** (**PCS**, che nei prodotti della

combustione considera l'acqua allo stato liquido e, quindi, contabilizza anche il calore latente di condensazione) e **Potere Calorifico Inferiore** (**PCI**, nel quale l'acqua prodotta nella combustione viene considerata allo stato di vapore e, dunque, non considera il calore di condensazione). Per il legno anidro la differenza fra il PCI e il PCS è data dall'*energia termica correlata al calore di condensazione del vapore acqueo che si forma durante la combustione*.Nella pratica si impiega sempre il PCI, in quanto, di norma, il vapore acqueo viene disperso al camino con i fumi.
Se viene riferito all'unità di massa, il PCI del legno delle diverse specie, varia relativamente poco (**Tabella 4.2**).

Tabella 4.2 - Poteri Calorifici Inferiori allo stato anidro (PCI, MJ/kg_{ss}), per la legna da ardere delle più importanti specie arboree europee [7].

Latifoglie	**PCI (MJ/kg_{ss})**	**Conifere**	**PCI (MJ/kg_{ss})**
Salice bianco	17,06	Larice	19,04
Ontano bianco	17,29	Douglasia	19,15
Carpino bianco	17,29	Abete bianco	19,19
Pioppo nero	17,58	Abete rosso	19,32
Cerro	17,62	Pino silvestre	19,47
Acero	17,74	Pino strobo	20,28
Ontano nero	17,99		
Quercia	18,04		
Frassino	18,09		
Betulla	18,11		
Faggio	18,34		
Olmo	18,47		
Tiglio	18,70		
Castagno	18,81		
Robinia	18,93		

Vista la scarsa variabilità, sui calcoli di massima, si può operare sulla base di valori medi come, ad esempio, quello indicato per il legno da [7] pari a **18,5 MJ/kg_{ss}.**

Per il **legno umido** esso dipende fortemente dal *contenuto idrico*, perché nella combustione l'evaporazione di 1 kg di acqua libera contenuta nei tessuti vegetali "consuma" 2,44 MJ/kg_{H2o}.

La variazione del PC in funzione del contenuto idrico applicata al valore medio del PCI di 18,5 MJ/kg_{ss}, è esprimibile da diverse formule per un calcolo approssimato del PC dell'unità di massa di un generico legno con un dato contenuto idrico w (**pci_w, MJ/kg_{tq}**). Fra queste viene spesso utilizzata la seguente [7]:

$$pci_w \ (MJ/kg_{tq}) = [18,5 * (100 - w) - (2,44 * w)] : 100 \qquad (1)$$

in cui:

18,5 (MJ/kg_{ss}) = PCI medio del legno anidro;

2,44 (MJ/kg) = calore di evaporazione dell'acqua;

w = **contenuto idrico** percentuale del legno, ricavabile dalle formule 3 o 4.

La medesima formula può essere espressa in kWh/kg_{tq}:

$$pci_w \ (kWh/kg_{tq}) = [5,14 * (100 - w) - (0,7 * w)] : 100$$

Per calcoli rapidi, semplificando la (1) si ottiene la più agile espressione:

$$pci_w = 18,5 - 20,94 * w \qquad (2)$$

Per il legno quindi il PCI_w dipende dalla sua composizione chimica e, molto più fortemente, dallo stato idrico in cui si trova.

Per indicare il **contenuto idrico** del legno, generalmente esprimendolo in termini percentuali, esistono due criteri e cioè:

• il criterio scientifico e di laboratorio che determina l'**umidità sul secco** (U), calcolandola secondo la formula:

U= [(Massa umida – Massa secca) : Massa secca] * 100

U= [(Mu – Ms) : Ms] * 100 **(3)**

• il criterio pratico e del commercio che invece calcola l'**umidità sull'umido** (o "umidità del tal quale", w) come:

w= [(Massa umida – Massa secca) : Massa umida] * 100

w= [(Mu – Ms) : Mu] * 100 **(4)**

Per il passaggio da una misura del tenore idrico all'altra risultano pratiche le formule riportate da [7], e cioè:

w = (100 * U) : (100 + U) **(5)**

U = (100 * W) : (100 – W) **(6)**

Sebbene taluni adottino la convenzione di chiamare **umidità** l'*umidità sul secco* (U) e **contenuto idrico** l'*umidità sul tal quale* (w), è consuetudine, almeno nel nostro paese, misurare tale grandezza su base umida e dare il medesimo significato a "*umidità*" e "*contenuto idrico*".

Dalla (1) possiamo così comprendere che il PCI del legno decresce in maniera sostanziale all'aumentare del contenuto idrico, come evidenziato dalla seguente **Tabella 4.3.**

TABELLA 4.3 - Variazione del pci_w (MJ/kg_{tq}) in funzione dell'umidità sul secco (U) e del contenuto idrico (W), calcolato in base alla (1)[7].

u %	0	12	18	25	35	50	75	100	150
w %	0	10,71	15,25	20,00	25,92	33,33	42,86	50,0	60,0
pci_w	18,50	16,26	15,31	14,31	13,07	11,52	9,53	8,03	5,94

4.1.2 IL POTERE CALORIFICO VOLUMETRICO

Come già detto, il potere calorifico del legno, oltre che al peso, può anche venire riferito al volume. Si ottiene così il **potere calorifico volumetrico** nel cui ambito, a seconda del tipo di volume considerato (metro cubo massiccio , m^3, o metro stero, m_{st}), si distingue fra Potere Calorifico Volumetrico Massiccio (PCVM), esprimibile in MJ/m^3, MWh/m^3 o $Mcal/m^3$, e Potere Calorifico Volumetrico Sterico (PCVS), esprimibile in MJ/m_{str}, MWh/m_{str} o $Mcal/m_{str}$.

Il **Potere Calorifico Volumetrico Massiccio (PCVM),** generalmente misurato in MJ/m^3, è dato dal prodotto del pci_w e dalla *massa volumica* (o densità volumica, ρ_{tq}, kg_{tq}/m^3) del medesimo campione di stato idrico conosciuto (w ed U). Esso viene perciò calcolato secondo la formula:

$$PCVM_w = pci_w * \rho_{tq} \qquad (7)$$

In **Tabella 4.4** si riportano i valori medi della *massa volumica* rispetto a Umidità (U) e Contenuto idrico (W), di alcune specie legnose:

Tabella 4.4 - Valori medi di massa volumica (ρ, kg/m³) delle più importanti specie arboree europee (Fonte [4]).

Umidità rif . anidro % (U)	0	12	30	50	70	>100
Umidità rif. umido % (W)	*0*	*11*	*23*	*33*	*41*	>50
Specie legnosa	**Massa volumica (ρ_{tq}, in kg/m³)**					
Abete rosso / bianco	390	420	460	540	670	900-1200
Pino silvestre / nero	470	500	540	650	800	900-1100
Pino strobo	320	350	400	490	620	800-1050
Lance	570	600	640	750	910	950-1100
Carpino bianco / nero	750	780	820	930	1100	fino a 1200
Castagno	560	600	650	780	960	1000-1100
Faggio	710	750	800	920	1100	fino a 1200
Querce	680	720	770	900	1080	fino a 1200
Ontano bianco / nero	510	550	600	740	920	fino a 1000
Pioppi ibridi euroamericani	300	330	360	450	570	750-950
Pioppo nero	370	400	430	540	660	750-950
Robinia	710	750	800	920	1100	fino a 1200

Per il legno da energia il PCVM trova scarso impiego, anche perché la sua determinazione per i diversi assortimenti del combustibile è, a seconda dei tipi, di laboriosa, difficile o praticamente impossibile esecuzione.

Il Potere Calorifico Volumetrico Sterico

Spesso l'unità di misura del legno per energia è il **metro stero (m_{str})**, che a differenza del metro cubo, consente di misurare il cippato così come riversato, tenendo in considerazione anche il volume libero presente al suo interno tra una scaglia e l'altra. Per passare da un'unità di misura all'altra si utilizzano i seguenti **coefficenti sterici** (m^3/m_{str}):

1 m_{str} di cippato <30mm = 0,40 m^3 di legname

1 m_{str} di cippato 30-50mm = 0,33 m^3 di legname

o anche

2,5 m_{str} di cippato <30mm = 1 m^3 di legname

3,0 m_{str} di cippato 30-50mm = 1 m^3 di legname

In questo caso si parla, quindi, di **PCVS** (MJ/m_{str}), che può essere calcolato moltiplicando il potere calorifico massiccio ricavato dalla (7) per il corrispondente **coefficiente sterico**:

$$PCVS_w = PCVM_w * \text{coefficiente sterico}$$

Per ottenere valori più precisi del PCVS si possono utilizzare metodi che si basano sulla **densità sterica** del cippato (massa in kg_{tq} di 1 m_{str}). In questo caso nella formula (7) si sostituisce il valore della densità volumica (ρ, kg_{tq}/m^3) con quello della densità sterica (ρ_{str}, kg_{tq}/m_{str}) corrispondente per il potere calorifico allo stato idrico rilevato:

$$PCVS_w = pci_w * \rho_{str} \qquad (8)$$

Di seguito si riportano alcuni valori di densità sterica per alcune specie legnose a differente contenuto idrico:

ASSORTIMENTO	w	ρ_{str}
Cippato di abete	12%	200 kg_{tq}/m_{str} (Holzenergie)
Cippato di faggio	12%	270 kg_{tq}/m_{str} (Holzenergie)
Cippato	66%	300 kg_{tq}/m_{str} (Regione Piemonte, 1997)

Il proprietario forestale ha quindi diverse alternative di vendita del combustibile: può vendere il materiale da cippare, può vendere il materiale già cippato ò può vendere calore.

Indipendentemente dalla scelta effettuata, si può affermare che per la compravendita di cippato, il parametro da trattare più corretto sarebbe quello dell'energia effettivamente contenuta nella quantità di combustibile al momento della consegna.

5. ANALISI DELLA DISPONIBILITA' TERRITORIALE DI BIOMASSA

L'approvvigionamento della biomassa legnosa, lo stoccaggio, la sua trasformazione in biocombustibile attraverso la sminuzzatura, la consegna all'impianto e la produzione dell'energia costituiscono la filiera della produzione di energia da residui agro-forestali. Questa necessita di un coordinamento fra le esigenze economico-produttive e le politiche di conservazione e valorizzazione del territorio.

Come per ogni processo produttivo volto al massimo rendimento, è indispensabile che ciascuna operazione della filiera sia ottimizzato per rendere competitivo il costo finale dell'energia in confronto ai costi dell'energia da combustibili fossili tradizionali.

Risulta quindi indispensabile un'analisi logistica, organizzativa ed economica che si avvalga anche di strumenti di pianificazione territoriale quali i **Sistemi Informativi Territoriali (SIT)**. Questo tipo di approccio consente di ottimizzare la collocazione geografica di ogni segmento della filiera e la scelta della tipologia di biomassa idonea.

Sulla base di tutto ciò, questo capitolo illustra un possibile approccio di pianificazione della filiera legno-energia replicabile su regioni geografiche diverse, modificando la base dati di partenza.

La metodologia di analisi territoriale utilizzata nel presente elaborato è finalizzata a:

- Valutare a livello preliminare la disponibilità locale di biomassa
- Quantificare l'energia termica ottenibile con tale biomassa

5.1 L'UTILIZZO DELLA TECNOLOGIA INFORMATICA PER L'ANALISI TERRITORIALE: IL GIS

Un sistema Informativo Territoriale (**SIT**) e la relativa realizzazione informatica **GIS** (Geographical Information System), è un metodo per l'acquisizione, la

memorizzazione, l'elaborazione e la visualizzazione di dati geografici, con l'ausilio del computer.
La sua componente informatica GIS rappresenta "*lo strumento informatico in grado di immagazzinare, elaborare e restituire dati spazialmente riferiti alla superficie terrestre*" [9]. Un GIS è quindi in grado di acquisire e analizzare dati spaziali a cui possono essere associati degli attributi, al fine di produrre modelli fisici basati sulla relazione tra le diverse componenti (geometrica, topologica, attributi) dei dati di base.
Alcune operazioni basilari realizzabili con un GIS sono:

1) Acquisizione della cartografia di base

In un SIT i dati devono essere ***georeferenziati***, ovvero ad ogni elemento devono essere attribuite le sue coordinate spaziali reali (latitudine e longitudine), riferite cioè al sistema geografico in cui è situato l'oggetto.

2) Acquisizione dei dati in formato vettoriale o raster

I ***dati vettoriali*** sono dati geometrici memorizzati attraverso le coordinate di punti significativi degli elementi stessi (ad esempio un linea memorizzata attraverso le coordinate degli estremi e la sua lunghezza).
I ***dati raster*** sono invece memorizzati tramite la creazione di una griglia regolare in cui ad ogni cella corrispondono diversi attributi alfanumerici.
Nel modello dati di un SIT, i dati vettoriali e i dati raster coesistono e si integrano a vicenda: i primi sono generalmente usati per dati discreti e i secondi per dati continui. Inoltre, i processi permettono in generale di convertire in modo più o meno automatico dati raster in vettoriali e viceversa.

3) Elaborazione grafica e alfanumerica di elementi di interesse

Nella restituzione grafica di una elaborazione GIS possono quindi essere inseriti elementi di interesse sotto forma di **punti**, **linee** o **poligoni**, a cui associare le relative informazioni.
Ogni livello informativo (costituito da uno o più elementi di interesse) ha una tabella di attributi associata. L'attributo è un'informazione descrittiva

associata ad un oggetto grafico; essi sono memorizzati in database che possono essere interrogati ed analizzati unitamente alle informazioni di carattere spaziale.

4) Interrogazione del database e interazioni con la componente grafica

Il GIS, oltre che essere usato come gestore di informazioni, è anche uno strumento di analisi dei dati attraverso la sovrapposizione di strati informativi diversi e l'estrapolazione di nuovi tematismi. Gli strumenti utlizzati a tale scopo nelle applicazioni pratiche sono: l'overlay topologico, il buffering e la segmentazione dinamica.

L'***overlay topologico*** è una procedura di analisi spaziale che consente di sovrapporre i diversi strati informativi (layer) unendo le informazioni associate a ognuno di essi (gli attributi) in un nuovo strato informativo finale.

Il *buffering* è una funzione che permette di creare aree di rispetto denominate "buffer" intorno agli elementi geografici.

La ***segmentazione dinamica*** è la capacità di associare diversi insiemi di attributi a qualsiasi segmento di un elemento geografico lineare senza doverne cambiare la struttura fisica (ad esempio si possono attribuire informazioni diverse a porzioni diverse di una linea, senza doverla spezzare fisicamente).

Un'altra possibilità è quella di eseguire delle ***analisi tridimensionali*** a partire da modelli tridimensionali del terreno (DTM), strutture di dati sia in formato vettoriale (detti TIN – Triangular Irregular Network) che in formato raster. Dai DTM è possibile generare ad esempio, con le opportune funzioni, curve di livello in forma vettoriale, carte delle pendenze, in formato vettoriale o raster, e anche profili altimetrici.

5.2 IL GIS NELLA PIANIFICAZIONE DELLA FILIERA LEGNO-ENERGIA

Le problematiche legate all'utilizzo ai fini energetici della biomassa sono principalmente legate alla sua quantificazione, alla distribuzione spaziale sul territorio ed al relativo costo finale dell'energia ricavabile.
Nel valutare a livello preliminare la disponibilità locale di biomassa, occorre determinare i terreni dove è possibile andare a fare delle utilizzazioni forestali che siano economicamente vantaggiose e che permettano quindi l'utilizzo della biomassa di scarto ai fini energetici.
Si è trattato quindi di eseguire una analisi territoriale per permettere una pianificazione territoriale finalizzata alla creazione di una filiera legno-energia.
Attraverso il GIS si è potuto:

1) Valutare la disponibilità potenziale di biomassa

2) Valutare la disponibilità reale di biomassa

5.3 DESCRIZIONE DEGLI INPUT

In una pianificazione della filiera legno-energia replicabile su regioni geografiche diverse è di primaria importanza la creazione di una base dati di partenza che permetta, attraverso la successiva elaborazione informatica col GIS, di tener conto di tutti i fattori che influenzano la possibilità di utilizzo della biomassa.
Ogni segmento della filiera dipende in misura maggiore o minore dalla sua collocazione geografica e uno dei principali problemi legati all'utilizzo della biomassa come combustibile è dovuto alla sua distribuzione molto spesso disomogenea e, soprattutto in territori montani, alla difficile accessibilità dei boschi di approvvigionamento.
I dati di input utilizzati quindi nel presente studio sono stati:

- ***CTR Regione Lombardia***
- ***Carta della Viabilità***

- ***Carta Assestamentale***

5.4 DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA PER LA STIMA DELLA DISPONIBILITÀ REALE DI BIOMASSA

La creazione di un distretto energetico dipende quindi da numerosi fattori, connessi tra loro e che influenzano in misura maggiore o minore l'ottimizzazione della filiera legno-energia.
In questo lavoro si è quindi cercato di implementare un modello che tenga conto delle varie problematiche sopra esposte.
L'area presa in considerazione dallo studio è necessariamente confinata al territorio comunale, sia perché le informazioni necessarie per lo studio ***(il Piano di Assestamento Forestale – PAF)*** sono reperibili a questo livello territoriale, sia per il ruolo di primo piano rivestito da questi enti locali in materia di politiche energetiche e sostenibilità ambientale.
Un successivo studio che coinvolga una porzione maggiore di territorio e che permetta quindi una gestione più organica del patrimonio forestale, potrà essere effettuato mediante il supporto del ***Piano degli Indirizzi Forestali (PIF)***, strumento previsto dalla normativa regionale ed in corso di elaborazione da parte degli enti territoriali preposti (di solito le Comunità Montane).

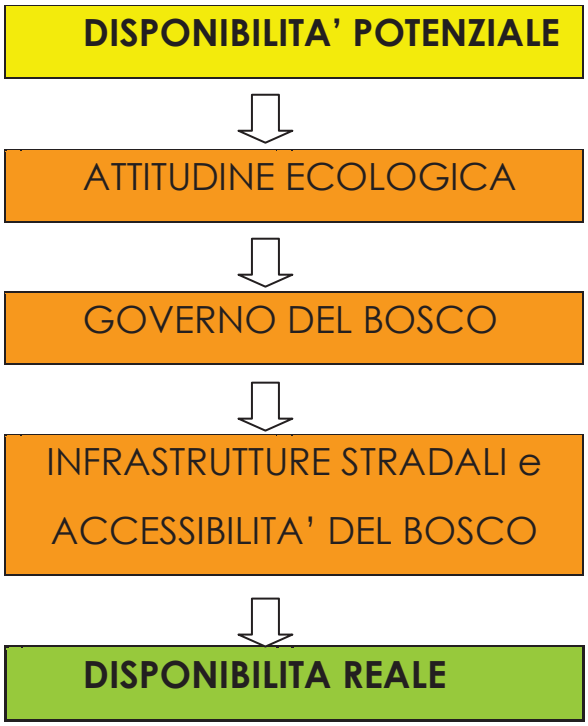
La metodologia elaborata per il calcolo della stima della disponibilità effettiva di biomassa nelle aree di approvvigionamento tiene conto delle principali discriminanti che influiscono in maniera determinante nella realizzazione della filiera energetica. Il metodo elaborato, il cui modello logico è illustrato in **Figura 5.1**, si articola nei seguenti punti:

1) **Analisi della disponibilità potenziale di biomassa sulla base dell'attitudine ecologica del territorio forestale**
2) **Analisi della disponibilità potenziale di biomassa sulla base del tipo di governo del bosco**

3) **Analisi della disponibilità potenziale di biomassa sulla base della disponibilità di infrastrutture stradali**

4) **Calcolo della disponibilità reale di biomassa**

Figura 5.1 – Modello logico utilizzato per il calcolo della disponibilità di biomassa ad uso energetico



5.4.1 ANALISI DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELL'ATTITUDINE ECOLOGICA DEL TERRITORIO FORESTALE

Per quanto riguarda la quantificazione della biomassa potenzialmente disponibile sul territorio, la sua stima è ricavabile dal Piano di Assestamento Forestale (PAF), che costituisce lo strumento pianificatorio di riferimento del territorio agro-forestale.

In base ad esso il territorio forestale viene suddiviso in ***particelle forestali*** in cui si distinguono le caratteristiche del territorio forestale, tra cui l'attitudine ecologica del bosco. Ciò comporta la suddivisione del territorio in **boschi improduttivi,** quelli cioè ad attitudine protettiva e quindi non destinati ad una utilizzazione economica, e in boschi **produttivi,** quelli cioè in cui è possibile

andare a tagliare e perciò potenzialmente sfruttabili nella filiera. Per questi ultimi viene previsto un ***piano dei tagli*** in base al potenziale di ricrescita del bosco, dal quale si ottiene la consistenza massima del prelievo (**m^3/anno**) previsto per tutti gli anni di validità del PAF.
Da questo dato si ottene la **disponibilità potenziale di biomassa utilizzabile ai fini energetici in base all'attitudine ecologica del bosco (Q_{att}).**

Analiticamente si è assegnato un *indice di utilizzazione* (I_{att}) pari a 1 nelle aree di bosco produttivo dove vi è la disponibilità potenziale di biomassa, e pari a zero nelle restanti aree di bosco di protezione, in quanto non sfruttabili ai fini della filiera (**tabella 5.1**).

tabella 5.1-Definizione dell'indice di utilizzazione per funzione del bosco

Attitudine ecologica del bosco	**Indice di utilizzazione I_{att}**
Produttiva	1
Protettiva	0

Graficamente si ottiene la carta della disponibilità potenziale di biomassa sulla base dell'attitudine ecologica del territorio forestale, derivante dalla Carta Assestamentale, considerando solamente le aree di bosco produttivo (**tabella 5.2**).

Tabella 5.2 – Descrizione degli input e dei campi predisposti per l'elaborazione della carta della disponibilità potenziale

Dato di input	**Campo discriminante**	**Valori**	**Campi predisposti**	**Valori**
Carta assesamentale	Attitudine ecologica	Produttiva	Indice di utilizzazione	1
		Protettiva		0

5.4.2 ANALISI DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DEL TIPO DI GOVERNO DEL BOSCO

Per *Governo del bosco* si intende la modalità di rinnovazione delle piante. Esistono due tipi di riproduzione dei vegetali, una gamica e quindi da seme, ed una agamica e cioè per moltiplicazione vegetativa. Queste due modalità identificano i boschi governati a fustaia (piante nate da seme) ed i boschi governati a ceduo.

Nei boschi governati a fustaia, solitamente il legname è destinato all'utilizzo in segheria, mentre nei cedui l'utilizzo è prevalentemente come legna da ardere. Con ciò ne risulta che nelle fustaie il materiale destinabile alla produzione di cippato è solamente il 20% di scarto, mentre nei cedui tutto il materiale legnoso è utilizzabile ai fini energetici.
Conoscendo il tipo di governo del bosco è quindi possibile assegnare i relativi indici di utilizzazione (**Tabella 5.3**) ed attraverso la ***ripresa*** prevista in ogni particella dal *Piano dei tagli* redatto nel PAF, è possibile calcolare annualmente la **disponibilità potenziale di biomassa sulla base del tipo di governo del bosco (Q_{gov}).**

Tabella 5.3 – Definizione dell'indice di utilizzazione in base al tipo di governo del bosco

Tipo di governo	**Indice di utilizzazione** I_{gov}
Fustaia	0,2
Ceduo	1

Graficamente questa classificazione si traduce in una carta della disponibilità potenziale di biomassa sulla base del tipo di governo del bosco, ottenuta elaborando le tipologie forestali riportate dalla carta assestamentale (**tabella 5.4**).

Tabella 5.4 – Descrizione degli input per l'elaborazione della carta della disponibilità potenziale di biomassa sulla base dei tipi forestali (***C_{gov}***).

Dato di input	**Campo discriminante**	**Valori**	**Campi predisposti**	**Valori**
Carta assesamentale	Tipo di governo	Fustaia	Indice di utilizzazione	0,2
		Ceduo		1

5.4.3 ANALISI DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELLA DISPONIBILITÀ DI INFRASTRUTTURE STRADALI

Una volta individuate le potenziali aree di approvvigionamento è necessario verificare che tali aree siano adeguatamente servite da **infrastrutture stradali** per il trasporto della biomassa. In questo contesto l'accessibilità ai terreni ne limita l'utilizzo, in quanto quelli che non sono dotati di strade percorribili dai mezzi utilizzati per l'esbosco del legname devono essere infatti esclusi. Nelle aree dove è stata riscontrata la presenza di infrastrutture stradali, la normativa regionale (*dgr 14016/2003: Direttiva relativa alla viabilità locale di servizio all'attività agro-silvo-pastorale)* prevede una **classificazione della viabilità** in ambito forestale (**tabella 5.5**).

Tabella 5.5 - Classificazione dei tracciati d'interesse agro-silvo-pastorale secondo la normativa regionale

Rete viabile							
Classe di transitabilità[3]	**Fattore di transitabilità**		**Largh. Minima (m)**	**Pendenza (%)**			**Raggio tornanti (m)**
	Mezzi	**Carico ammissibile**[4], [5] **(q)**		**Prevalente**	**Massima**		
					F. naturale	**F. stabilizzato**	
I	*Autocarri*	*250*	*3,5*[6]	*<10*	*12*	*16*	*9*
II	*Trattori con rimorchio*	*200*	*2,5*[14]	*<12*	*14*	*20*	*8*
III	*Trattori piccole dimensioni 90 CV*	*100*	*2,0*	*<14*	*16*	*25*	*6*
IV	*Piccoli automezzi*	*40*	*1,8*	*>14*	*>16*	*>25*	*<6*
Piste forestali							
	Mezzi forestali						
Tracciati minori							
Mulattiere	tracciati a prevalente uso pedonale con larghezza minima di 1,2 m, pendenza non superiore al 25% con fondo lastricato nei tratti a maggior pendenza. Presenza di piccole opere di regimazione delle acque superficiali (canalette e cunettoni) e di muri di contenimento della scarpata a monte e a valle						
Sentieri	tracciati ad esclusivo uso pedonale con larghezza non superiore a 1,2 m e pendenze che, in presenza di gradini, possono raggiungere il 100%. Presenza di elementari opere d'arte per il mantenimento del fondo e della scarpata						
Itinerari alpini	insieme dei tracciati in zona di media e alta montagna ad esclusivo uso pedonale, con sezione ridotta, fondo spesso irregolare e non consolidato e mancanza di opere d'arte. In zone impervie possono essere dotati di particolari attrezzature fisse per garantire il passaggio in sicurezza (ferrate)						

3 La classe di transitabilità è determinata dal parametro più sfavorevole che ne costituisce il limite di transitabilità.
4 Sono consentite delle deroghe indicate nel Regolamento comunale al transito art. 13
5 Sono possibili carichi superiori a quelli indicati in tabella per tutte le strade ed in particolare per quelle di nuova costruzione qualora esplicitamente valutati con prove di carico.
6 Comprensivo di banchina 0.5 m

Questa classificazione viene ripresa dal PAF per la definizione delle quattro **categorie di transitabilità** delle strade esistenti. Le categorie assegnate sono le seguenti:

- *Cat.1*: strade transitabili con ogni mezzo

- *Cat.2:* strade transitabili da autocarri di media portata

- *Cat.3*: strade transitabili da trattori con rimorchio

- *Cat.4*: strade transitabili da trattori con materiale a strascico

Nella definizione delle aree potenzialmente adatte all'utilizzo della biomassa si è deciso di assegnare un *indice di utilizzazione* pari a 1 alle categorie di transitabilità 1, 2 e 3, ed un indice pari a 0 alla categoria 4 (I_{tra}, **tabella 5.6**).

Tabella 5.6 – Definizione dell'indice di utilizzazione per categorie di transitabilità della viabilità agro-silvo-pastorale.

Categorie di transitabilità	**Indice di utilizzazione** I_{tra}
Categoria 1	1
Categoria 2	1
Categoria 3	1
Categoria 4	0

Inoltre nel PAF vengono suddivise le zone in tre **classi di accessibilità** a seconda che siano più o meno servite dalle infrastrutture viarie. Le tre classi sono rispettivamente:

- *I classe*: zone ben servite, distanti da strade non più di 100 m di dislivello, e, in terreni pianeggianti, raggiungibili con piste non più lunghe di 1 km

- *II classe*: zone scarsamente servite distanti da strade oltre 1000 m se in terreni pianeggianti (fino al 10% di pendenza), e tra i 100 e i 300 m di dislivello

- *III classe*: zone non servite

Nella definizione delle aree potenzialmente adatte all'utilizzo della biomassa si è deciso di assegnare un *indice di utilizzazione* pari a 1 alle classi di accessibilità dei terreni I e II, ed un indice pari a 0 alle classi III (I_{acc}, **tabella 5.7**).

Tabella 5.7 – Definizione dell'indice di utilizzazione per classi di accessibilità dei terreni.

Classi di accessibilità	**Indice di utilizzazione I_{acc}**
I classe	1
II classe	1
III classe	0

Graficamente si ottiene la carta della disponibilità potenziale sulla base della rete stradale e della accessibilità, attraverso l'elaborazione della carta della viabilità contenuta nel PAF e l'analisi spaziale tridimensionale della carta tecnica regionale (**tabella 5.8**).

Tabella 5.8 – Descrizione degli input per l'elaborazione della carta della disponibilità potenziale di biomassa sulla base della rete stradale e della accessibilità (C_{str}).

Dato di input	**Campo discriminante**	**Valori**	**Campi predisposti**	**Valori**
Carta della viabilità	Categoria di transitabilità (Classe_tra)	1	Indice di transitabilità (I_tra)	1
		2		1
		3		1
		4		0
Carta della viabilità	Classe di accessibilità (Classe_acc)	I	Indice di accessibilità (I_acc)	1
		II		1
		III		0

5.4.4 CALCOLO DELL'AREA DI DISPONIBILITÀ EFFETTIVA DI BIOMASSA

Sulla base dei dati sin qui considerati, è ora possibile calcolare le effettive aree di approvvigionamento, da cui ottenere la disponibilità effettiva di biomassa nel territorio in esame.

Graficamente questa analisi si traduce in un processo di sovrapposizione tematica tra le carte precedentemente elaborate, da cui si ottiene la carta della disponibilità effettiva di biomassa, in cui sono evidenziate le aree disponibili sulla base dei criteri selettivi precedentemente considerati.

5.5 CALCOLO DELLA QUANTITÀ DI BIOMASSA REALMENTE DISPONIBILE

La quantificazione della biomassa effettivamente prelevabile dall'area boscata a disposizione la si ricava attraverso l'analisi del ***piano dei tagli*** previsto dal PAF. Questo strumento pianificatorio assestamentale risulta fondamentale per una corretta gestione del patrimonio boschivo in quanto permette di evidenziare, in una sequenza cronologica a scansione annuale, le singole particelle che dovranno essere percorse dal taglio e di attribuire a ciascuna particella l'entità del prelievo in termini di massa legnosa (***ripresa***, m^3).

Analiticamente la quantità di biomassa realmente disponibile ($\boldsymbol{Q_{rea}}$, m^3/anno) si ricava mediante gli indici di utilizzazione precedentemente definiti e riepilogati nella **tabella 5.9**.

Tabella 5.9 – Riepilogo degli indici di utilizzazione di biomassa assegnati

Punteggio	Descrizione	Discriminanti	Valori
I_{att}	Attitudine ecologica	Produttiva Protettiva	1 0
I_{gov}	Tipo di governo	Fustaia Ceduo	0,2 1
I_{tra}	Categorie di transitabilità	Categoria 1 Categoria 2 Categoria 3 Categoria 4	1 1 1 0
I_{acc}	Classi di accessibilità	I classe II classe III classe	1 1 0

La Q_{rea} si ricava quindi mediante la seguente espressione, che permette di assegnare ad ogni particella forestale l'effettiva quantità di legname utilizzabile ad uso energetico:

$$Q_{rea} = Ripresa * I_{att} * I_{gov} * I_{tra} * I_{acc}$$

5.6 STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DI ENERGIA DA BIOMASSA

Il volume così ricavato, deve essere trasformato in peso, per poter essere utilizzato successivamente nel calcolo dell'energia ricavabile attraverso il valore PCI_w del legno. Il procedimento è il seguente:

1. Si moltiplica il volume di legna per il coefficiente sterico del cippato pari a 2,5 (2,5 m_{str} di cippato < 30 mm = 1 m^3 di legname). Si ottiene così il corrispondente volume sterico di cippato:

$$Q_{eff}\ (mst/anno) = Q_{eff}\ (m^3/anno) * \mathbf{coeff.ster.}(m^3/\ m_{str})$$

2. Si moltiplica tale volume per la corrispondente densità sterica ρst (ad esempio, per il cippato di abete al 30 % di contenuto idrico, ρst = 250 kg/m_{str}), ottenendo così il corrispondente in peso del volume di cippato:

$\boldsymbol{Q_{eff}}$ (kg_{tq}/anno)**=** $\boldsymbol{Q_{eff}}$ (mst/anno) *** ρst** (kg_{tq}/m_{str})

3. Per ricavare la quantità di energia termica annua potenzialmente producibile dalla biomassa (E, KWh/anno), tenendo conto del contenuto idrico (l'*umidità sul tal quale w*) della biomassa, si può utilizzare la seguente formula:

E= $\boldsymbol{Q_{eff}}$ (kg_{tq}/anno) ***** $\boldsymbol{pci_w}$ (kWh/kg_{tq})

6. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO: COMUNE DI GROSIO

Il **Comune di Grosio (Fig. 6.1)** è situato a 656 m slm in provincia di Sondrio, nella parte alta della Valtellina, nel territorio della Comunità Montana Valtellina di Tirano, conta circa 4.600 residenti e confina:

- a nord con il Comune di Valdidentro e con la Svizzera;
- a est con il Comune di Vezza d'Oglio in Valle Camonica (Bs);
- a sud Con il Comune di Grosotto;
- a ovest con lo stesso Comune di Grosotto e con la Svizzera.

Tutto il Comune di Grosio si estende per una superficie complessiva di Ha 12693,00 comprendente anche i terreni di proprietà privata. La proprietà comunale effettiva distinta al Catasto terreni è pari a Ha 11183,8722 (88,11% della superficie totale).

Fig. 6.1 – Comune di Grosio, inquadramento [fonte www.cmtirano.it]

La maggior parte del territorio è costituito dal bacino denominato *Val Grosina* che risulta composto da due valli ben distinte, percorse dai due rami del torrente *Roasco*:

- Valle Grosina o Valle d'Eita che sottende il Roasco di Valle Grosina;
- Val Grosina occidentale o Valle di Sacco che sottende il Roasco occidentale.

Le due valli confluiscono all'altezza dell'abitato di Fusino, ove il torrente discende unico fino all'altezza del comune di Grosotto per poi confluire nel fiume Adda.

6.1 IL PATRIMONIO BOSCHIVO

Tranne le scarse superfici a fondovalle, i prati a mezza costa, le colture agrarie ed alcuni appezzamenti boschivi con relativi maggenghi, tutta l'area occupata da foresta, pascoli e sterili improduttivi è di proprietà comunale.
La consistenza del patrimonio forestale è riportata in **Tabella 6.1**.
In base alla Legge Regionale n° 27 del 28.10.2004, lo strumento pianificatorio per la gestione della superficie silvo-pastorale di proprietà pubblica è costituito dal **Piano di Assestamento forestale (PAF),** che attraverso lo studio del bosco definisce i possibili interventi di utilizzazione e di miglioramento forestale in relazione alla massa presente (m^3/ha) ed al suo ritmo di crescita (incremento legnoso).
L'unità minima di rilievo del PAF è la ***particella forestale***, all'interno della quale vengono eseguiti i rilievi e stimata la ***ripresa selvicolturale*** (cioè la quantità, in m^3, di massa legnosa prelevabile nel periodo di validità del PAF), che rappresenta il dato fondamentale per il calcolo della biomassa effettivamente disponibile ai fini energetici. Un importante documento cartografico contenuto nel PAF è la ***Carta Assestamentale***, che riporta i

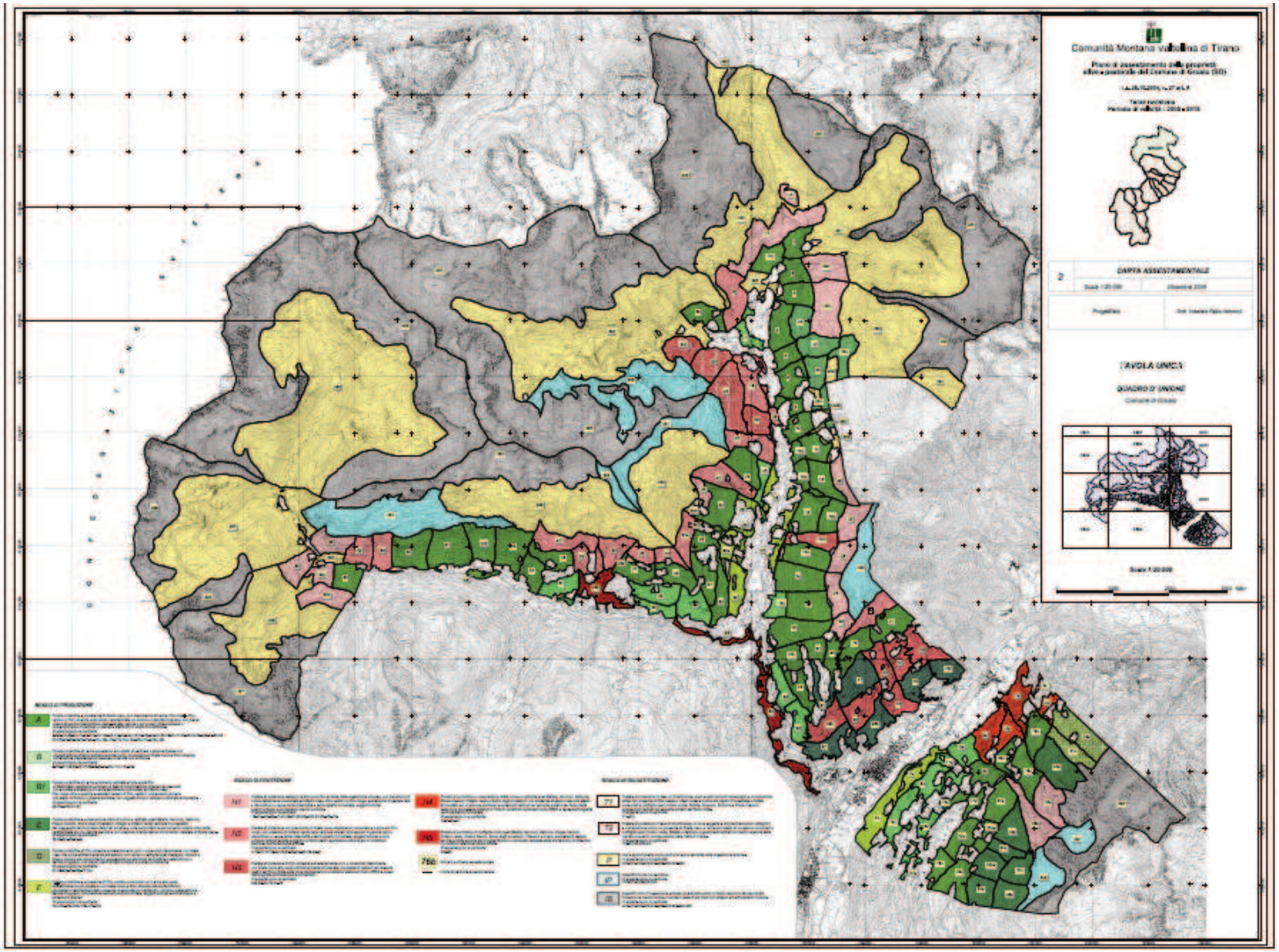
confini di particella e il loro numero, ed inoltre i tipi di bosco e di vegetazione presenti (**Figura 6.2**).

Tabella 6.1 – Comune di Grosio: consistenza patrimonio forestale [Fonte: [1]]

BOSCO	**SUPERFICIE** (ha)	**TIPOLOGIA**
Produzione	1.992,1715	alto fusto
Protezione	1.050,3261	alto fusto
Ricostituzione	205,3864	alto fusto
TOTALE	**3.247,8840**	

I boschi di proprietà privata non sono stati considerati quale possibile fonte di approvvigionamento di biomassa in quanto la loro consistenza non è significativa, la composizione arborea non è assestata e risulta alquanto eterogenea, quindi difficilmente qualificabile a livello quali-quantitativo.
Inoltre per il corretto funzionamento della filiera bosco-legno-energia l'organizzazione prevede un approvvigionamento sicuro e costante, che si traduce in un impegno costante e duraturo della proprietà eventualmente tramite una forma contrattuale stipulata con la pubblica amministrazione.

Figura 6.2 - Carta assestamentale [1].



7. APPLICAZIONE DEL MODELLO ALL'AREA DI STUDIO

L'approvvigionamento della biomassa legnosa deriva principalmente dalle utilizzazioni forestali locali, in particolar modo da quelle previste per i boschi di proprietà comunale.
Gli elevati costi dei tagli forestali in zone montane, attualmente non permettono infatti di attuare delle utilizzazioni ai soli fini energetici economicamente convenienti. Il biocombustibile dovrà quindi essere recuperato dallo scarto del legname destinato all'industria del legno.
In questo modo da un taglio, alla resa economica della vendita del legname da segheria, si potrà aggiungere il ricavato della vendita dell'Energie Termica sotto forma di cippato, aumentando così il ricavo totale e la possibilità di utilizzazioni forestali economicamente vantaggiose.

Per la quantificazione del combustibile legnoso disponibile si è fatto ricorso ai dati contenuti nei **Piani di Assestamento Forestale (PAF)** delle proprietà comunali dell'area di studio.
Successivamente si potrà anche prospettare l'impiego di residui di lavorazione eventualmente disponibili presso le industrie di lavorazione legname presenti nella zona, che attualmente conferisco i propri scarti al Teleriscaldamento di Tirano e Sondalo, e che quindi non sono stati considerati come disponibili ai fini del seguente studio.
Per la quantificazione della biomassa disponibile ai fini energetici si procederà quindi come previsto nel modello logico enunciato nel **capitolo 5.4,** attraverso l'elaborazione dei seguenti documenti:

- **CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELL'ATTITUDINE ECOLOGICA;**
- **CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DEL TIPO DI GOVERNO DEL BOSCO;**
- **CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE SULLA BASE DELLA RETE STRADALE E DELLA ACCESSIBILITÀ;**
- **CARTA DELLA DISPONIBILITÀ REALE DI BIOMASSA.**

7.1 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELL'ATTITUDINE ECOLOGICA

L'utilizzazione forestale, intesa come il prelievo eseguito secondo adeguati criteri selvicolturali di soggetti arborei in soprassuoli maturi, con tassi di utilizzazione e metodi di trattamento individuati dagli strumenti di pianificazione forestale, rappresenta un'azione necessaria per una corretta gestione dei boschi.

Nel PAF è previsto l'entità del prelievo (o **ripresa**) di biomassa (in m^3/anno) per ogni particella forestale ad attitudine ecologica **produttiva**, la cui quantità massima è indicata dal ***piano dei tagli.***

Con il sistema di lavoro tradizionale, la pianta viene sramata e cimata direttamente sul letto di caduta e la ramaglia e i cimali vengono usualmente abbandonati in bosco, in quanto a oggi non esiste un mercato che ne giustifichi il costo di concentramento ed esbosco, mentre il tronco è per la maggior parte destinato alle segherie per la trasformazione in assortimenti commerciali.

In **tabella 7.1** si riportano i dati storici relativi alle utilizzazioni dal 1936 al 2000; dall'analisi di tali dati si evince che il patrimonio forestale comunale non è stato gestito correttamente.

Infatti si è passati dal periodo 1936-1958 in cui le riprese erano eccessivamente alte, agli ultimi anni (dal 1969 ad oggi) in cui le riprese sono state al di sotto della potenzialità del bosco.

Tabella 7.1 – Comune di Grosio: utilizzazioni forestali [Fonte: Comunità montana Valtellina di Tirano, "Piano di Assestamento Forestale del Comune di Grosio, 2005-2019" e successive elaborazioni]

PERIODO	ANNI	MASSA LORDA m^3	MASSA LORDA ANNUA MEDIA m^3/anno
1936-1938	3	9.797	3.266
1939-1948	10	26.059	2.606
1949-1958	10	21.750	2.175
1959-1968	10	16.577	1.658
1969-1978	10	8.855	886
1979-1981	3	1.385	462
1982-2000	19	9.249	487
TOTALE	**65**	**93.672**	**1.441**

Le problematiche che hanno influenzato maggiormente le utilizzazioni sono da ricondurre agli elevati costi di esbosco e al prezzo del legname periodicamente soggetto a notevoli variazioni che spesso non permette utilizzazioni economicamente vantaggiose.

In questo senso il recupero a scopi energetici di parte delle utilizzazioni può rappresentare il fattore decisivo per l'ottenimento di soprassuoli forestali con valore di mercato superiore ai costi di utilizzo (cioè a *valore di macchiatico* positivo).

Attualmente il prelievo della legna avviene quasi esclusivamente ad opera di ditte boschive private.

Attraverso la metodologia riportata nel **Capitolo 5.4**, siamo in grado di quantificare la biomassa potenzialmente disponibile sul territorio forestale, a partire dal ***piano dei tagli*** previsto per i boschi produttivi.

Per quanto riguarda le previsioni di taglio, in **Tabella 7.2** si riportano le riprese medie effettive nel periodo 2005-2019, con l'indicazione degli anni in cui sono previste nonchè la ripresa totale e media di Piano.

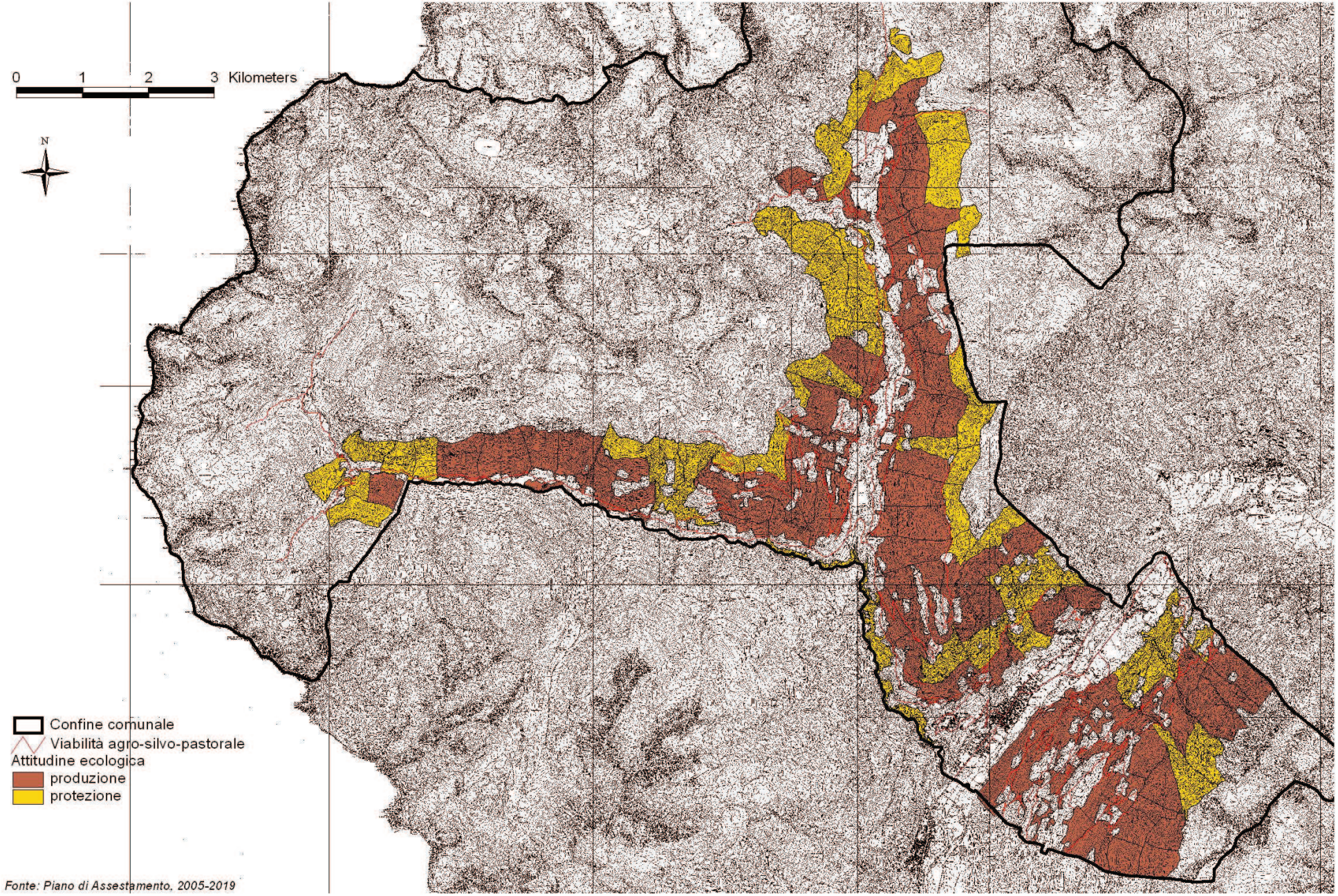
Tabella 7.2 – Comune di Grosio: previsioni di taglio nel periodo 2005-2019 [Fonte: Comunità montana Valtellina di Tirano, "Piano di Assestamento Forestale del Comune di Grosio, 2005-2019" e successive elaborazioni]

ANNO	**RIPRESA PREVISTA**	
	VOLUME CORMOMETRICO	
	NETTO (m^3)	**LORDO** (m^3)
2005	1.440	1.800
2006	1.360	1.700
2008	1.600	2.000
2010	1.360	1.700
2012	1.720	2.150
2013	1.360	1.700
2015	1.440	1.800
2016	1.680	2.100
2018	1.440	1.800
2019	1.280	1.600
TOTALE	**14.680**	**18.350**
MEDIA	**979** m^3/anno	**1.223** m^3/anno

In base alla pianificazione del PAF sappiamo quindi che la ripresa prevista dal 2005 al 2019 ammonta a 18.350 m^3 (Volume cormometrico lordo), pari ad una media annua di **1223 m^3** di biomassa, che momentaneamente supponiamo interamente utilizzabile applicando un indice di utilizzazione pari a 1 (I_{att}=1).

Graficamente, l'area di bosco produttivo potenzialmente adatto ad essere sfruttato anche ai fini energetici costituisce la carta della disponibilità potenziale di biomassa sulla base dell'attitudine ecologica **(tavola 1).**

TAVOLA 1 - Comune di Grosio (SO): Carta della disponibilità potenziale di biomassa in base all'attitudine ecologica del bosco



Fonte: Piano di Assestamento, 2005-2019

7.1.1 MIGLIORAMENTI FORESTALI

Il miglioramento dei popolamenti forestali si attua attraverso l'esecuzione di interventi a carico di formazioni forestali generalmente giovani, allo stadio di forteto, spessina, perticaia e giovane fustaia, che rappresentano le differenti fasi di sviluppo di un bosco governato a fustaia. Questi interventi si attuano principalmente nei boschi produttivi, al fine di ottenere un bosco che a maturità assicuri una buona resa, con piante di buona qualità.
Nello specifico gli interventi previsti si possono raggruppare nelle seguenti categorie:

- *cure colturali al novellame spontaneo:* insieme di interventi colturali effettuati sulla rinnovazione naturale al fine di assicurarne l'insediamento definitivo;

- *interventi colturali nei boschi di alto fusto:* serie di interventi quali *sfolli* nel *novelleto* (indicativamente bosco con altezza dei soggetti inferiore a 3 m) e nella *spessina* (rinnovazione affermata ed altezza degli alberi da 3 a 10 m), *diradamenti* nella *perticaia* (altezza degli alberi da 10 a 18 m) e nella *fustaia* (altezze superiori ai 18 m), tagli fitosanitari e di sgombero di schianti, oltre alle ripuliture e a altri interventi accessori quali potature, spalcature, ecc.

- *rimboschimenti e rinfoltimenti*: piantagione di piantine forestali su superfici nude precedentemente boscate oppure in popolamenti forestali a bassa densità unitaria.

Nella successiva **Tabella 7.3** si riporta la disponibilità di biomassa derivante dalle previste operazioni di miglioramento forestale per gli anni di validità del Piano.
Al riguardo, va precisato che il PAF riporta solamente i dati relativi alle superfici interessate dagli interventi, mentre il dato relativo alla disponibilità di biomassa è stato ricavato ipotizzando un apporto medio di **15 m^3/ha** [4].

Tabella 7.3 – Comune di Grosio: biomassa da operazioni di miglioramento nel periodo 2005-2019 [Fonte: Comunità montana Valtellina di Tirano, "Piano di Assestamento Forestale del Comune di Grosio, 2005-2019" e successive elaborazioni]

ANNO	**SUPERFICIE**	**DISPONIBILITÀ BIOMASSA**
	(ha)	(m^3)
2005	83,5	1.252,5
2006	58	870
2008	84	1.260
2010	75	1.125
2012	61	915
2013	107	1.605
2015	103	1.545
2016	69	1.035
2018	59	885
2019	69	1.035
TOTALE		**11.527,5**
MEDIA ANNUA		**768,5**

Occorre ricordare che i miglioramenti forestali rappresentano degli interventi a macchiatico negativo e quindi eseguiti normalmente solamente a fronte di finanziamenti specifici da parte di Enti Pubblici.

Inoltre la qualità della biomassa derivante da questi interventi risulta piuttosto scarsa, anche per un utilizzo energetico, in quanto ad elevato tenore di umidità e frequentemente attaccata da vari parassiti che ne modificano la struttura primaria.

Tali limitazioni non tolgono comunque la possibilità di cippare questo materiale e di utilizzarlo come bio-combustibile, andando con ciò a limitare i costi netti del miglioramento.

La **disponibilità teorica di biomassa da energia** ritraibile dai miglioramenti forestali è quindi di circa **768 m^3/anno.** Per le suddette ragioni, si è deciso di

considerare separatamente tale quantitativo di biomassa, nella consapevolezza che solo a seguito di un'attivazione continuativa e programmatica della filiera bosco-legno-energia che preveda anche regolari interventi di miglioramento forestale, sarà possibile pianificare l'utilizzo ai fini energetici della biomassa prelevata da tali interventi.

7.2 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DEL TIPO DI GOVERNO DEL BOSCO

Considerando che nei boschi governati a fustaia dalle utilizzazioni forestali si ottiene un legname destinato principalmente alla segagione, lo scarto utilizzabile come fonte energetica (costituito da cimali e ramaglia) ammonta a circa il 20% del totale prelevato. Analiticamente ciò si traduce nell'applicazione di un indice di utilizzazione ai fini energetici pari a 0,20 (**I_{gov}=0,2**) da applicare alla ripresa di ogni particella produttiva.
Perciò dalla elaborazione della **Tabella 7.2** si ottiene che la **disponibilità potenziale di biomassa sulla base del tipo di governo del bosco (Q_{gov})** è di circa **245 m³/anno**, corrispondenti allo scarto tra il volume cormometrico lordo e quello netto (**Tabella 7.4**).

Graficamente si ottiene la carta della disponibilità potenziale di biomassa sulla base del tipo di governo del bosco (**Tavola 2**).

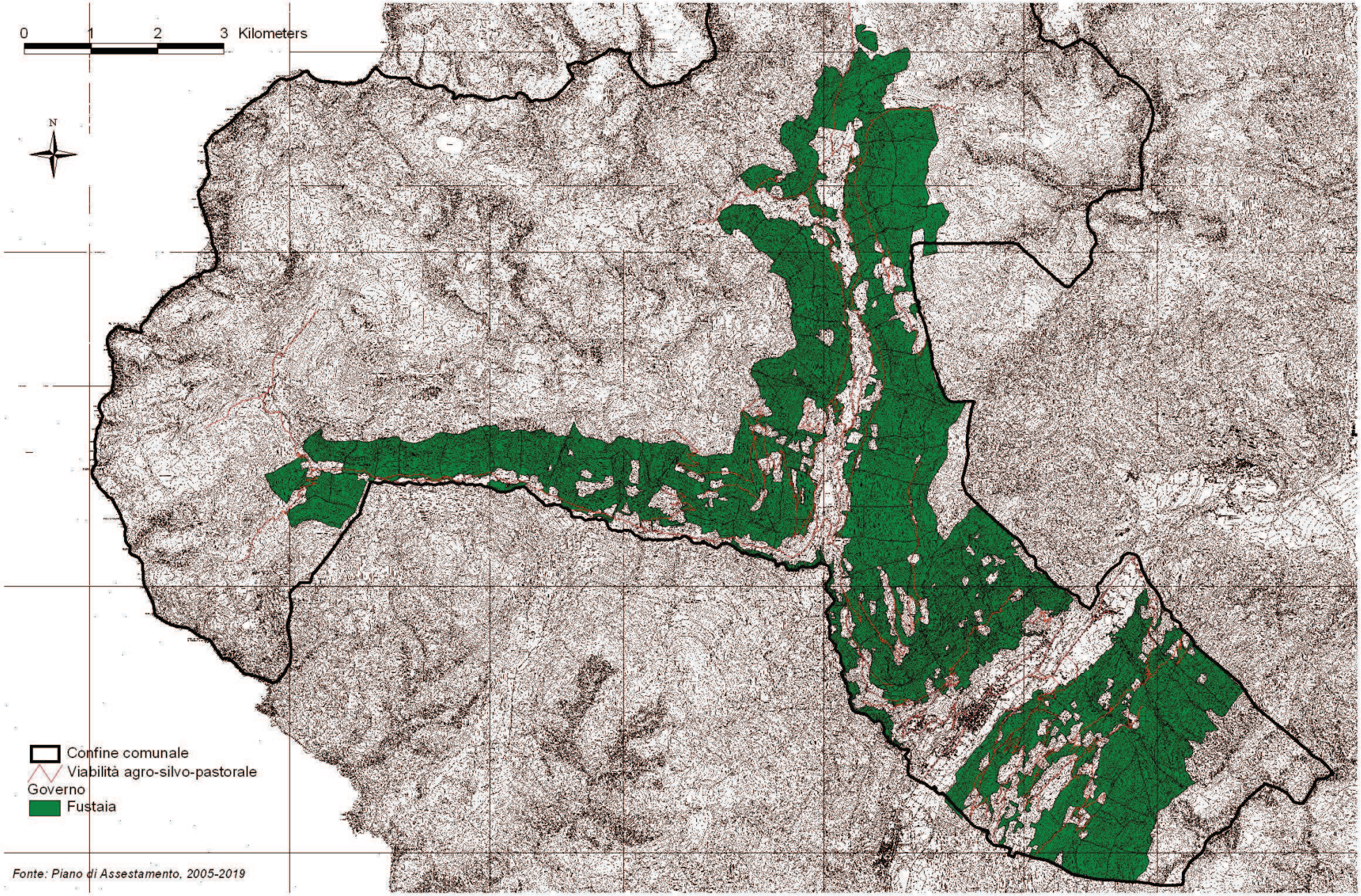
TABELLA 7.4 – Disponibilità potenziale biomassa secondo il tipo di governo del bosco [Fonte: Comunità montana Valtellina di Tirano, "Piano di Assestamento Forestale del Comune di Grosio, 2005-2019" e successive elaborazioni]

ANNO	**RIPRESA PREVISTA**		**DISPONIBILITA BIOMASSA (Q_{pot})**
	VOLUME CORMOMETRICO		
	NETTO (m^3)	**LORDO** (m^3)	**LORDO – NETTO** (m^3)
2005	1.440	1.800	360
2006	1.360	1.700	340
2008	1.600	2.000	400
2010	1.360	1.700	340
2012	1.720	2.150	430
2013	1.360	1.700	340
2015	1.440	1.800	360
2016	1.680	2.100	420
2018	1.440	1.800	360
2019	1.280	1.600	320
TOTALE	**14.680**	**18.350**	**3.670**
MEDIA	**979** m^3/anno	**1.223** m^3/anno	**245** m^3/anno

Questo quantitativo potrà eventualmente aumentare nel caso di utilizzazioni boschive in cui qualità del legname recuperato sia compromessa a causa di danni di vario tipo (biotici o abiotici), rendendolo così non idoneo ad un impiego in falegnameria. A questo proposito, da indagine conoscitiva effettuata presso le principali ditte boschive, emerge che la percentuale reale di scarto nei tagli di conifere nei boschi valtellinesi si avvicina al 30 %.

Inoltre, nel territorio comunale di Grosio, vi sono alcuni ha di bosco sovrastanti l'abitato in zona Rovaschiera attaccati da insetti patogeni che hanno causato il disseccamento di numerose piante. In queste circostanze occorrerà quantificare e qualificare la biomassa utilizzabile ai fini energetici, e su questo dato valutare l'economicità di un intervento di taglio ed esbosco del legname.

TAVOLA 2 - Comune di Grosio (SO): Carta della disponibilità potenziale di biomassa in base al tipo di governo del bosco



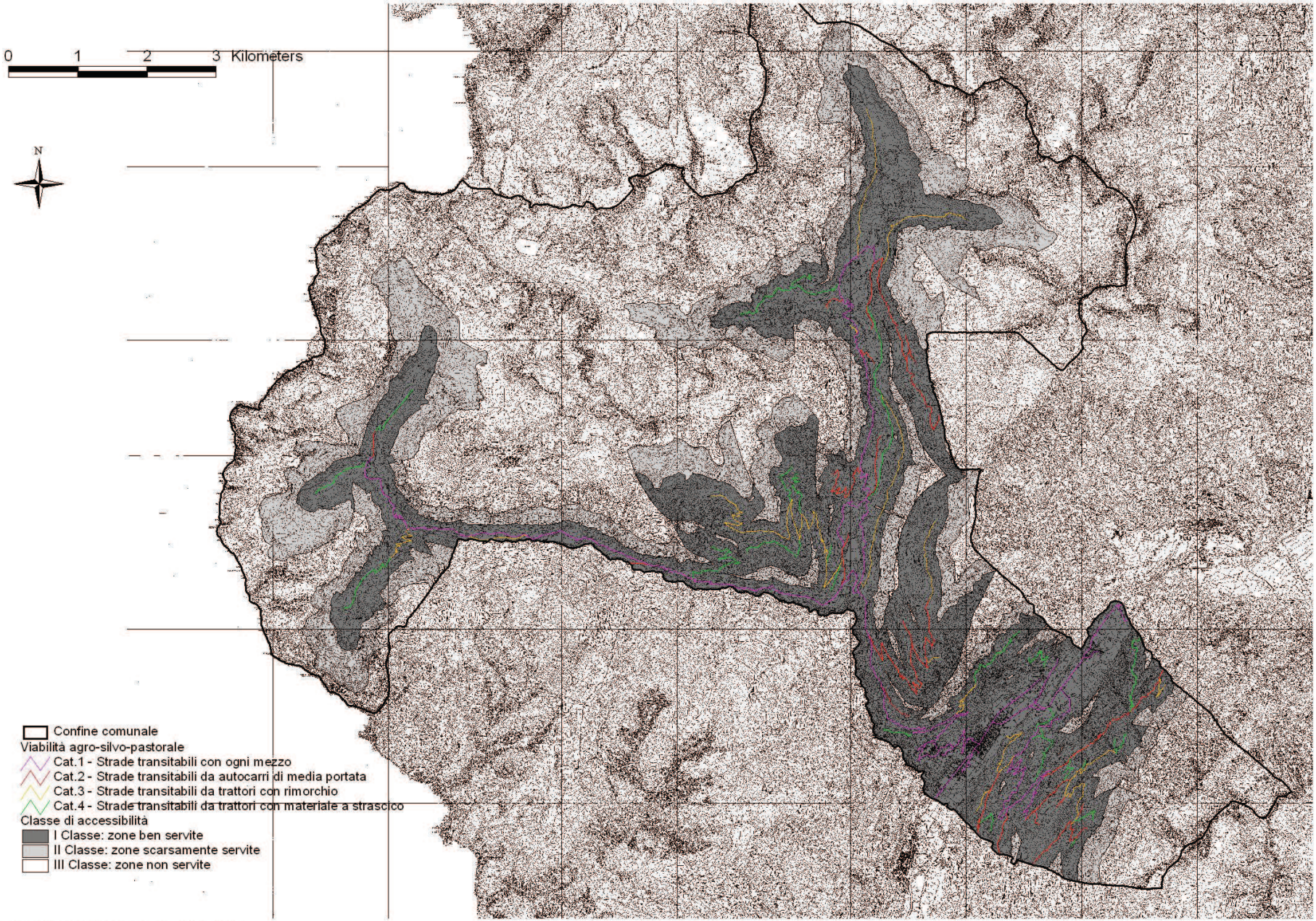
Fonte: Piano di Assestamento, 2005-2019

7.3 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ POTENZIALE DI BIOMASSA SULLA BASE DELLA RETE STRADALE E DELLA ACCESSIBILITÀ DEI BOSCHI

La suddivisione del territorio in **categorie di transitabilità** e in **classi di accessibilità** ci permette di analizzare la possibilità di andare a tagliare in determinate aree, tenendo in considerazione anche la distanza massima di esbosco, cioè la distanza dalla strada oltre la quale non è più economicamente conveniente andare a lavorare. A questo proposito occorre considerare che la **meccanizzazione forestale** adottata dalle ditte boschive operanti sul territorio, per la maggior parte, è di livello intermedio, basato cioè sull'impiego di attrezzature versatili ed economiche quali motoseghe e trattori agricoli opportunamente attrezzati. Inoltre, come accennato nel capitolo riguardante le metodologie di ebosco del legname, sui terreni in forte pendenza, questo è effettuato prevalentemente con sistemi a cavo (teleferiche), soprattutto dove non esiste una viabilità forestale diffusa che consenta l'accesso di trattori. Le classi di accessibilità dei terreni sono state quindi elaborate nel PAF considerando la teleferica come metodo di esbosco più utilizzato in ambiente alpino.

Graficamente si è ottenuta la carta della disponibilità potenziale sulla base della rete stradale e della accessibilità, attraverso l'elaborazione della carta della viabilità contenuta nel PAF e l'analisi spaziale tridimensionale del ctr (**tavola 3**) ed applicando un punteggio sulla base della classificazione assegnata.

TAV. 3 - Comune di Grosio (SO): Carta della disponibilità potenziale di biomassa in base alla rete stradale e all'accesibilità



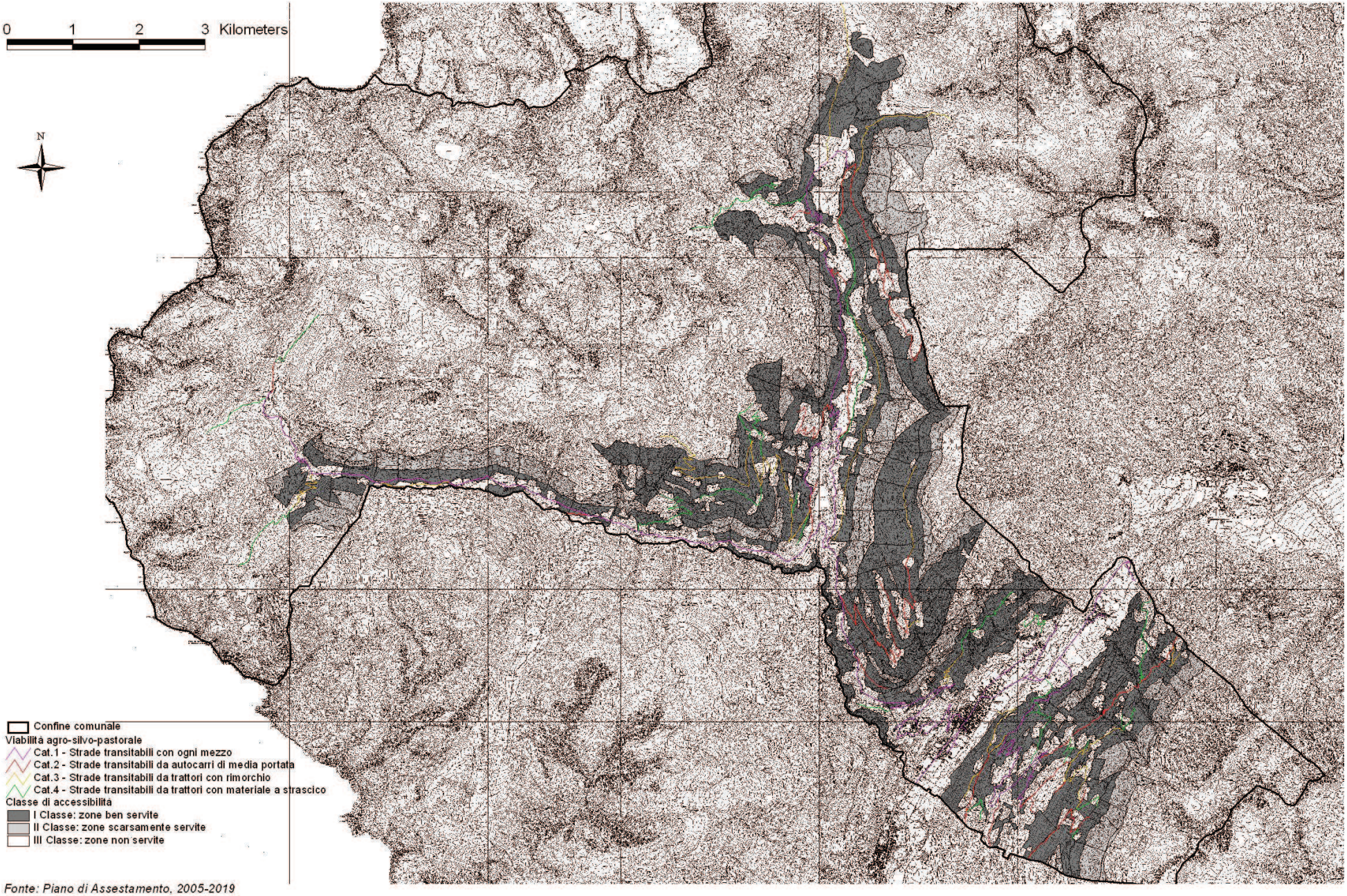
Fonte: Piano di Assestamento, 2005-2019

7.4 CARTA DELLA DISPONIBILITÀ REALE DI BIOMASSA

L'analisi congiunta dei dati precedentemente considerati si traduce in un processo di sovrapposizione tematica tra le carte precedentemente elaborate, da cui si ottiene la carta della disponibilità reale di biomassa, suddivisa in aree a differente disponibilità in base ai criteri selettivi precedentemente considerati (**Tavola 4**).

Tale carta permette quindi di ottenere una nuova classificazione dei boschi in base all'effettiva possibilità di sfruttare la biomassa ai fini energetici. Sulla base di questo risultato si può ora procedere alla successiva stima della biomassa effettivamente disponibile ed alla quantificazione dell'ET generabile.

TAVOLA 4 - Comune di Grosio (SO): Carta della disponibilità reale di biomassa



Fonte: Piano di Assestamento, 2005-2019

8. CALCOLO DELLA QUANTITA' DI BIOMASSA EFFETTIVAMENTE DISPONIBILE

Come precedentemente analizzato nel **Capitolo 7.1**, dal *piano dei tagli* previsto dal PAF, considerando la *ripresa* prevista per le particelle produttive e i relativi *indici di utilizzazione*, si applica la seguente formula per il calcolo della **quantità di biomassa realmente disponibile** (***Q_{rea}***, m^3), prelevabile dalle aree di bosco produttivo evidenziate dalla carta della disponibilità effettiva:

$$Q_{rea} = Ripresa * I_{att} * I_{gov} * I_{tra} * I_{acc}$$

Da tale quantità, dividendo per gli anni di validità del PAF, si ottiene la **quantità di biomassa realmente disponibile media all'anno** (m^3/anno).
Di seguito si riporta l'elenco delle particelle forestali considerate utilizzabili e la relativa quantificazione della biomassa ritraibile (**Tabella 8.1**).

Tabella 8.1 – Quantità di biomassa realmente disponibile (Q_{rea})

N. Particella forestale	RIPRESA (lorda)	INDICI DI UTILIZZAZIONE				Superficie part. Realmente disponibile (%)	Biomassa real. Dispon. (Q_{rea}) (m^3)
		I_{att}	I_{gov}	I_{tra}	I_{acc}		
4	350	1	0,2	1	1	100	70
5	300	1	0,2	1	1	100	60
6b	250	1	0,2	1	1	100	50
8	300	1	0,2	1	1	100	60
9	200	1	0,2	1	1	100	40
10	250	1	0,2	1	1	100	50
12	500	1	0,2	1	1	92	92
13	800	1	0,2	1	1	97	155
14	800	1	0,2	1	1	97	155
14b	600	1	0,2	1	1	93	112
15	900	1	0,2	1	1	91	164
16	900	1	0,2	1	1	97	175
22	500	1	0,2	1	1	43	43
24	600	1	0,2	1	1	100	120
27	450	1	0,2	1	1	100	90
35	350	1	0,2	1	1	0	0
36	250	1	0,2	1	1	85	42
39	400	1	0,2	1	1	43	34
51	200	1	0,2	1	1	74	30
52	200	1	0,2	1	1	72	29
56	300	1	0,2	1	1	100	60
57	400	1	0,2	1	1	100	80
57b	400	1	02	1	1	100	80
59	300	1	0,2	1	1	100	60
5s	300	1	0,2	1	1	100	60
12s	200	1	0,2	1	1	100	40
15s	300	1	0,2	1	1	99	59
16s	600	1	0,2	1	1	100	120
17s	200	1	0,2	1	1	100	40
18s	400	1	0,2	1	1	100	80
21s	700	1	0,2	1	1	100	140
21bs	200	1	0,2	1	1	100	40
25s	700	1	0,2	1	1	96	134

32	450	1	0,2	1	1	100	90
58	300	1	0,2	1	1	100	60
66	300	1	02	1	1	100	60
6s	200	1	0,2	1	1	100	40
8s	200	1	0,2	1	1	100	40
10s	300	1	0,2	1	1	100	60
11s	200	1	0,2	1	1	100	40
61	200	1	0,2	1	1	100	40
22s	500	1	0,2	1	1	70	70
23s	400	1	0,2	1	1	79	63
24s	600	1	0,2	1	1	99	119
24bs	600	1	0,2	1	1	100	120
TOTALE	**18350**						**3366**
MEDIA (m^3/anno)	**1.223**						**224**

In base a quanto elaborato risulta che dal territorio considerato è possibile ritrarre un volume di bio-combustibile proveniente da utilizzazioni forestali di **224 m^3/anno** (**TABELLA 8.2**), pari al 18% della ripresa.

Ai fini energetici, questo quantitativo va a sommarsi al volume di biomassa eventualmente proveniente dai miglioramenti forestali, pari a **768 m^3/anno,** come calcolato nel **Capitolo 7.1.1 "MIGLIORAMENTI FORESTALI".**

Tale quantitativo, peraltro, non rappresenta il massimo volume recuperabile dal taglio della superficie boscata di proprietà comunale, bensì costituisce una stima che tiene in considerazione la reale possibilità di un utilizzo economico e conveniente del territorio forestale attraverso la vendita del legname e, secondariamente, il recupero della biomassa di scarto ai fini energetici.

TABELLA 8.2 – Volume di bio-combustibile ricavabile annualmente dai tagli a maturità del bosco (utilizzazioni forestali) e dai miglioramenti forestali.

PROVENIENZA	**VOLUME DI BIOCOMBUSTIBILE (m^3/anno)**
UTILIZZAZIONI FORESTALI	224
MIGLIORAMENTI FORESTALI	768

9. STIMA DELLA DISPONIBILITÀ DI ENERGIA DA BIOMASSA

Il volume complessivo (m^3/anno) così ricavato deve essere trasformato in massa (t_{tq}/anno), per poi essere utilizzato successivamente nel calcolo dell'energia termica annua potenzialmente producibile dalla biomassa (ET, MWh_t), attraverso il valore del potere calorifico inferiore (pci_w, kWh/kg_{tq}) del legno tal quale.

1) ENERGIA DA BIOMASSA PROVENIENTE DA UTILIZZAZIONI FORESTALI (E_1)

1. **$Q_{rea}1$** (m_{str}/anno) **= Q_{rea}** (m^3/anno) *** coefficente sterico** (m^3/m_{str})
   $Q_{rea}1$ = 224 * 2,5= 560 m_{str}/anno

Ipotizzando di utilizzare cippato di abete e larice con un contenuto idrico pari a w=30%, la densità sterica (ρ_{str}) risulta pari a 250 kg/m_{str}, per cui:

2. **$Q_{rea}2$** (kg_{tq}/anno) **= $Q_{rea}1$** (m_{str} /anno) *** ρ_{str}** (kg_{tq}/m_{str})
   $Q_{rea}2$ = 560 * 250= 140.000 kg_{tq}/anno = 140 t_{tq}/anno

Da questo dato si ricava la <u>quantità di energia termica annua potenzialmente producibile dalla biomassa</u> (ET_{1IN}, MWh_t).
Il valore del pci_w lo si ricava dalla formula: pci_w = [5,14 x (1 – w) – (0,7 x w)] = 3,4 kWh/kg_{tq} = 3,4 MWh/t_{tq}

3. **ET_{1IN} = $Q_{rea}2$** (t_{tq}/anno) *** pci_w** (MWh/t_{tq})
   ET_{1IN} = 140 * 3,4 = 473 MWh

Le tonnellate di petrolio equivalenti (t_{ep}) corrispondenti all'energia fornita dal bio-combustibile risultano, essendo 11,86 MWh/t il PCI del petrolio:

EQ_1= 473 MWh : 11,86 MWh/ t_{ep} = **40 t_{ep}/anno**

Considerando ora un **rendimento** complessivo (η) del generatore di calore alimentato a cippato variabile tra il 60 e il 75 % a seconda delle tecnologie considerate nella realizzazione, l'energia termica annualmente generata risulta essere:

$$\mathbf{ET_{1out} = 473 * (0,6 \div 0,75) = 284 \div 354\ MWh}$$

2) ENERGIA DA BIOMASSA PROVENIENTE DA MIGLIORAMENTI FORESTALI (E_2)

Relativamente alla biomassa che deriva da interventi di miglioramento forestale (Q_{mig}), si ripropone la stessa metodologia di calcolo considerata per $Q_{rea}1$.

1. $\mathbf{Q_{mig}1}$ (m_{str}/anno) = $\mathbf{Q_{mig}}$ (m^3/anno) * **coefficente sterico** (m^3/m_{str})

   $\mathbf{Q_{mig}1 = 768 * 2,5 = 1920\ m_{str}/anno}$

2. $\mathbf{Q_{mig}2}$ (kg_{tq}/anno) = $\mathbf{Q_{mig}1}$ (m_{str}/anno) * $\boldsymbol{\rho_{str}}$ (kg_{tq}/m_{str})

   $\mathbf{Q_{mig}2 = 1920 * 250 = 480.000\ kg_{tq}/anno = 480\ t_{tq}/anno}$

3. $\mathbf{ET_{2IN} = Q_{mig}2}$ (t_{tq}/anno) * $\mathbf{pci_w}$ (MWh/t_{tq})

   $\mathbf{ET_{2IN} = 480 * 3,4 = 1632\ MWh}$

   EQ_2 = 1632 MWh : 11,86 MWh/ t_{ep} = $\mathbf{137\ t_{ep}/anno}$

   $\mathbf{ET_{2out} = 1632 * (0,6 \div 0,75) = 980 \div 1224\ MWh}$

Pertanto, complessivamente, l'energia termica generata annualmente, in funzione del rendimento termico complessivo considerato, risulta pari a:

$$\mathbf{ET_{1out} + ET_{2out} = 1260 \div 1580\ MWh}$$

9.1 STIMA DELLE UTENZE SERVIBILI

Per arrivare alla stima delle utenze servibili, i fabbisogni termici sia per riscaldamento, sia per la produzione di acqua calda sanitaria si possono considerare i seguenti parametri tecnici medi:

- Consumo energetico pro capite: **7000 kWh/persona*anno** [11] (riscaldamento più acqua sanitaria);
- Consumo energetico specifico: **160 kWh/m²*anno** [12] (solo riscaldamento domestico);
- Necessità di potenza: **20 – 40 W/m³** [13]

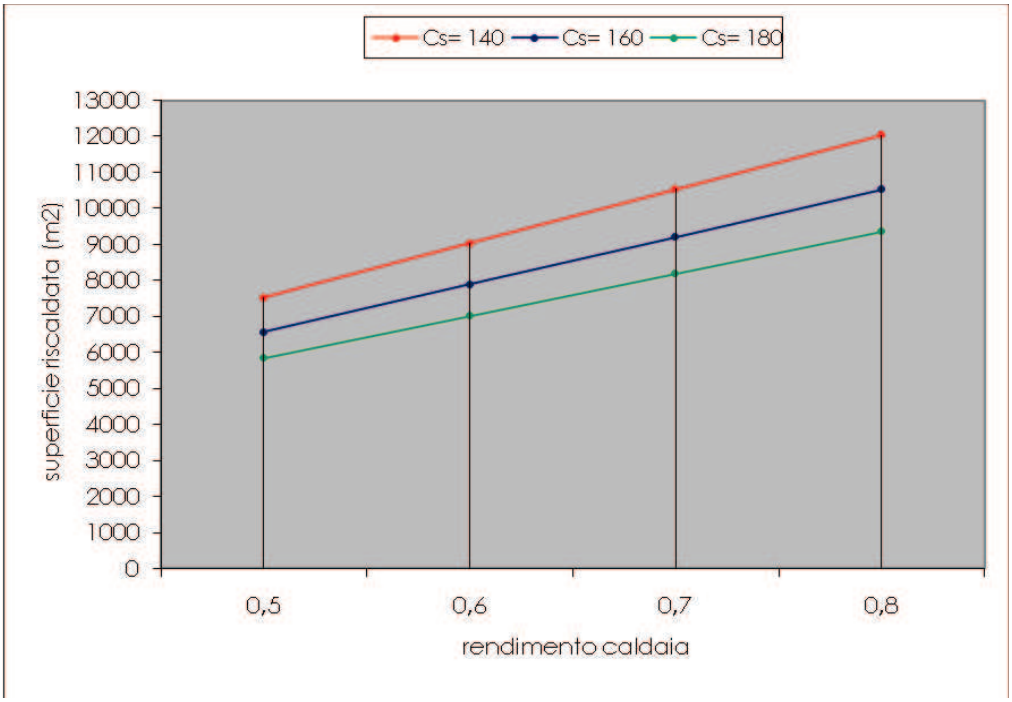
Conseguentemente, possiamo calcolare che, con una disponibilità energetica variabile tra 1260 e 1580 MWh termici all'anno, si possono servire:
- 180 ÷ 225 persone;
- 7.875 ÷ 9.875 m²;
- 29.170 ÷ 36.570 m³ (**Tabella 9.1**).

TABELLA 9.1 – Utenze potenzialmente servibili attraverso il bio-combustibile ricavato dalla filiera bosco-legno-energia.

ENERGIA PRODOTTA $E_{1out} + E_{2out}$ **(kWh/anno)**			**CONSUMI SPECIFICI**			**UTENZE SERVITE**		
			ENERGIA		**POTENZA**			
			kWh/persona* anno	**kWh/m²* anno**	**W/m³**	**persone**	**m²**	**m³**
η	60 %	1.260.000	7.000	160	30	180	7.875	29.160
	75 %	1.580.000				225	9.875	36.570

Considerando come parametro di riferimento il Consumo energetico specifico (Cs, kWh/m²*anno), la variazione delle utenze, in termini di superficie servita (m²) al variare del parametro e del rendimento complessivo del generatore termico, è riportato nel grafico di **Figura 9.1**.

FIGURA 9.1- Variazione della superficie riscaldata (m^2) al variare del rendimento complessivo della caldaia e del consumo energetico specifico (Cs, kWh/m^2*anno)



Dal grafico si evince come, ad esempio, considerando un rendimento del generatore del 70%, passando da un Cs pari a 140 kWh/m^2*anno (consumi medi) ad un Cs di 180 kWh/m^2*anno (consumi alti), la superficie riscaldata varia da 10.525 a 8.186 m^2.

10. COSTI DELL'ENERGIA TERMICA

10.1 STIMA DEI COSTI DELL'ET PRODOTTA CON BIO-COMBUSTIBILE

Il costo del cippato proveniente dalle utilizzazioni forestali è variabile da zona a zona in relazione a:

- *Organizzazione* del cantiere di approvvigionamento e di cippatura della legna;
- *Distanza* di trasporto della legna/cippato;
- *Volumi* di cippato lavorati.

Per quel che riguarda *l'organizzazione* del cantiere, le principali scelte da compiere riguardano "cosa" cippare, "come" cipparlo e "quando" cipparlo. Supponendo di cippare la ramaglia e parte dei tronchi del legname esboscato nelle zone oggetto di studio, il metodo migliore risulta quello di sramare i tronchi e di lasciarli essiccare naturalmente all'imposto, per poi cippare l'intera massa quando ha raggiunto un contenuto di umidità accettabile per massimizzare i rendimenti di conversione della caldaia (w<30%, indicativamente raggiungibile la stagione successiva a quella di taglio).

Ai fini del presente elaborato, è stato considerato un costo di produzione del legno cippato sulla base di un "**cantiere di lavoro tipo**", ovvero sia definito in base alle specifiche caratteristiche morfologiche dei boschi e al tipo di meccanizzazione a cui, di norma, fanno riferimento le imprese boschive professionali del luogo.

10.1.1 IL CANTIERE FORESTALE TIPO

Di seguito si riportano i dati di input e i parametri tecnici impiegati per la definizione del "cantiere forestale tipo" e attraverso i quali è stato possibile ricavare i costi e il valore energetico del cippato a bocca impianto.

- Forma di governo e tipologia forestale: fustaia di conifere;

- Trattamento: taglio raso a striscie;

- Dimensioni delle piante: diametro medio della pianta a 1,3 m > 40 cm (media 65 cm);

- Sistema di lavoro: dell'albero intero, con esbosco degli alberi tal quali con teleferica, sramatura e sezionatura all'imposto mediante motosega;

- Aspetti morfologici: pendenza >40%

- Viabilità: Categoria 3 "Strade transitabili da trattore con rimorchio"

- Composizione del cantiere:

• FASE A: ABBATTIMENTO CON MOTOSEGA

- N° 2 motoseghe (cilindrata 71 cm^3);
- N° 2 operatori;

• FASE B: ESBOSCO CON TELEFERICA DELLA PIANTA INTERA

- teleferica di tipo tradizionale, con argano su slitta e fune portante separata e motore autonomo a scoppio (potenza 67 kW);
- lunghezza della linea di esbosco: 500 m (max 1000 m, variabile in base alla morfologia del terreno e alla superficie di intervento);
- superficie esplorabile: lungh x largh = 500 m x 100 m = 50.000 m^2;
- N° 3 operatori ;
- Tempi medi di montaggio e smontaggio linea: 32h (4 giorni x 8 h/gg), variabili in base alla lunghezza della linea e alle difficoltà di montaggio;

• FASE C: ALLESTIMENTO

- N° 2 motoseghe (cilindrata 71 cm^3)
- N° 2 operatori

• FASE D: CIPPATURA

- N° 1 cippatrice (potenza assorbita 25÷50 kW, azionata dalla pdp del trattore, diametro massimo cippabile 15÷17 cm, produttività 4 t/h)
- N° 3 operatori

• FASE E: TRASPORTO DEL CIPPATO

- N. 3 rimorchi da 10 m^3
- N. 3 trattori agricoli-forestali (potenza 30 kW)
- Distanza di trasporto 10 km, velocità a pieno carico 15 km/h, velocità a vuoto 20 km/h

Operativamente, le fasi di lavoro di abbattimento (A), esbosco (B) e allestimento (C) sono compiute separatamente in tempi diversi dai medesimi addetti e riguardano il totale della massa lavorata (tondame e ramaglia), mentre le fasi di cippatura (D) e di trasporto del materiale cippato (E) avvengono contemporaneamente e sono riferite al solo materiale utilizzato come bio-combustibile (cippato). In questo caso il dimensionamento del cantiere e, quindi, dei relativi costi, è stato valutato affinché non ci fossero tempi morti tra una operazione e l'altra.

Secondo questo cantiere di cippatura e con le modalità di lavoro indicate e per le condizioni locali dell'area oggetto dello studio, il cippato presenta un **costo all'imposto** che varia da **65** a **73 €/t_{tq}**.
I costi specifici sono stati ricavati attraverso un modello di calcolo che ha considerato, oltre alle modalità operative del "cantiere tipo", i costi fissi e variabili delle macchine utilizzate (**Tabella 10.1**).

Tabella 10.1 – Confronti tra i costi del "cantiere tipo" con e senza recupero della biomassa, ripartiti per fase operativa.

	PRODUZIONE TONDAME		**PRODUZIONE TONDAME + CIPPATO**	
VOLUME LAVORATO (m^3)	500		500 + 100	
FASE	**COSTO (€/t_{tq})**			
A	2,24	2,38	1,78	1,9
B	33	37,6	26,4	30,1
C	6,26	6,34	5	5,2
D			31,8	35,66
TOTALI	**41,5**	**46**	**65**	**73**

A questo importo deve essere aggiunto il **costo del trasporto del cippato** nel luogo di stoccaggio presso la centrale termica, che – assunti i parametri (distanza, velocità e volumi di carico) riportati precedentemente – raggiunge valori variabili da **19 a 23 €/t_{tq}.**

A fronte di questi dati , il **costo del kWh termico da biomassa a bocca impianto** varia tra **0,023 ÷ 0,026 €/kWh**, come si evince dai seguenti calcoli:

1) Costo cippato a bocca impianto: 65 ÷ 73 €/t_{tq} + 19 ÷ 23 €/t_{tq}= **84 ÷ 96 €/t_{tq}**
2) PCI del cippato di abete allo stato anidro= 19,32 MJ/kg_{ss}
3) PCI_w del cippato di abete (con contenuto idrico w=30%)= 13,36 MJ/kg_{tq} = 3,71 kWh/ kg_{tq}= 3710 kWh/t_{tq}
4) Costo di 1 kWh termico a bocca impianto= 84 ÷ 96 €/t_{tq} : 3710 kWh/t_{tq}= **0,023 ÷ 0,026 €/kWh**

Va evidenziato che questo valore è puramente indicativo e non rappresenta il valore economico dell'energia prodotta dall'eventuale impianto di calore alimentato a cippato, il cui calcolo deve necessariamente comprendere anche tutti i costi fissi correlati alla realizzazione dell'impianto, le attrezzature e le spese murarie della rete di distribuzione, nonché, come ovvio, i costi

variabili legati alla gestione dell'intero sistema (manutenzioni, manodopera, ricambi, ecc.). Solitamente tutte queste voci di costo sono notevolmente superiori per sistemi alimentati a biomassa rispetto a impianti termici alimentati con combustibile di origine fossile.

10.2 CONFRONTO TRA I COSTI DELL'ENERGIA TERMICA

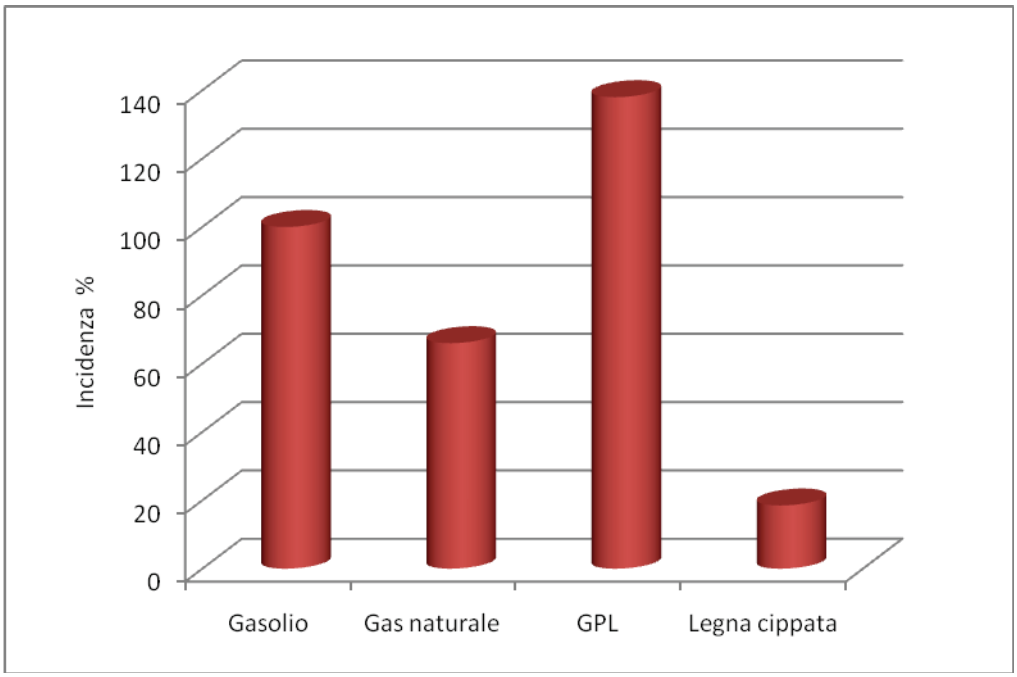
Confrontando il costo del cippato così calcolati, con analogo costo riferito ai combustibili di origine fossile, si quantifica la differenza tra le varie fonti energetiche a bocca impianto (**Tabella 10.2** e **Grafico 10.1**).

TABELLA 10.2 – Equivalente economico dell'energia a bocca impianto riferito a differenti fonti (prezzi riferiti al 2008).

FONTE	**COSTO (C) PREZZO (P)**	**PCI**	**EQUIVALENTE ECONOMICO**	
			€/kWh	**Valore indice (%)**
Gasolio	1,227 €/dm^3 (P)	9,8 kWh/l	0,125	100
Gas naturale	0,816 €/m^3 (P)	9,8 kWh/m^3	0,083	66
Gas di petrolio liquefatto (GPL)	2,036 €/kg (P)	12 kWh/kg	0,170	138
Legna cippata	84 ÷ 96 €/t_{tq} (C)	3710 kWh/t_{tq}*	0,023 ÷ 0,026	16 - 21

Note:(*) Contenuto idrico w=30 %

GRAFICO 10.1 – Comparazione degli equivalenti economici delle differenti fonti riferiti al gasolio.



Relativamente alla **Tabella 10.1**, è importante rilevare la differenza tra prezzo, cioè importo comprensivo anche del guadagno, e costo che, invece, considera le sole spese di produzione del bene. Nella fattispecie, cioè nella gestione di una filiera energetica interamente sostenuta da una pubblica amministrazione per finalità pubbliche (riscaldamento di spazi collettivi e/o della comunità), il costo di produzione della legna cippata è giustificato che sia comparato al prezzo di acquisto dei combustibili ordinari.

11. CONCLUSIONI

La produzione di calore attraverso fonti di energia rinnovabili, e in particolare attraverso la biomassa legnosa, sta prendendo piede anche in Italia. Questo sistema si basa sull'utilizzo di caldaie a cippato tecnicamente affidabili, energeticamente all'avanguardia e rispettose dell'ambiente.

L'abbondanza di legna presente su scala locale garantisce sicurezza di approvvigionamento, prezzo stabile e, quindi, una maggiore indipendenza energetica. Condizione indispensabile è il coinvolgimento dei diversi attori radicati nel territorio (pubblico, fornitori di materia prima, progettisti, gestori) per la creazione di una filiera a partecipazione diretta. In questo modo è possibile realizzare un'attività economicamente vantaggiosa che aggiunge lavoro e valore al territorio.

L'utilizzo della biomassa forestale come bio-combustibile deve quindi favorire lo sviluppo di un approvvigionamento di **biomassa locale**, in grado di soddisfare i fabbisogni termici e, contestualmente, offrire funzioni alternative al settore agro-forestale, nel pieno rispetto di **multifunzionalità** propugnata dalle nuove politiche agricole comunitarie. Queste politiche tendono ad incentivare la promozione e lo sviluppo delle colture energetiche, trovando attuazione nel **Piano di Sviluppo Rurale** della Regione Lombardia.

L'obbiettivo del presente Elaborato Finale consiste nel valutare le reali potenzialità di attivazione della filiera legno-energia in un Comune montano della Provincia di Sondrio, il territorio comunale di Grosio, attraverso l'analisi della **disponibilità locale di biomassa** legnosa forestale e dell'organizzazione della fase di raccolta di tale materiale.

Ciò ha portato alla creazione di un **modello logico** che, attraverso l'introduzione di elementi discriminati quali **strade**, **tipologie forestali**, **funzione del bosco**, **costi di produzione del cippato a bocca impianto**, ha permesso di ipotizzare un possibile scenario. Tale modello logico è peraltro riproducibile su qualsiasi altra realtà territoriale, attraverso la variazione degli elementi discriminanti e dei dati di input immessi.

Il modello creato è stato utilizzato nella creazione di **mappe**, che hanno portato - attraverso selezioni successive - all'individuazione di **aree idonee al recupero di biomassa forestale**. E' stata definita in un primo momento la disponibilità potenziale, basandosi sul Piano di Assestamento Forestale e, successivamente la **disponibilità reale** sulla quale sono stati articolati i successivi calcoli di massima riguardanti la potenzialità energetica del territorio.

Il risultati ottenuti consistono, quindi, nella **quantificazione** della biomassa annua realmente ritraibile dai boschi di proprietà dell'Ente Locale, la sua **distribuzione** sul territorio, nonché il suo **costo finale a bocca impianto.**

Tali dati costituiscono le informazioni fondamentali per il dimensionamento di una eventuale futura **rete di teleriscaldamento** al servizio di strutture pubbliche alimentate con biomassa in **circuito corto.**

Le difficoltà maggiori incontrate nella stesura dell'Elaborato sono state causate dall'estrema eterogeneità del territorio oggetto di studio, tali da rendere i risultati raggiunti sicuramente indicativi ma variabili in base ai numerosi dati di input immessi nel modello di analisi.

Complessivamente lo studio può rappresentare un buon punto di partenza per un'analisi ancora più approfondita e, possibilmente, a più ampio respiro territoriale, visto le potenzialità, in termini di filiera bosco-legno-energia, dell'intero territorio provinciale e, più in generale, dell'arco alpino e prealpino.

12. BIBLIOGRAFIA

[1] Comunità Montana Valtellina di Tirano, "Piano di Assestamento della proprietà silvo-pastorale del Comune di Grosio, 2005-2019".

[2] http://www.agricoltura.regione.lombardia.it

[3] Hippoliti G., Piegai F., "Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno", Ed. Compagnia delle Foreste, 2000

[4] Viola F., "Il recupero di biomasse forestali come fonte di energia alternativa da utilizzarsi nei Comuni di montagna attraverso sistemi di combustione e di teleriscaldamento", Tesi di Diploma Universitario in "Valorizzazione del Territorio Montano", Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, A.A.'99/'00.

[5] "Tecniko & Pratiko" supplemento n.1 di "Sherwood", anno 13 n.2 Febbraio 2007, Ed. Compagnia delle Foreste

[6] Romagnoli M., Progetto COFEA "La microfiliera bioenergetica: La materia prima cippato", Università della Tuscia, Ottobre 2006.

[7] Hellrigl B., Grigolato S., Convegno di Studio: "Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale" Progetto Fuoco 2004, Verona, Marzo 2004.

[8] Spinelli R., Magagnotti M., "Grande Progetto di Montagna" Valle Intelvi (Co), Maggio 2008.

[9] Caiaffa, "Sistemi Informativi Geografici", ENEA, 2006.

[10] Manicone A., "Pianificazione fisica del territorio rurale e sviluppo delle coltivazioni energetiche. Una applicazione alla provincia di Pavia", tesi di diploma universitario in Agrotecnologie per l'ambiente e il territorio, Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, A.A.'06/'07.

[11] Recchia L., "Utilizzo di biomassa ligneo-cellulosica quale biocombustibile: aspetti organizzativi, energetici e ambientali", dottorato di ricerca in

Ingegneria agro-forestale, Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Agraria, A.A.'03/'05.

[12] "Primo rapporto sull'energia – edifici pubblici e residenziali", Politecnico di Torino, gruppo di ricerca TEBE, Com. di Livorno Ferraris, Dicembre 2007.

[13] Fiala M., Uso delle risorse energetiche in agricoltura, didattica online, Università degli Studi di Milano, A.A. 2006-2007.

ALLEGATI

ALLEGATO 1: PSR 2007/2013 - REGIONE LOMBARDIA

Il Programma di Sviluppo Rurale 2007/2013 è lo strumento con cui sono stati fissati gli interventi di sostegno al settore agricolo lombardo nel medio e lungo termine.
Esso si realizza attraverso **quattro Assi di intervento (Tabella A1.1)** con i quali vengono utilizzate le risorse economiche messe a disposizione.

Tabella A1.1 – Assi di Intervento previsti nei PSR 2007-2013 [Fonte: [2]]

ASSE	**INTERVENTO**	**RISORSE** (milioni di Euro)
I	Competitività	292
II	Miglioramento dell'ambiente	465
III	Diversificazione	80
IV (Leader)	Occupazione, diversificazione	36

All'interno degli Assi sono state attivate **22 diverse misure di intervento** applicate in funzione delle caratteristiche geografiche, strutturali e tipologiche dei territori regionali. In totale le risorse economiche del PSR ammontano a 900 milioni di Euro.
All'interno dell'Asse III, è compresa la **misura 311 "Diversificazione verso attività non agricole",** la quale prevede aiuti a favore di interventi volti alla produzione di energia da fonti rinnovabili, per un totale di **53 milioni di Euro** di risorse.
Con tale misura, sono ammissibili investimenti per:

- la realizzazione di impianti fino ad 1 MW;

- l'acquisto di attrezzatura, servizi e macchine funzionali alla gestione di impianti per la produzione di energia a favore di utenze locali.

E' importante sottolineare che l'accessibilità a questi fondi è e sarà sempre più subordinata alla realizzazione di una filiera corta (in cui la distanza tra il luogo di approvvigionamento della biomassa e la sua trasformazione in energia non distano più di determinati km), in modo da favorire realmente lo sviluppo sostenibile locale di territori svantaggiati economicamente.

ALLEGATO 2: PRINCIPALI MACCHINE FORESTALI

La meccanizzazione forestale rappresenta un elemento molto importante della filiera del bosco, in quanto elemento essenziale per la definizione del sistema di lavoro. Da essa dipendono anche le produttività del cantiere e il numero di addetti. I limiti che si incontrano nella diffusione di un grado elevato di meccanizzazione in Italia, specialmente in ambiente alpino, riguardano sia la distribuzione dei boschi, che spesso ricadono in ambienti accidentati e difficili da raggiungere, la viabilità forestale, fondamentale per poter utilizzare molte delle macchine più moderne e produttive ma spesso insufficiente , e l'elevato fabbisogno di investimenti iniziale, che difficilmente viene affrontato da imprese boschive la cui attività forestale risulta spesso solamente stagionale.
Di seguito si è cercato di dare una panoramica delle principali macchine forestali comunemente in uso, senza comunque tralasciare quelle più moderne, delle quali si è cercato di dare una classificazione che comprendesse le maggiori tipologie in uso per ogni tipo di macchina.

2.1 MOTOSEGHE

La motosega è formata da un **motore a scoppio** (ciclo otto) **a due tempi** che muove, attraverso una **frizione centrifuga**, un **rocchetto** dentato il quale trascina una **catena**, dotata di denti taglienti, che scorre lungo una **barra** (**Figura A2.1**).

Figura A2.1 - Motosega di classe media Sthil (Fonte: www.Stihl.it)

Il motore è monocilindrico con cilindrata compresa fra 30 e 130 cm^3, la potenza va da 1,5 a 6,6 kW (2÷9 CV), il regime massimo di giri da 8.000 a 14.000 al minuto. Il motore è alimentato da una **miscela olio/benzina** al 2÷5% mediante un **carburatore a membrana** in grado di funzionare anche in posizione inclinata. Per ridurre l'attrito fra catena e barra, una pompa automatica immette **olio nelle scanalatura** presente sulla barra.
Nella successiva **Tabella A2.1** si riporta una classificazione delle motoseghe.

Tabella A2.1 – Classi di motoseghe, caratteristiche tecniche e prezzi indicativi [Fonte: [3]]

Classe di motoseghe	**Cilindrata cm^3**	**Potenza kW (CV)**	**Lunghezza barra cm**	**Massa kg**	**Prezzo indicativo € (in migliaia)**
Leggere	30÷50	1,5÷2,2 (2÷3)	25÷35	4÷6	0,3÷0,8
Medie	50÷75	2,2÷3,7 (3÷5)	35÷50	6÷8	0,5÷1,1
Pesanti	75÷100	3,7÷5,1 (5÷7)	50÷70	8÷10	0,8÷1,4
Superpesanti	100÷130	5,1÷6,6 (7÷9)	70÷150	10÷16	1,1÷1,9

In base alla classe gli utilizzi sono:

- motoseghe leggere : sfolli, primi diradamenti e sramature in boschi di conifere;

- motoseghe medie : diradamenti e srameture di latifoglie a legno duro, abbattimento di cedui e di conifere adulte;

- motoseghe pesanti e superpesanti : abbattimento e sezionatura di alberi grandi, specialmente se a legno duro.

2.2 TRATTORI

Il trattore frequentemente impiegato nella selvicoltura é di derivazione agricola: permette il recupero di tecnologie obsolete e risulta molto versatile nei diversi compiti cui é destinato.
La tipologia del trattore é principalmente distinguibile in funzione del tipo di contatto con il suolo:

- **trattore a ruote**, solitamente a trazione doppia, é quello largamente più impiegato (**Figura A2.2**).
- **trattore a cingoli**, viene impiegato nei percorsi in pendenza ma é meno versatile del trattore a ruote (non può circolare su strada) ed è molto più lento di quest'ultimo.

La potenza del motore deve essere scelta in funzione del tipo di applicazione, in quanto oltre al trasporto devono essere alimentati gli ausiliari (si pensi che per seghe, scortecciatrici e spaccalegna é sufficiente un motore da 45 kW mentre per sminuzzatrici di medie dimensioni bisogna aumentare la potenza).
L´azionamento delle attrezzature forestali più comuni richiede un impianto idraulico con portata massima di 35 l/min per pressioni di 15 MPa.
Il trattore agricolo deve essere equipaggiato di cabina di sicurezza e telaio antiribaltamento, stante le difficoltà che la maggior parte delle foreste italiane offrono.
Inoltre sono necessarie protezioni frontali per il filtro dell'aria, protezioni del ventre della macchina contro urti verso le asperità del terreno e protezioni per tutti quegli elementi che risultano essere troppo delicati per l´impiego nei boschi (tubazioni del circuito idraulico, fanali, ecc.).

Il **costo** indicativo di un trattore per un livello di meccanizzazione forestale intermedia, oscilla intorno ai 50.000 €, con una potenza di 100 kW.

Figura A2.2 - Trattore a ruote equipaggiato con Harvester

2.3 RIMORCHI

Il rimorchio é un´attrezzatura che permette di trasportare subito su ruote la legna esboscata senza doverla trascinare, consentendo l´arrivo di questa al piazzale di raccolta in condizioni molto più pulite e apprezzabili maggiormente dal compratore. Se le distanze non sono elevate (< 20 km circa), esso può essere utilizzato anche per il trasporto direttamente all'industria di lavorazione.

Lo svantaggio dell'utilizzazione del trattore con rimorchio rispetto al verricello per l'esbosco consiste nel costo superiore e nella necessaria operazione di carico da effettuare per collocarvi la legna. Inoltre l´uso del rimorchio riduce

la manovrabilità all'interno del bosco e richiede spazio necessario all'inversione della marcia.
L'esbosco su rimorchio é vantaggioso quando la distanza d'estrazione supera i 500 m ed il terreno permette il **transito all'interno del bosco.**
Il rimorchio forestale é costituito da un telaio portante, che poggia tramite assali sulle ruote, collegato al trattore tramite un timone. E' importante che il rimorchio abbia l'**asse trazionato**, per superare meglio le asperità del terreno.
Soprattutto sulle alpi vengono impiegati trattori e rimorchi anche per il trasporto di legname, su strade trattorabili troppo strette per gli autocarri. In questo caso i rimorchi sono più grandi e robusti, spesso a doppio assale oscillante, o semirimorchi per trattori portanti, balestrati, equipaggiati con gru idraulica per il carico. Vengono collegati con **trattori di 65-90 kW (90-120 CV)** di potenza, **caricano da 5 a 10 m³**. Con questo tipo di trasporto si fanno **6-8 viaggi al giorno** su distanze di **2-4 km, 3-4 viaggi** su distanze di **6-8 km**.
Un´alternativa interessante al rimorchio é rappresentata dalla *gabbia*, un pianale montato direttamente sul trattore e non su una struttura separata.

Gru idraulica

I rimorchi possono essere dotati di una gru a braccio idraulico **(Figura A2.3)** che permette di sollevare il legname e di essere impiegata nella maniera più versatile possibile mantenendo una buona precisione nello svolgimento delle operazioni.
La gru idraulica é costituita da un basamento, da una colonna girevole, da due sezioni articolate, da un rotore e da un organo di presa.
I principali tipi di caricatori a braccio idraulico sono da ricercare nelle seguenti tipologie:

- semovente: da utilizzare per piazzali molto vasti e diversi assortimenti;
- montato sul telaio rimorchiabile: economico ma limitato nella mobilitá;
- montato su trattore agricolo o su rimorchio forestale: solitamente il più usato.

Il **costo** indicativo per un rimorchio forestale con gru si aggira intorno ai 40.000 €.

Figura A2.3 – Rimorchio forestale dotato di gru idraulica, agganciati al trattore

2.4 MACCHINE OPERATRICI COMBINATE

Esse sono costituite da un mezzo motorizzato semovente, dedicato o costituito da un escavatore o da un trattore agricolo, sul quale sono montate le attrezzature di lavoro, mosse da motore idraulico. A seconda delle operazione che svolgono, prendono il nome di:

- **Abbattitrice (feller):** l'attrezzatura per l'abbattimento, costituita da una cesoia o da una sega a catena, è montata all'estremità di un braccio mobile;
- **Esboscatrice (skidder):** esbosca a semistrascico dopo aver caricato le piante sul suo retrotreno **(Figura A2.4).**
- **Abbattitrice-ammassatrice (feller-buncher):** l'attrezzatura, oltre che abbattere le piante, le può trasportare e depositare ad alcune decine di metri di distanza;

- **Abbattitrice-esboscatrice (feller-skidder)**: afferra le pinte, le recide e le esbosca a semistrascico dopo averle caricate sul suo retrotreno**.**

- **Allestitrice (processore):** srama e seziona le piante alle lunghezze desiderate. Può operare in bosco o sui piazzali ove gli alberi vengono esboscati interi, con tutta la chioma.

- **Macchine di raccolta (harvester):** è una testa abbattitrice (feller) abbinata ad una testa allestitrice (processore), cioè è una macchina in grado di abbatte, sramare, sezionare e concentra il legname in assortimenti commerciali (**Figura A2.5).**

Figura A2.4 - Skidder

Figura A2.5 - Harvester montato su escavatore in fase di abbattimento

Il Processore

Le limitazioni ed i pericoli di allestimento con la motosega hanno determinato lo sviluppo di attrezzature meccaniche, dette processori, capaci di effettuare le operazioni di sramatura e sezionatura.

E' importante sottolineare che l'attivazione di una filiera energetica comporta il combiamento del sistema di lavoro dal metodo tradizionale a quello della pianta intera, con una necessaria ulteriore meccanizzazione delle operazioni forestali, in quanto la sramatura delle piante dovrà essere effettuata all'imposto per la successiva cippatura. Ciò comporta l'esbosco della pianta intera e l'utilizzo del *processore*, capace di sramare e depezzare le piante giunte a bordo strada.

La macchina é composta da un piano di lavoro su cui sono incernierati i **coltelli sramatori** ed una **sega** a catena, il dispositivo é mosso da un sistema di alimentazione che tira il fusto in senso longitudinale (**Figura A2.6**)

I processori per trattore agricolo sono unitá compatte applicabili all´attacco a tre punti ed azionate tramite presa di potenza (**Figura A2.7**)

Il **dispositivo di alimentazione** può essere a rulli, decretando un avanzamento continuo dell´albero, oppure a braccio telescopico consentendo una lavorazione discontinua.

Per l´azionamento dei processori il trattore agricolo deve sviluppare una potenza perlomeno di 50-60 cv, sino ad oltre 100 cv per processori che lavorano diametri di oltre 50cm.

Il **costo** dei processori per trattore agricolo varia dai 50.000 € ai 100.000 €, anche in base al diametro dei fusti lavorati (tra 5 e i 60 cm).

L´allestimento meccanizzato costa molto meno di quello effettuato con la motosega, oltre a risultare più sicuro per gli operatori che non devono venire a contatto con la pianta.

Figura A2.6 - Processore

Figura A2.7 – Processore applicato all'attacco a tre punti e azionato dalla presa di potenza del trattore

2.5 VERRICELLI

I Verricelli utilizzati per il *concentramento* del materiale dal letto di caduta alle vie di esbosco (piste, linee di teleferica) o direttamente alle strade, sono di due tipi:

Verricelli indipendenti, portatili o su telaio a slitta, mossi da motore a scoppio;
Verricelli montati su trattore, montati sull'attacco a tre punti e mossi dalla p.d.p. (**Figura A2.8)**

Figura A2.8 - Verricelli montabili su trattore

I **verricelli indipendenti** vanno ancorati ad un albero e la fune viene generalmente rinviata su una carrucola appesa ad un albero. Sono utilizzati solo in casi particolari, in luoghi non accessibili dai trattori, in quanto difficili da posizionare e spesso poco potenti e troppo lenti.

Più spesso vengono impiegati i **verricelli montati su trattore** che sono più rapidi da posizionare e con potenze maggiori. Operano normalmente in tiro diretto.

Le principali **caratteristiche tecniche e prezzi** delle due tipologie di verricelli sono riportate nella seguente **Tabella A2.2.**

Tabella A2.2 – Caratteristiche tecniche e prezzi dei verricelli [Fonte: [3]]

	V. indipendenti	**V. su trattore**
Alimentazione trazione	Motore a scoppio	p.d.p. trattore
Potenza richiesta	3-7 kW (4-10 CV)	11-44 kW (15-60 CV)
Capacità fune	80-150 m (∅ 6-8mm)	80-150 (∅ 8-16mm)
Velocità fune	0,2-1,0 m/s	0,2-1,3 m/s
Forza max di trazione	1-2 t	3-6 t
Prezzo (€)		5.000

2.6 TELEFERICHE

Le teleferiche forestali sono impianti temporanei, di conseguenza questo sistema di esbosco non è adatto per tagli deboli, per i quali il costo di montaggio e smontaggio delle linee è molto gravoso.
Si distinguono le teleferiche secondo il numero di funi impiegate. I tipi utilizzati nei lavori forestali sono:

- Teleferiche monofuni fisse (fili a sbalzo)
- Teleferiche bi-funi del tipo gru a cavo (dette anche pescanti)

Le teleferiche monofuni fisse sono formate da una fune portante appesa tra la stazione di partenza in alto e di arrivo a valle in cui il carico scende libero, appeso a dei ganci (o a carrucole) e viene fermato da un ammortizzatore (pneumatici o ramaglie sistemati sulla fune). La lunghezza della teleferica va da meno di 100m ad oltre 500m, con pendenza tra il 25 e oltre il 70%.
La teleferica monofune ha la possibilità di caricare in un solo punto di partenza e di scaricare in un altro (arrivo), presupponendo quindi il preventivo concentramento del legname in un punto di carico.
La **produttività** è dell'ordine delle 10-15t di legna da ardere trasportati al giorno da 3-4 operai, tenuto conto anche del montaggio e del concentramento.

Le teleferiche bi-funi consistono in una fune **portante** ed in un'altra **traente**, dalla quale i carichi vengono trattenuti o tirati con l'ausilio di un **verricello** (o **argano**).
In questa categoria si collocano le teleferiche dette "*gru a cavo*", le cui parti costituenti sono, oltre alle due funi portante/traente e al verricello/argano, il **carrello sollevatore** che può caricare e scaricare lungo tutto il percorso (fino a circa 50m ai lati della linea). Esse rappresentano quindi dei mezzi di concentramento e di esbosco veri e propri.

Le gru a cavo di tipo tradizionale **(Figura A2.9)** sono caratterizzate dall'impiego di **argani su telaio a slitta**. Esse vengono utilizzate sia per l'esbosco in salita, con **linee lunghe sino a 1 km**, che per l'esbosco in discesa, la cui lunghezza può arrivare sino a **2 km**.

Per rendere economico il loro impiego è necessario, orientativamente, che con ogni linea si esboschi da **0,5 a 1 m³ di legname per m di lunghezza della linea**.

Figura A2.9 - Gru a cavo di tipo tradizionale, argano.

Per contenere i tempi di montaggio delle linee e quindi far diventare conveniente l'impiego di questi mezzi anche per quantità di legname minori, sono state sviluppate gru a cavo con stazione motrice mobile **(Figura A2.10)**, cioè **argani con torri ripieghevoli montati su trattori, rimorchi o autocarri.** Esse vengono impiegate prevalentemente per l'esbosco in salita su **distanze da 100 a 800 m** e per quantitativi minimi di materiale dell'ordine di **50-100 m³**.

Figura A2.10 - Gru a cavo mobile, argano con torre mobile montato su trattore

La **produttività** varia entro ampi limiti, in funzione dell'intensità del taglio, delle dimensioni del legname esboscato, dei tempi di montaggio delle linee. Indicativamente una squadra di 3-5 teleferisti può esboscare al giorno da 40 a 80 m^3 di legname di grandi dimensioni e dai 15 ai 25 m^3 di legname di piccole dimensioni (esclusi i tempi di montaggio e smontaggio che possono variare da 2-3 giorni di una squadra di 3-5 uomini per linee brevi e semplici, fino a 10-15 giorni per linee lunghe e difficili).

Di seguito (**Tabella A2.3)** si riportano le caratteristiche tecniche e i prezzi indicativi delle teleferiche del tipo gru a cavo.

Tabella A2.3 – Caratteristiche tecniche e prezzi delle teleferiche tipo gru a cavo

	Impianto leggero azionato da trattore e verricello	**Impianto tradizionale con argano e fune portante separata**	**Stazioni motrici mobili medio-leggere (torrette)**	**Stazioni motrici mobili pesanti con due funi traenti**
Tipo di esbosco	In salita su terreni ripidi	In salita e in discesa su terreni ripidi	In salita su terreni ripidi	In salita e in discesa su terreni ripidi
Distanze esbosco max (m)	200	1.000-1.500	100-800	400-800
Carico max trasportabile (kg)		1.500-4.000	1.500-3.500	
Potenza richiesta (kW)	11-44 (15-60 CV)	30-80 (40-110CV)	60-80 (80-110CV)	
Prezzo (€)	6.000-9.000	60.000-130.000	50.000-80.000	100.000-160.000

2.7 SCORTECCIATRICI

La *scortecciatura* può essere eseguita con attrezzi manuali, oppure mediante scortecciatrici meccaniche.

La **scortecciatura con attrezzi manuali**, di solito eseguita direttamente sul letto di caduta, è molto onerosa e si può effettuare o con l'accetta, oppure con appositi scorzatoi. Essa incide dal 50 all'80% sui tempi complessivi di abbattimento e allestimento.

Le **scortecciatrici meccaniche** possono essere classificate in:

- portatili, utilizzabili quindi anche sul letto di caduta;

- mobili, trainate ed azionate da trattori e impiegate agli imposti (**Figura A2.11)**;

- fisse, presso le industrie di lavorazione del legno (**Figura A2.12)**.

Figura A2.11 - Scortecciatrice mobile azionata dalla p.d.p. del trattore

Figura A2.12 - Scortecciatrice fissa impiegata in una segheria.

Le scortecciatrici portatili sono mosse da motori di motosega, oppure possono essere montate all'estremità dell'asta di decespugliatori portatili a zaino.

Le scortecciatrici mobili trainate ed azionate da trattori, oppure dotate di motore proprio e montate su camion, se idonee al trattamento di alberi di grandi dimensioni, sono molto costose e richiedono molto spazio e grandi quantità di legname per un loro economico ammortamento (**Figura A2.13)**.

Figura A2.13 - Scortecciatrice mobile su camion.

Le scortecciatrici fisse vengono impiegate presso le segherie e sono dotate di elevate produttività, spesso superiori alle reali necessità.

2.8 MACCHINE SMINUZZATRICI (CIPPATRICI)

Esistono svariati modelli di cippatrici, che si differenziano per metodo di taglio, dimensione e alimentazione della bocca cippatrice, metodo di trasporto della macchina, alimentazione e potenza del motore.

In base agli **organi taglienti** abbiamo cippatrici:

- a disco: macchine di piccola e media dimensione
- a tamburo: macchine di grosse dimensioni
- a vite senza fine: di dimensioni variabili, meno diffuse

Le dimensioni e l'alimentazione della bocca cippatrice, e quindi anche la potenza del motore, sono direttamente influenzate dal diametro della legna da lavorare.

L'alimentazione può avvenire manualmente se si cippano solamente ramaglia e cimali o tronchi di piccole dimensioni (**Figura A2.14)**, mentre per un utilizzo con diametri maggiori occorre movimetare la legna con gru (**Figura A2.15).**

Figura A2.14 – cippatrice a disco di piccole dimensioni, trasportata dal trattore, ad alimentazione manuale della bocca cippatrice e con organo di taglio azionato dalla P.d.P. del trattore

Figura A2.15 – Cippatrice a tamburo di grosse dimensioni trasportata su autocarro, con alimentazione a gru della bocca cippatrice e dotata di motore a scoppio integrato che aziona gli organi di taglio.

Indicativamente la potenza del motore deve essere di circa 60kw per legna sino a 20cm di diametro e di almeno 130kw per legna fino a 30-35cm, anche in base alla durezza del legno da cippare.

La macchina cippatrice può essere alimentata dalla Presa di Potenza del trattore (pdp) oppure può essere dotata di un proprio motore a benzina o diesel.

La **produttività** delle cippatrici più comuni funzionati a disco, sistemate agli imposti, con squadre di 2-3 operai, varia dalle 25 alle 80 t/giorno, in base a:

- dimensioni e potenza della macchina;
- dimensioni e forma della legna;
- lunghezza delle scaglie prodotte;
- organizzazione del lavoro.

Di seguito (**Tabella A2.4**) si riportano le principali **caratteristiche tecniche,** la **produttività** ed i **prezzi** delle macchine cippatrici, classificate in base alle dimensioni.

Tabella A2.4 – Caratteristiche tecniche e prezzi delle macchine cippatrici [Fonte: [5]]

	Cippatrici piccole	**Cippatrici medie**	**Cippatrici grandi**
Azionamento	Pdp o motore indip.	Pdp o motore indip.	Motore indip.
Potenza (kW)	10-60	50-110	>110
Organo di triturazione	Disco-vite	Disco-tamburo-vite	Tamburo-vite
Diametro max triturabile (cm)	20	30	>30
Produttività max (t/gg)	25	50	>50
Prezzo (€)	4.000-30.000	20.000-60.000	>50.000