MICROWOOD

Prodotti bioenergetici innovativi: definizione di uno Schema di certificazione per il prodotto Cippatino di legno per uso domestico

a cura di
Claudio Fagarazzi



Una opportunitá di sviluppo per le imprese forestali locali

e per la gestione sostemibile del territorio



FONDAZIONE CR FIRENZE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali

MICROWOOD, Prodotti bioenergetici innovativi: definizione di uno Schema di certificazione per il prodotto Cippatino di legno per uso domestico.
Una opportunità di sviluppo per le imprese forestali locali e per la gestione sostenibile del territorio

Report realizzato con il sostegno finanziario ricevuto dal progetto di ricerca “Microwood” finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze con Bando 2020.1437

FONDAZIONE CR FIRENZE

QUADERNI RINNOVABILI – BIOMASSE E TERRITORIO
Collana di report tecnici e divulgativi su risorse rinnovabili, filiere biomasse e gestione sostenibile del territorio

Titolo:
MICROWOOD, Prodotti bioenergetici innovativi: definizione di uno Schema di certificazione per il prodotto Cippatino di legno per uso domestico. Una opportunità di sviluppo per le imprese forestali locali e per la gestione sostenibile del territorio
A cura di:
Prof. Claudio Fagarazzi

Riferimento istituzionale:
Università degli Studi di Firenze (UNIFI) – DAGRI (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali)

Progetto:
Report realizzato nell'ambito del progetto MICROWOOD.

Editore:
Quaderni Rinnovabili – Biomasse e Territorio
Edizione elettronica (PDF), 59 pagine
Versione: 1.0
Anno di pubblicazione: 2024
Luogo: Firenze (Italia)
ISBN 979-12-986129-0-7 (edizione elettronica PDF)

979-12-986129-0-7

Accesso aperto:
Questo report è disponibile gratuitamente in accesso aperto su FLORE (FLOrence REsearch), repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze:
[https://hdl.handle.net/2158/1446121]

Versione di riferimento:
La versione ufficiale e citabile è quella depositata in FLORE al link indicato.

Come citare:
Fagarazzi, C. (a cura di) (2024). MICROWOOD, Prodotti bioenergetici innovativi: definizione di uno Schema di certificazione per il prodotto Cippatino di legno per uso domestico. Quaderni Rinnovabili – Biomasse e Territorio. ISBN 979-12-986129-0-7. Disponibile in: FLORE, [https://hdl.handle.net/2158/1446121].

Diritti:
© 2024 Quaderni Rinnovabili – Biomasse e Territorio.
Il download e la condivisione del file nella sua forma integrale e non modificata sono consentiti, con citazione della fonte. Per riutilizzi diversi (es. estratti, adattamenti, traduzioni) contattare: claudio.fagarazzi@unifi.it.

Responsabilità e disclaimer:
Le informazioni contenute nel presente report hanno finalità tecnico-divulgative. Pur con la massima cura nella redazione, l'editore e il curatore non assumono responsabilità per eventuali errori, omissioni o per l'uso che terzi dovessero fare dei contenuti. Le opinioni espresse sono attribuibili agli autori e non rappresentano necessariamente posizioni ufficiali dell'Università degli Studi di Firenze (UNIFI) – DAGRI.

Impaginazione:
a cura di Claudio Fagarazzi

Contatti:
claudio.fagarazzi@unifi.it

MICROWOOD, Prodotti bioenergetici innovativi: definizione di uno Schema di certificazione per il prodotto Cippatino di legno per uso domestico. Una opportunità di sviluppo per le imprese forestali locali e per la gestione sostenibile del territorio

A cura di:
Prof. Claudio Fagarazzi

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali

Sommario

1 Introduzione 6
2 Obiettivi e attività: 7
3 Azioni realizzate 8
3.1 Laboratorio SILVALAB 8
3.2 Caratterizzazione chimico-fisica del cippatino A1+ (MWC) prodotto da imprese boschive toscane 9
3.3 Produzione di cippatino calibrato CMWC e sua caratterizzazione chimico-fisica 12
3.4 Caratteristiche dei biocombustibili sottoposti a prove di combustione 14
3.5 Test di funzionamento in impianti termici domestici in ambiente controllato per identificare le caratteristiche chimico-fisiche ideali del combustibile 16
3.6 Individuazione del settaggio ottimale della stufa a pellet per garantire il funzionamento con Cippatino Calibrato - CMWC 20
3.7 Comparazione delle caratteristiche dei biocombustibili impiegati e definizione di uno standard qualitativo per il Cippatino Calibrato 23
3.8 Considerazioni operative per l'uso del Cippatino Calibrato CMCW come surrogato del pellet e effetti potenziali sui mercati 25
3.9 Analisi del mercato potenziale del cippatino calibrato CMWC 26
3.9.1 Definizione dei profili dei potenziali consumatori e dei loro bisogni 30
3.9.2 Individuazione degli obbiettivi e delle linee di azioni per i vari profili dei potenziali consumatori 51
3.9.3 Possibili strategie generali di marketing per questo nuovo prodotto 52
4 Conclusioni 53
5 Bibliografia 56
6 Appendice – Dotazioni del laboratorio SILVALAB del DAGRI 59

I contributi sono stati redatti dai seguenti autori

1	Introduzione	Claudio Fagarazzi
2	Obiettivi e attività	Claudio Fagarazzi
3	Azioni realizzate	
3.1	Laboratorio SILVALAB	Andrea Miceli
3.2	Caratterizzazione chimico-fisica del cippatino A1+ (MWC) prodotto da imprese boschive toscane	Andrea Miceli
3.3	Produzione di cippatino calibrato (CMWC) e sua caratterizzazione chimico-fisica	Andrea Miceli
3.4	Caratteristiche dei biocombustibili sottoposti a prove di combustione	Andrea Miceli
3.5	Test di funzionamento in impianti termici domestici in ambiente controllato per identificare le caratteristiche chimico-fisiche ideali del combustibile	Andrea Miceli
3.6	Individuazione del settaggio ottimale della stufa a pellet per garantire il funzionamento con cippatino calibrato (CMWC)	Claudio Fagarazzi
3.7	Comparazione delle caratteristiche dei biocombustibili impiegati e definizione di uno standard qualitativo per il cippatino calibrato	Andrea Miceli
3.8	Considerazioni operative per lâ€™uso del cippatino calibrato (CMWC) come surrogato del pellet ed effetti potenziali sui mercati	Andrea Miceli
3.9	Analisi del mercato potenziale del cippatino calibrato (CMWC)	Claudio Fagarazzi
3.9.1	Definizione dei profili dei potenziali consumatori e dei loro bisogni	Claudio Fagarazzi
3.9.2	Individuazione degli obiettivi e delle linee di azione per i vari profili dei potenziali consumatori	Claudio Fagarazzi
3.9.3	Possibili strategie generali di marketing per questo nuovo prodotto	Claudio Fagarazzi
4	Conclusioni	Claudio Fagarazzi
5	Bibliografia	
6	Appendice: Dotazioni del laboratorio SILVALAB del DAGRI	Andrea Miceli

Gli autori:

Claudio Fagarazzi, Andrea Miceli

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali
Università degli Studi di Firenze
P.le delle Cascine 18, 50144 FIRENZE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali

1 Introduzione

Negli ultimi anni il mercato europeo del pellet e dei combustibili legnosi è stato attraversato da una forte instabilità. L'impennata dei prezzi dei combustibili fossili, la crisi energetica del 2022 e l'interruzione dei flussi di pellet da Russia e Bielorussia hanno generato tensioni senza precedenti sui mercati, con rialzi di prezzo e difficoltà di approvvigionamento in molti Paesi UE (Bioenergy Europe, 2023). In questo contesto, il mercato del pellet ha visto prima un boom di domanda, poi una fase di contrazione e assestamento, mentre i consumatori hanno iniziato a interrogarsi non solo sul costo, ma anche sull'origine, sulla sicurezza di fornitura e sull'impatto ambientale dei combustibili utilizzati.

L'Italia rappresenta un caso emblematico: la domanda interna di pellet è tra le più elevate in Europa, ma solo una quota minoritaria del fabbisogno è coperta dalla produzione nazionale, mentre la gran parte del combustibile è importata dall'estero (Bioenergy Europe, 2023; European Commission, 2024). Allo stesso tempo, una parte significativa delle famiglie italiane continua a utilizzare biomasse legnose per il riscaldamento (legna da ardere, pellet, cippato) in piccoli impianti domestici, con una quota di nuclei che impiegano il pellet in costante crescita nell'ultimo decennio (ISTAT, 2024). Questo quadro evidenzia una contraddizione strutturale: un Paese ricco di superfici forestali e di imprese boschive che, tuttavia, dipende in larga misura da pellet di importazione per alimentare milioni di stufe e caldaie domestiche.

La volatilità dei prezzi, la dipendenza da fornitori esteri e la necessità di ridurre le emissioni climalteranti rendono strategico il rilancio di una filiera locale dei combustibili legnosi, capace di valorizzare il patrimonio forestale nazionale e di offrire ai consumatori un'alternativa affidabile, competitiva e sostenibile rispetto al pellet tradizionale. È in questa prospettiva che si colloca il progetto MICROWOOD – Prodotti bioenergetici innovativi: definizione di uno schema di certificazione per il prodotto cippatino di legno per uso domestico. Una opportunità di sviluppo per le imprese forestali locali e per la gestione sostenibile del territorio.

L'obiettivo principale del progetto è stato quello di verificare la possibilità di sviluppare un nuovo biocombustibile legnoso, surrogato funzionale del pellet, in grado di essere utilizzato nelle stufe e caldaie a pellet già diffuse sul mercato, senza richiedere la sostituzione degli impianti. Si tratta del cippatino calibrato (Calibrated Micro Wood Chips – CMWC), un combustibile ottenuto da legno locale – in particolare latifoglie come il castagno – opportunamente essiccato, calibrato e vagliato, con caratteristiche chimico–fisiche definite e ripetibili. Il progetto nasce quindi dall'esigenza di offrire agli utenti domestici, oggi dipendenti in gran parte da pellet di importazione, un prodotto alternativo basato su biomasse locali, che unisca compatibilità tecnica, convenienza economica e benefici ambientali e territoriali.

Per raggiungere questo obiettivo, il gruppo di ricerca del laboratorio SILVALAB del DAGRI – Università di Firenze ha operato lungo tre direttrici principali:

- Innovazione tecnologica e sperimentale, attraverso il riallestimento del laboratorio, l'analisi chimico–fisica del cippato attualmente in commercio e la progettazione di un sistema brevettato di raffinazione e vagliatura in grado di produrre cippatino "calibrato", privo di elementi troppo lunghi e di eccesso di polveri.
- Validazione tecnico–prestazionale, mediante prove di combustione in ambiente controllato su stufe a pellet tradizionali (non di ultima generazione), per verificare il funzionamento del nuovo combustibile, definire i settaggi ottimali degli impianti e confrontare le prestazioni del CMWC con quelle del pellet certificato ENplus A1.
- Analisi di mercato e marketing strategico, con un'indagine condotta presso la fiera internazionale "Progetto Fuoco" di Verona, finalizzata a comprendere profili, preferenze

e disponibilità all'acquisto dei consumatori, nonché a individuare le leve di comunicazione e posizionamento più efficaci per l'introduzione del prodotto presso gli utilizzatori finali di stufe e caldaie a pellet.

I risultati tecnici dimostrano che il cippatino calibrato CMWC, grazie a una distribuzione granulometrica controllata, a bassi contenuti di umidità e ceneri e a un potere calorifico in linea con i migliori standard di mercato, può essere utilizzato in modo affidabile in stufe a pellet esistenti, a condizione di adottare alcuni adattamenti di settaggio (tempi di alimentazione, tiraggio, eventuali sistemi anti-"ponte" nel serbatoio). Dal punto di vista del mercato, l'indagine mette in luce una forte attenzione dei consumatori al prezzo e all'origine del combustibile, nonché una diffusa disponibilità a sperimentare un prodotto locale, purché sia garantita la compatibilità con l'impianto posseduto e siano chiaramente comunicati i vantaggi economici rispetto al pellet tradizionale.

In questo scenario, il cippatino calibrato CMWC si propone come leva concreta per rilanciare il mercato locale dei combustibili legnosi, riducendo la dipendenza dalle importazioni di pellet, creando nuove opportunità per le imprese forestali e contribuendo alla gestione attiva dei boschi, con ricadute positive sulla prevenzione degli incendi, sulla resilienza ai cambiamenti climatici e sulla stabilità idrogeologica dei territori montani e collinari. Il presente rapporto, concluso nel luglio 2024, illustra gli obiettivi perseguiti, le azioni realizzate, i risultati tecnico–scientifici e le prospettive di sviluppo di questa innovazione di filiera, offrendo uno strumento operativo per decisori pubblici, operatori del settore e imprese interessate a investire in bioenergie sostenibili di origine locale.

2 Obiettivi e attività:

Il progetto MICROWOOD, realizzato dal gruppo di ricerca del laboratorio SILVALAB del DAGRI, ha permesso la realizzazione di una serie di attività:

- Allestimento e aggiornamento del laboratorio SILVALAB del DAGRI presso due locali della palazzina Nord della Scuola di Agraria, situata nel Piazzale delle Cascine 16, Firenze;
- Realizzazione di nuove esercitazioni tecnico/pratiche per gli studenti del corso di Laurea Magistrale di Scienze e Tecnologie dei Sistemi Forestali di Firenze e del corso di Tecnologie e trasformazioni avanzate settore legno arredo edilizia con attività legate a tecniche di campionamento, analisi chimico-fisiche, esempio di redazione di schema di certificazione, ecc., connessi ai biocombustibili di origine forestale (cippato e cippatino di legno)
- Realizzazione di un brevetto nazionale sul sistema di vagliatura meccanica per la produzione di microwood Number 102022000022869 date 07 November 2022
- Realizzare un brevetto internazionale sul sistema di vagliatura meccanica per la produzione di microwood: SCREENING DEVICE FOR THE PRODUCTION OF CALIBRATED WOOD CHIPS FOR USE IN PELLET-FUELLED BOILERS AND STOVES CODE: BPC2822 07 febbraio 2023 (Fagarazzi Claudio et al., 2023)
- Redazione di uno Schema di Certificazione per il cippatino di legno secondo la norma Norma ISO 17225-4
- Miglioramento delle linee produttive del cippatino di legno del Consorzio Forestale dei Produttori di Cippatino e Biomasse di Qualita' con immissione sul mercato di circa 1.200

t/anno, pari al fabbisogno annuo di circa 200 famiglie;

- incremento delle superfici forestali mantenute secondo criteri di "Gestione sostenibile", pari a circa 280 ha (tagli di diradamento in fustaie di pino e castagno su circa 30 ettari/anno)
- Redazione di piano di marketing strategico per il consorzio cippatino per incrementare produzione e commercializzazione fino a circa a 1200 t/anno.
- Ripristino della gestione del territorio su circa 280 ha di bosco e incremento della resilienza boschiva rispetto a eventi climatici estremi e incendi (superfici gestite per la produzione di 1200 t/anno di cippatino di legno).

3 Azioni realizzate

3.1 Laboratorio SILVALAB

Grazie al progetto MICROWOOD è stato possibile ripristinare e potenziare il laboratorio SILVALAB, trasferendolo dall'incubatore di Sesto Fiorentino ai nuovi locali della palazzina Nord della Scuola di Agraria. Il nuovo allestimento ha trasformato SILVALAB in uno spazio integrato dedicato alla caratterizzazione dei biocombustibili legnosi e alla sperimentazione, in condizioni controllate, di stufe e caldaie domestiche.

Il laboratorio è oggi dotato di una linea completa per le analisi chimico-fisiche dei combustibili: sistemi di vagliatura per la determinazione delle classi granulometriche, stufe essiccatrici e bilance di precisione per la misura del contenuto idrico, muffola per la stima del contenuto in ceneri e bomba calorimetrica isoperibolica per la determinazione del potere calorifico inferiore. Questa strumentazione consente di descrivere in modo sistematico le proprietà del cippatino di legno e degli altri biocombustibili, secondo i principali standard tecnici e normativi, fornendo la base conoscitiva necessaria alla definizione di un nuovo standard commerciale di prodotto.

Accanto alle attrezzature da banco, SILVALAB dispone ora di una dotazione specifica per le misure in esterno e per la valutazione delle prestazioni emissive degli impianti: strumenti per il campionamento e l'analisi delle polveri fini (PM_{10}) nei fumi, analizzatori per il monitoraggio dei principali gas di combustione (O_2, CO, NO, SO_2) e un contatore Geiger per l'eventuale valutazione di inquinanti nelle ceneri. Completano il riallestimento una postazione fissa per le prove di combustione, equipaggiata con stufe a pellet di modelli largamente diffusi sul mercato, collegate a canna fumaria e a sistemi di analisi in continuo dei fumi (Fig. 1 e 2).

Nel loro insieme, queste dotazioni rendono il laboratorio SILVALAB un riferimento operativo per la ricerca applicata sui biocombustibili legnosi: un ambiente in cui è possibile seguire l'intero percorso del combustibile, dalla caratterizzazione delle sue proprietà fisiche ed energetiche fino alla verifica del suo comportamento reale negli apparecchi domestici, in termini di efficienza, sicurezza di funzionamento ed emissioni inquinanti. Il nuovo allestimento ha portato anche alla definizione della nuova grafica che identifica tutti i prodotti del laboratorio SILVALAB. (Fig. 3). Il riallestimento del laboratorio ha rappresentato il prerequisito tecnico indispensabile per lo svolgimento delle attività sperimentali previste dal progetto MICROWOOD; l'elenco dettagliato delle attrezzature installate è riportato nell'Appendice 1.



Figure 1 e 2: Postazione prove di combustione e analisi fumi del laboratorio SILVALAB con stufe a pellet modello MCZ Giò e Ravelli Adele7, canna fumaria, strumentazione di analisi fumi (Testo 380)

Figura 3: Nuova grafica e logo del laboratorio SILVALAB del DAGRI

3.2 Caratterizzazione chimico-fisica del cippatino A1+ (MWC) prodotto da imprese boschive toscane

Grazie al nuovo allestimento del Laboratorio SILVALAB, è stato possibile testare alcuni campioni di cippatino di legno già presente sul mercato, il c.d. *cippatino A1+*[1] (mini wood chips - MWC) classificato secondo gli standard proposti dall'Associazione Italiana Energia dal Legno – AIEL.
Per procedere con la caratterizzazione sono stati quindi contattati tre produttori toscani di cippatino A1+ per acquisire campioni dei loro prodotti e verificare il possesso dei requisiti specifici dello standard A1+.
A titolo esemplificativo, riportiamo di seguito una delle caratterizzazioni chimico-fisiche del *cippatino A1+* commercializzato in toscana[2].

[1] Si tratta di una classe di cippato definita dalla certificazione BiomassPlus, che, in conformità alla norma ISO 17225-5, si impegna a garantire e definire la qualità del materiale acquistabile. Il sistema si basa su 3 parametri: tracciabilità e legalità; sostenibilità ambientale; rispetto e mantenimento dei parametri qualitativi del combustibile. Le classi di qualità che il marchio definisce sono, in ordine di qualità decrescente, A1+, A1, A2 e B; di queste, le ultime tre sono definite dalla norma ISO 17225-5, mentre A1+ è una classe di qualità più restrittiva definita solamente dal marchio BiomassPlus, con parametri qualitativi ancora superiori rispetto alla norma ISO 17225-5 (AIEL, 2015).

[2] Per tutelare la privacy del fornitore, l'azienda fornitrice è stata identificata come "Impresa Boschiva 1".

IL BIOCOMBUSTIBILE DELL'IMPRESA BOSCHIVA 1 POSSIEDE LE SEGUENTI CARATTERISTICHE:

Prelievo presso	Impresa Boschiva 1		
Provenienza (taglio)	In prossimità della piattaforma logistica	**Quantità caratterizzata (g)**	5.643
Comune di lavorazione	XXXX	**Origine**	1.1.1 Pianta intera
Data rilievo	03.12.2023	**Cod. campione**	Cod. BL0001A

Tabella 1: Parametri per la classificazione del campione di cippato in base alla norma UNI EN ISO 17225-4:2014.

PARAMETRO	CODICE UNI	Dato rilevato	**Tabella**
Pezzatura (P) (mm) ISO 17827-1	P 16 S (A1+)		**3**
Contenuto idrico (M) (%) ISO 18134-1 ISO 18134-2	M 25	11,94	
Densità apparente (BD) (kg/mc) ISO 17828	BD 250	283	**4**
Potere calorifico inferiore (PCI) (kWh/kg) ISO 18125	Q 4.8	4,87	
Contenuto in cenere (A) (% sul secco) ISO 18122	A 1.0	0,46	

Il campione presenta una Densità Energetica di 1379 kWh/mc

RISULTATI

Sulla base delle suddette caratteristiche il campione è classificabile con qualità B1 in base alla norma UNI EN ISO 17225-4:2014.

CLASSE **A1**

Conclusioni: Dall'esame dei risultati emerge che le pezzature del cippato è conforme alla classificazione ***A1+cippatino (MWC)*** secondo lo standard BiomassPlus. Anche il contenuto in ceneri (0,46%) conferma tale classificazione per cui è plausibile ipotizzare che la materia prima sia rappresentata da polloni interi di castagno senza ramaglia.

Tabella 2: Specifiche per la classificazione del cippato con le relative norme UNI di riferimento per le misurazioni

Classi di proprietà, metodi di analisi	**Unità**	**CLASSI DEL CIPPATO**			
		A		**B**	
		1	**2**	**1**	**2**
Origine e fonti, ISO 17225-1		1.1.1 alberi interi senza radici 1.1.3 tronchi sramati 1.1.4 residui 1.2.1 residui di legno non trattati chimicamente		1.1 foreste, piantagioni e altro legno vergine 1.2.1 residui di legno non trattati chimicamente	1.1 foreste, piantagioni e altro legno vergine 1.2 sottoprodotti e residui della lavorazione del legno 1.3.1 legno usato non trattato chimicamente
Pezzatura, P, ISO 17827-1	mm	Vedi Tabella 3		vedi Tabella 3	
Umidità, M, ISO 18134-1, ISO 18134-2	w-%	M10 ≤ 10 M25 ≤ 25	M35 ≤ 35	da indicare Valore Massimo	
Ceneri, A, ISO 18122	w-% secco	A1.0 ≤ 1,0	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0	
Densità apparente, BD, ISO 17828	kg/m³ come ricevuto	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200 BD250 ≥ 250	BD150 ≥ 150 BD200 ≥ 200 BD250 ≥ 250 BD300 ≥ 300	da indicare il Valore Minimo	
Azoto, N, ISO 16948	w-% secco	non applicabile	non applicabile	N1.0 ≤ 1,0	
Zolfo, S, ISO 16994	w-% secco	non applicabile	non applicabile	S0.1 ≤ 0,1	
Cloro, Cl, ISO 16994	w-% secco	non applicabile	non applicabile	Cl0.05 ≤ 0,05	
Arsenico, As, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 1	
Cadmio, Cd, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 2,0	
Cromo, Cr, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 10	
Rame, Cu, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 10	
Piombo, Pb, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 10	
Mercurio, Hg, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 0,1	
Nichel, Ni, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 10	
Zinco, Zn, ISO 16968	mg/kg secco	non applicabile	non applicabile	≤ 100	
Valore calorifico netto, Q, ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg come ricevuto	da indicare il Valore Minimo		da indicare il Valore Minimo	

Tabella 3: Classi di pezzatura UNI del cippato, secondo norma UNI EN ISO 17225-4
(*) classi granulometriche definite dalla Certificazione Biomass Plus.

Dimensioni (mm), ISO 17827-1					
Classe UNI	Frazione principale (Minimo 60% in peso) (mm)	Frazione fine (<3,15 mm) (% in peso)	Frazione grossolana (mm) (% in peso)	Max lunghezza delle particelle (mm)	Max area della sezione trasversale della frazione grossolana (cm^2)
Cippatino A1+ *(*)*	3,15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 1%	≤ 5% > 16	≤ 31,5	-
P16S	3,15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 15%	≤ 6% > 31,5	≤ 45	< 2 cm^2
P16S (A1+) *(*)*	3,15 ≤ P ≤ 16 mm	≤ 6%	≤ 3% > 31,5	≤ 45	< 2 cm^2
P31,5S	3,15 ≤ P ≤ 31,5 mm	≤ 10%	≤ 6% > 45	≤ 150	< 2 cm^2
P31,5S (A1+) *(*)*	3,15 ≤ P ≤ 31,5 mm	≤ 5%	≤ 3% > 45	≤ 63	< 2 cm^2
P45S	3,15 ≤ P ≤ 45 mm	≤ 10%	≤ 10% > 63	≤ 200	< 2 cm^2
P45S (A1+) *(*)*	3,15 ≤ P ≤ 45 mm	≤ 5%	≤ 5% > 63	≤ 63	< 2 cm^2

Tabella 4: Classi di Densità apparente del cippato secondo norma UNI EN ISO 17225-4

	Densità apparente	Contenuto idrico (%)			
		8-18	18-25	25-35	35-45
Conifere	kg/m^3	160-180	180-200	200-225	225-270
	Classe UNI	**BD 150**	**BD 150**	**BD 200**	**BD 200**
Latifoglie	kg/m^3	225-250	250-280	280-320	320-380
	Classe UNI	**BD 200**	**BD 250**	**BD 250**	**BD 300**

3.3 Produzione di cippatino calibrato CMWC e sua caratterizzazione chimico-fisica

La produzione di una nuova classe di cippatino c.d. *cippatino calibrato–CMWC* nasce dalla consapevolezza che la presenza di scaglie di cippato di lunghezza superiore ai 25 mm nel *cippatino A1+ MWC* può rendere problematico il suo impiego nelle caldaie e stufe alimentate con pellet di legno. Per questo la ricerca si è quindi orientata verso l'individuazione di processi produttivi in grado di garantire caratteristiche fisiche compatibile con i sistemi di alimentazione delle stufe a pellet presenti sul mercato.
La caratterizzazione del *cippatino A1+* presente sul mercato (necessaria per progettare e calibrare il nuovo vaglio raffinatore) ha infatti evidenziato l'esigenza di modificare il processo produttivo, soprattutto per quanto attiene alla fase di cippatura, incrementando la percentuale di materiale con classi dimensionali specifiche ed eliminando la polvere.

Per questo, nel 2019, nell'ambito del PIF – Dall'Appennino al Mare: Energia Toscana al 100% – Sottomisura 16.2 Cippato e Cippatino, sono state condotte prove specifiche per ottimizzare la fase di cippatura in bosco, definendo una configurazione ottimale dei cippatori per garantire la produzione di cippatino di elevata qualità e con idonea distribuzione granulometrica. Nello specifico, nel 2019 vennero effettuate delle prove con tronchi di alberi interi, privi di apparato radicale, di castagno e pino nero (*Castanea sativa* Mill., 1768, e *Pinus nigra* J.F. Arnold, 1785). Il cippatore era di tipo a tamburo marca Gandini CT40-75 azionato da

un trattore T7.210 con presa di forza (PTO) da 154 kW della New Holland. Le prove di cippatura miravano ad ottenere la massima quantità possibile di cippato di classe target (cioè, con dimensioni comprese tra 3,15 mm e 16 mm) (Guerrini et al., 2019).
Nello studio furono testate due velocità di alimentazione (veloce/lenta), due velocità della presa di forza (PTO) del trattore, due specie legnose (castagno e pino nero), due livelli di contenuto idrico (>40% e <40%), due classi di diametro (>25cm e <25cm) e due dimensioni del vaglio interno (25 e 40 mm) (Guerrini et al., 2019).

I risultati, consultabili in Guerrini et al. del 2019, hanno evidenziato che la dimensione del vaglio ha un effetto significativo sulla selezione delle classi dimensionali, mentre la modalità di alimentazione e la specie legnosa influenzano sia la percentuale di materiale nella classe granulometrica target sia nella classe sovradimensionata. Particolare importanza è assunta anche dalla velocità di alimentazione, poiché l'alta velocità di alimentazione riduce drasticamente la percentuale di cippato in classe target (che passa dal 64% al 23%). Anche la specie legnosa (pino o castagno) influenza la distribuzione granulometrica del cippato: il castagno ha infatti prodotto una percentuale più elevata di cippato di classe target rispetto al pino (Guerrini et al., 2019).
Malgrado l'ottimizzazione produttiva della fase di cippatura, che mira a incrementare la percentuale di prodotto in classe target, si rende comunque necessaria l'eliminazione di elementi lunghi e di polvere dal cippatino presenti nella classe target. Per questo, si è quindi proceduto ad una "raffinazione" del *cippatino A1+ (MWC)* così ottenuto. La raffinazione è stata realizzata con un prototipo, di vaglio appositamente costruito per la selezione e produzione di *cippatino calibrato* (CMWC) (Fig. 4). Il prototipo è stato anche oggetto di brevetto accademico NAZIONALE dell'Università degli studi di Firenze (Number *102022000022869* date 07 November 2022) e di successivo brevetto internazionale CODE: *BPC2822* 03 Novembre 2023 (*Screening device for the production of calibrated wood chips for use in pellet-fuelled boilers and stoves*)



Figura 4: prototipo in fase di allestimento

Il prototipo di vaglio permette infatti la rimozione di elementi legnosi di lunghezza superiore ai 2,5 cm, ovvero quelli che, come vedremo in seguito nelle prove di combustione in stufe a pellet, hanno sempre determinato il blocco della coclea di alimentazione (Fig. 5).



Figura 5: Elementi lunghi rimossi con il prototipo di vibrovaglio dal cippatino A1+

3.4 Caratteristiche dei biocombustibili sottoposti a prove di combustione

I biocombustibili sottoposti alle prove di combustione sono rappresentati da:

1. *pellet* prodotti da un'azienda tedesca del settore legno con materia prima costituita da legno di abete bianco (*Abies alba* Mill.);
2. *cippatino A1+* (MWC) prodotto da un'impresa boschive Toscana con tronchi interi derivati da ceduo di castagno (*Castanea sativa* Mill.);
3. *cippatino calibrato* (CMWC) derivato da raffinazione del cippatino A1+ e costituito sempre da materiale derivato da polloni interi di ceduo di castagno (*Castanea sativa* Mill.).

Le principali caratteristiche dei tre biocombustibili sono riportate nella Tabella 5.

Tabella 5: Parametri caratterizzanti i tre biocombustibili sottoposti a prove di combustione

Parametri (valori medi)	Pellet	MWC	CMWC
Contenuto idrico (%)	0,60	8.89	0.00
Densità apparente (Kg/m^3)	700.00	265.00	268.50
Contenuto in ceneri (%)	0.60	0.46	0.42
Potere calorifico inferiore (kWh/kg)	5.00	4.45	4.45
Densità energetica (kW/m^3)	3500	1179.25	1194.83

Nel caso del *pellet*, il contenuto in ceneri (% sul peso secco) è risultato pari allo 0,60%; l'umidità (W) allo 0,6%; il potere calorifico inferiore (Q) a 5,0 kWh/kg, e la densità apparente (BD) a 700 kg/m³ (Tab. 5). Questi valori lo pongono in classe ENplus A1. La distribuzione granulometrica è riportata in figura 6;

Per il *cippatino A1+*, il contenuto in ceneri (in percentuale sul peso secco) è risultato pari allo 0,46%; il contenuto idrico (W) all'8,89%; il potere calorifico inferiore (Q) a 4,45 kWh/kg e la densità apparente (BD) a 265 kg/m³ (Tab. 5). La distribuzione granulometrica dell'MWC è riportata in figura 6. È interessante notare che la distribuzione granulometrica, ottenuta con un setaccio a fori circolari con dimensioni specificate nella ISO 17827-1 non evidenzia la presenza di scaglie di cippato più lunghe di 31,50 mm. Tuttavia, le analisi di laboratorio sui campioni hanno evidenziato che le scaglie di dimensioni superiori o uguali a 31,50 mm rappresentano il 15% in peso.

Infine, il *cippatino calibrato* presenta le seguenti caratteristiche: valore medio del contenuto in ceneri (in percentuale sul peso secco) pari allo 0,42%; umidità (W) pari allo 0,0% (dopo essiccazione); potere calorifico inferiore (Q) pari a 4,45 kWh/kg e densità apparente (BD) pari a 268,5 kg/m³ (Tab. 5). Distribuzione granulometrica riportata in figura 6.

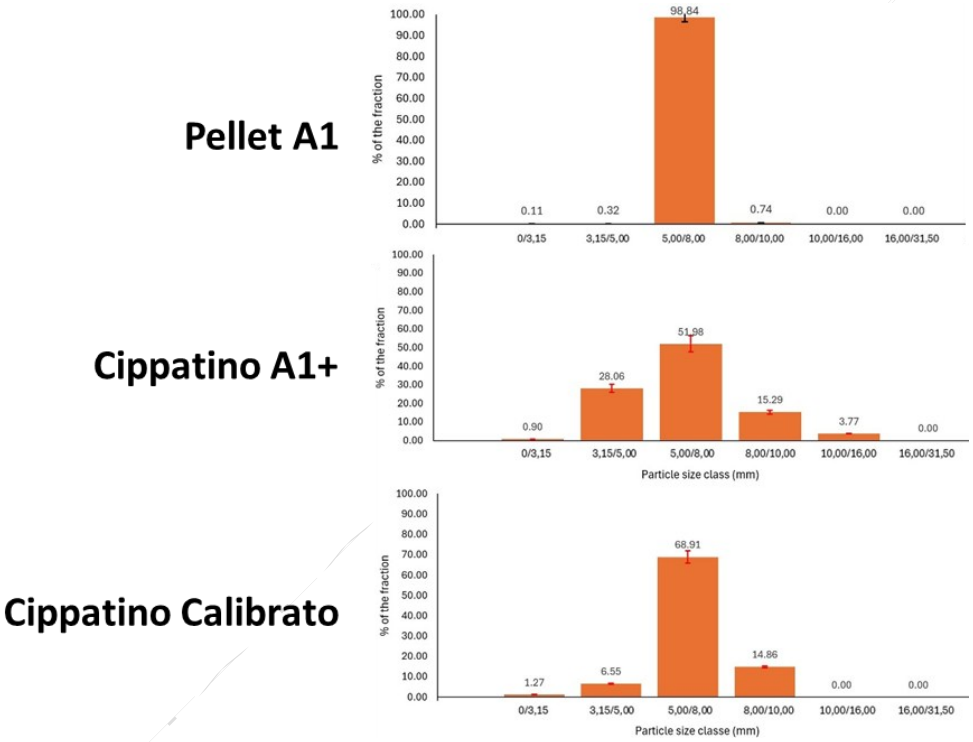


Figura 6: Comparazione distribuzione granulometrica dei tre tipi di combustibile

In figura 7 è possibile avere una comparazione visiva dei tre combustibili. Risulta infatti evidente la maggiore eterogeneità dimensionale del *cippatino A1+* (Fig. 7b) rispetto al *cippatino calibrato* (Fig. 7c).

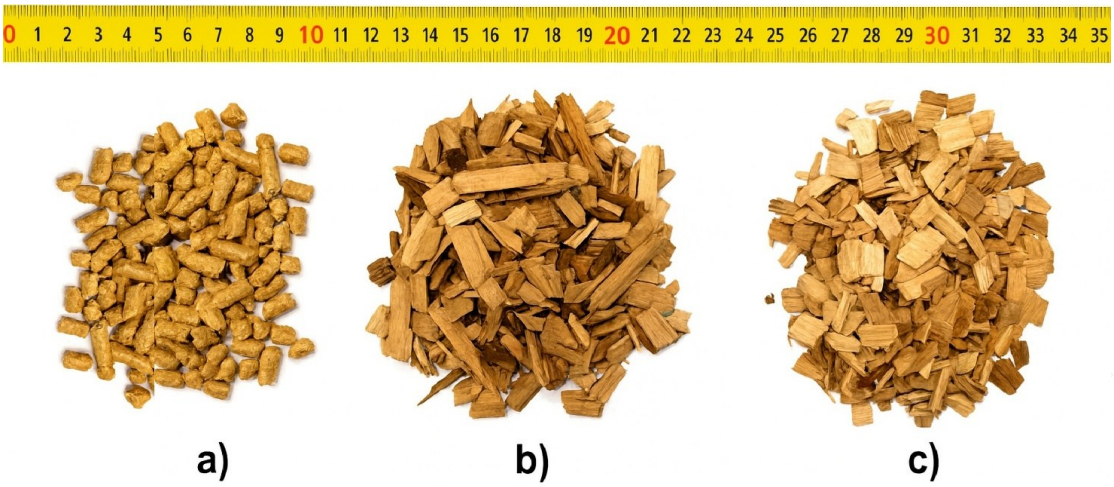


Figura 7: Comparazione visiva tra a) Pellet ENplus A1; b) *Cippatino A1+ (*MWC) (Biomass Plus); *c) Cippatino Calibrato (CMWC) ottenuto nell'ambito del progetto MICROWOOD.*

3.5 Test di funzionamento in impianti termici domestici in ambiente controllato per identificare le caratteristiche chimico-fisiche ideali del combustibile

Le prove di combustione, condotte presso il laboratorio SILVALAB, sono state realizzate su due modelli di stufe, la Gio' della MCZ e la Adele 7 della Ravelli con caratteristiche tecniche non innovative ed estremamente comuni tra gli impianti di riscaldamento domestico europei (Míguez et al., 2012). Per questo, si può ipotizzare che, se verrà confermata la fattibilità dell'impiego dei nuovi biocombustibili (MWC e CMWC) in stufe con tecnologia obsoleta, si potrà ragionevolmente assumere che essi offriranno buone prestazioni anche in stufe dotate di tecnologie più recenti, come bruciatori ad alta efficienza e sistemi automatici di sblocco della coclea di alimentazione.
Nello specifico, le stufe impiegate nei test sono caratterizzate da un bruciatore alimentato a caduta dall'alto (top-feed) (Anca-Couce et al., 2021); questo sistema di alimentazione rappresentava circa il 70% delle stufe a pellet presenti nelle abitazioni europee nel 2012 (Da Lio et al., 2025; Míguez et al., 2012). Inoltre, le stufe sono dotata di sistema di ventilazione forzata che convoglia il flusso d'aria direttamente sul cumulo di combustibile (Fig. 8) (Sungur & Basar, 2023). Nel caso specifico della stufa Giò della MCZ il flusso di aria arriva da sotto il cumulo di combustibile poiché il braciere è dotato di fori sul fondo, mentre la stufa Adele 7 non presenta fori ma ha un braciere basculante per la rimozione della cenere. Le potenze nominali variano da 6,6 kW (Adele 7) a 8,0 kW (Giò), e presentano un sistema automatico di controllo della combustione basato su sonda lambda. Entrambe le stufe adottano una tecnologia ampiamente diffusa, con serbatoio interno e coclea che trasporta il combustibile alla sommità di un condotto, da cui esso cade sul letto di combustione (Fig. 7) (Bioenergy Europe, 2019; Míguez et al., 2012).
Le prove di combustione con *cippatino A1+* (MWC) e *cippatino calibrato* (CMWC) hanno evidenziato quattro criticità operative.

- In primo luogo, si è verificato un fenomeno di *bridging* del combustibile nella tramoggia sopra la coclea, attribuibile alla scarsa scorrevolezza delle scaglie con conseguente

formazione di archi nei materiali sfusi (Cheng et al., 2021); il *bridging* del cippato è documentato sperimentalmente e quantificato tramite prove standardizzate di formazione di archi (Hinterreiter et al., 2012). Per eliminare questo problema, è stato installato all'interno della tramoggia un dispositivo di vibrazione cilindrico da 20 cm, che ha ripristinato un'alimentazione continua.

- In secondo luogo, nelle prove di combustione con *cippatino A1+ (MWC)*, le particelle di dimensioni >31,5 mm bloccavano la coclea, determinando l'arresto della combustione. Purtroppo, non è stato individuato alcun intervento di retrofit praticabile, per cui siamo giunti alla conclusione che questo combustibile non è adatto alle stufe a pellet di vecchia generazione (Wöhler et al., 2017).
- In terzo luogo, la bassa densità energetica del *cippatino calibrato (CMWC)* (circa un terzo rispetto al pellet) causava lo spegnimento della fiamma quando le stufe sono settata con le impostazioni di fabbrica. Un funzionamento stabile è stato invece ottenuto modificando il tempo di carico della coclea e il tiraggio della stufa, a parità di condizioni di umidità del CMWC, che in questo caso è stato impiegato anidro in modo da evidenziare il solo effetto delle regolazioni delle apparecchiature.
- Infine, la quarta criticità si rileva nelle stufe a pellet dotate di braciere con fondo forato e tiraggio verso l'alto. In questo caso, la ventilazione forzata, unita alla bassa densità sterica del cippatino calibrato, provocano una dispersione del combustibile nella camera di combustione. Per ridurre tale fenomeno è stata usata una piastra metallica collocata sul fondo del braciere che devia il flusso di aria e sono stati modificati il tempo di carico della coclea ed il tiraggio. La soluzione consente il funzionamento con CMWC ma i valori di potenza globale (P) (kW) e di rendimento (η) (%) non sono soddisfacenti. Per questo tipo di stufe è necessario un braciere appositamente modificato che richiede una successiva indagine che prenda in considerazione anche lo studio del design di bracieri adattativi da impiegare in stufe con ventilazione forzata dal basso.

Pertanto, le prove di combustione si sono quindi concentrate sull'individuazione delle impostazioni ottimali della stufa Adele 7 della Ravelli (senza ventilazione dal basso), per garantire affidabilità di esercizio, elevata potenza e buone prestazioni con il *cippatino calibrato CMWC*. Su di essa è stata effettuata una prova di combustione con pellet (ripetuta due volte secondo la UNI EN 14785:2006) e quindici prove con CMWC (ciascuna ripetuta due volte secondo la UNI EN 14785:2006). La durata media della prova di combustione con pellet è stata di 9 h, mentre la durata complessiva delle prove con cippatino calibrato CMWC è stata superiore a 155 h senza blocchi. Durante le prove sono stati consumati 170 kg di CMWC.
Nel caso dell'Adele 7, le prove di combustione con pellet sono state condotte in condizioni standard: tempo di carico della coclea = 1,9 s; tiraggio della stufa = 12,2 Pa. Per individuare le impostazioni ottimali delle stufe a pellet alimentate con CMWC, sono stati quindi testati diversi tempi di carico della coclea (s) e diversi valori di tiraggio della stufa (Pa). Per il tempo di carico della coclea sono state selezionate cinque impostazioni, ciascuna differente di 0,7 s. È stato scelto un valore minimo di 3,0 s per mantenere la stufa in funzione, mentre il valore massimo (5,8 s) rappresenta il limite tecnico superiore per il modello di stufa utilizzato. Per il tiraggio della stufa sono stati selezionati tre valori: minimo (9,6 Pa), massimo (15,0 Pa) e medio (12,2 Pa).
Per ciascuna configurazione di settaggi sono state effettuate analisi per monitorare le principali

variabili dipendenti considerate nello studio: rendimento (η), potenza globale (P), temperatura dei fumi (°T), emissioni di particolato (PM) e monossido di carbonio (CO) (g/m³) e concentrazione di ossigeno O_2 (%).
Ogni prova è iniziata a stufa fredda e si è svolta in tre fasi:

1. La fase di accensione (circa 13–14 minuti) che si concludeva quando la stufa entrava in modulazione e la temperatura dei fumi raggiungeva i 150 °C; a quel punto venivano impostati il tempo di carico della coclea e il tiraggio della stufa.
2. La fase di preriscaldamento (circa 60 minuti) in cui si raggiungevano le condizioni di regime, quando la temperatura dei fumi, monitorata con intervalli di 30' manteneva una variazione entro ±5 °C.
3. La terza e ultima fase, corrispondeva alla fase di misurazione (3 h), durante la quale sono stati raccolti tutti i dati necessari alla valutazione delle variabili di interesse.

Il rendimento (η) e la potenza termica globale (P) sono stati calcolati secondo la norma UNI EN 14785:2006. Per CO, PM e O_2, la quantità di emissioni e le relative temperature dei fumi sono state rilevate durante le prove utilizzando un sistema dotato di sonda per la misura del particolato e analizzatore di gas di combustione (analizzatore Testo 350-S in configurazione a due componenti: unità di controllo e analizzatore, e analizzatore di particolato Testo 380 accoppiato con un analizzatore dei gas di scarico Testo 330-2 LL). Le due variabili indipendenti considerate nelle prove di combustione erano il tempo di carico della coclea e il tiraggio della stufa.

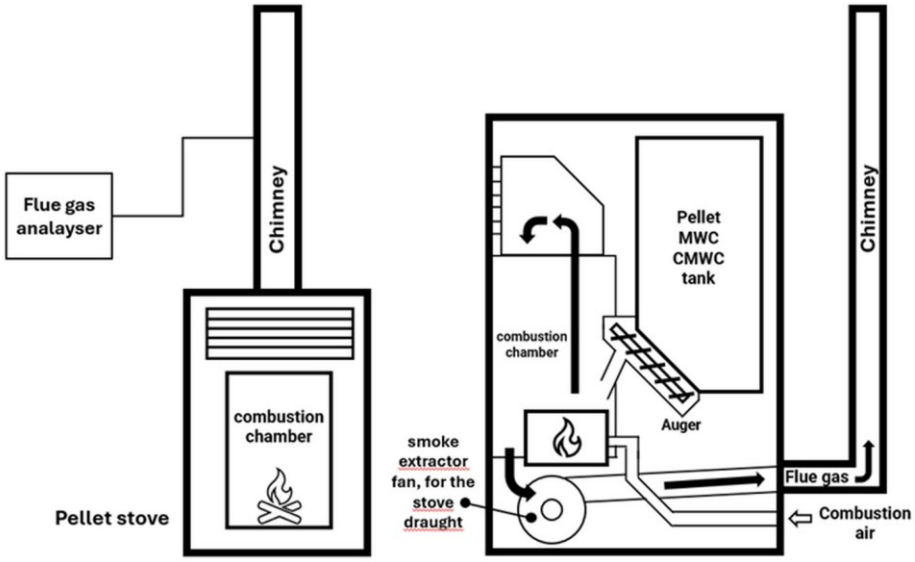


Figura 8 – Diagramma tecnico dei test di combustione con stufe a pellet.

Riassumendo quindi, le variabili di funzionamento sono state:

- tempo di ricarica della coclea (5 livelli)
- quantità di aria aspirata (tiraggio) (3 livelli)

I parametri analizzati sono stati:

- il rendimento (η) (%),
- la potenza globale (P) (kW),
- le emissioni di monossido di carbonio (CO) (g/m³)

- le emissioni di particolato (PM) (g/m³)
- la concentrazione di ossigeno O_2 (%).
- la temperatura dei fumi (°T) 8°C),

Sono stati quindi condotti 16 test (con due repliche, per un totale di 32 prove secondo la norma UNI EN 14785:2006), che hanno incluso 15 test su CMWC e 1 test su pellet. La Tabella 6 riporta i valori delle variabili dipendenti del test con pellet, mentre la Tabella 7 riassume la matrice degli effetti relative ai 15 test di combustione con CMWC e i risultati ottenuti variando, rispettivamente, il tempo di carico della coclea e il tiraggio della stufa.

Tabella 6: Risultati ottenuti con combustione dei pellet impostando i valori medi dei parametri della stufa

Alternative di settaggio con Pellet	Variabili indipendenti		Variabili dipendenti					
	Tempo di carico coclea (sec)	Tiraggio della stufa (Pa)	Tempo di carico coclea (sec)	Tiraggio della stufa (Pa)	Tempo di carico coclea (sec)	Tiraggio della stufa (Pa)	Tempo di carico coclea (sec)	Tiraggio della stufa (Pa)
	1.9	12.2	90.56	4.58	783	13.09	15.5	119.2

Tabella 7: Matrice degli effetti della combustione con CMWC. Risultati ottenuti impostando la stufa con 5 tempi di carico della coclea e 3 livelli di tiraggio dell'aria (*).

Alternative di settaggio con CMWC	Variabili indipendenti		Variabili dipendenti					
	Tempo di carico coclea (sec)	Tiraggio della stufa (Pa)	Rendimento (%)	Potenza (kW)	CO medio (mg/m³)	PM (mg/m³)	O_2 (%)	Temepratura fumi (°C)
1	3.0	9.6	87.32	3.10	4,794	215.38	17.1	100.9
2	3.0	12.2	87.36	3.61	4,891	228.57	16.8	109.6
3	3.0	15.0	83.58	3.13	6,849	362.35	17.6	101.4
4	3.7	9.6	91.14	4.26	2,944	172.86	15.4	116.1
5	3.7	12.2	94.07	3.74	3,753	224.35	16.4	112.9
6	3.7	15.0	84.98	2.99	4,365	234.78	16.4	117.9
7	4.4	9.6	93.41	5.13	1,290	46.20	13.9	123.3
8	4.4	12.2	92.05	4.33	2,303	72.16	15.9	123.1
9	4.4	15.0	85.48	3.61	3,627	111.22	16.9	118.9
10	5.1	9.6	93.38	6.73	1,165	58.75	14.6	124.3
11	5.1	12.2	91.56	6.30	1,773	70.18	15.3	132.6
12	5.1	15.0	90.68	4.42	2,305	83.08	15.8	128.6
13	5.8	9.6	95.09	5.25	853	47.27	14.4	125.4
14	5.8	12.2	91.44	5.24	891	48.24	14.2	132.9
15	5.8	15.0	96.98	5.88	1,979	73.60	16	126.7

(*) Tutti i dati sono stati normalizzati con riferimento al 13% di O_2, in conformità alla norma UNI EN 14785:2006.

3.6 Individuazione del settaggio ottimale della stufa a pellet per garantire il funzionamento con Cippatino Calibrato - CMWC

Per verificare se il tiraggio ed il tempo di carico della coclea influenzano in modo statisticamente significativo ciascuna delle variabili dipendenti (rendimento (η) (%), potenza globale (P) (kW), emissioni di monossido di carbonio (CO) (g/m³), emissioni di particolato (PM) (g/m³), concentrazione di ossigeno O_2 (%), Temperatura fumi (°C)) è stata impiegata un'analisi ANOVA a due vie (Bademlioglu et al., 2020; Chen et al., 2022).
Più precisamente, attraverso l'ANOVA a due vie è stato possibile verificare:

- **Effetto principale del tiraggio**: Se cambiando il tiraggio cambiano, in modo non casuale, i livelli delle 6 variabili dipendenti;
- **Effetto principale del tempo di carico della coclea**: Se cambiando il tempo di carico della coclea cambiano, in modo non casuale, i livelli delle 6 variabili dipendenti;
- **Effetto di Interazione tiraggio × tempo di carico**: Cioè, se l'effetto del tempo di carico dipende dal livello di tiraggio (e viceversa).

Con tale applicazione è stato quindi possibile verificare se "esiste una relazione", ed anche quale fattore conta, quanto conta, e se i due fattori si combinano in modo non additivo.
La significatività statistica è stata valutata tramite separazione delle medie con il test della differenza minima significativa (LSD) di Fisher a $P \leq 0,05$. Le analisi sono state eseguite con il software open source R (versione 3.6.2) (Chen et al., 2022; Keselman et al., 1998; St»hle & Wold, 1989).

*Tabella 8: Risultati dell'ANOVA a due vie per valutare gli effetti del tiraggio della stufa e del tempo di carico della coclea e le loro interazioni su: rendimento, potenza globale, temperatura dei fumi ed emissioni di CO, PM e O_2. La tabella riporta i p-value del test del rapporto F per ciascun fattore. I livelli di significatività statistica sono indicati come segue: *P ⩽ 0,05; **P ⩽ 0,01; ***P ⩽ 0,001.*

Fattori	Tiraggio della stufa (Pa)	Tempo di carico coclea (s)	Interazione
rendimento (η) (%)	0.107	0.122	0.585
potenza globale (P) (kW)	0.0096**	0.00103**	0.038*
Temperatura fumi (°C)	0.826	0.0070**	0.918
Emissioni di monossido di carbonio (CO) (g/m³)	0.0013**	< 0.0010***	0.498
Emissioni di particolato (PM) (g/m³)	0.0076**	< 0.0010***	0.207
Concentrazione di ossigeno O_2 (%)	0.0054**	0.0136*	0.256

Per quanto riguarda il parametro rendimento (η) (%), né il tempo di carico della coclea né il tiraggio della stufa sono risultati significativi ($P > 0,05$). Al contrario, per la potenza globale (P) (kW), il tempo di carico della coclea è risultato significativo ($0,01 < P < 0,05$) e il tiraggio della stufa ha mostrato una significatività moderata ($0,001 < P < 0,01$) (Tab. 8)
Per la Temperatura fumi (°C), è risultato significativo solo il tempo di carico della coclea ($0,001 < P < 0,01$). Per le emissioni, il tempo di carico della coclea è risultato significativo per le emissioni di CO e PM ($P \leq 0,0010$), mentre il tiraggio della stufa ha mostrato una significatività moderata ($0,001 < P < 0,01$). Per quanto riguarda l'O_2, sia il tiraggio della stufa sia il tempo di carico della coclea hanno evidenziato una significatività moderata ($0,001 < P < 0,01$).

Per individuare quale, delle 15 impostazioni di tiraggio & tempo di carico risulta più performante, per il funzionamento della stufa con il nuovo combustibile cippatino calibrato CMWC, si è proceduto allo sviluppo di un processo di supporto decisionale multicriterio (MCDM) basato sulla Compromise Programming CP. Si tratta di un approccio in linea con recenti applicazioni della CP connesse alla ottimizzazione dei sistemi energetici (Kumar & Kumar, 2024; Mena et al., 2023).

La CP è una tecnica di ottimizzazione multi-obiettivo utilizzata per determinare le combinazioni ottimali di più variabili discrete grazie alla minimizzazione della distanza da un punto ideale (Li et al., 2024). Nella CP viene definita una soluzione ideale ipotetica del problema in esame, che corrisponde ad una soluzione "ideale" in cui viene raggiunto l valore massimo di ciascun obiettivo valutato. Di conseguenza, l'*alternativa ideale* è definita dal valore massimo dei fattori nella matrice degli effetti (Li et al., 2024). Nel nostro caso, i valori ideali sono rappresentati dai due valori massimi di rendimento (η) (%) e potenza globale (P) (kW), e dai quattro valori minimi di emissioni di CO, PM, O_2 e temperatura dei fumi. L'obiettivo è determinare la *configurazione che si avvicina maggiormente ai valori ideali dei sei fattori esaminati*. A tal fine, la CP è stata formulata sulla base del concetto di distanza dal punto ideale. Nel caso specifico, la distanza nella CP si basa sulla famiglia delle metriche *Lp* (dette metriche di Minkowski), rappresentate dalla seguente forma generale (Bernetti & Fagarazzi, 2002; Zeleny, 1998):

$$L_j = \left[\sum_{i=1}^{n} w_{ji} \cdot \left((y_i^* - y_{ji})/(y_i^* - y_{*i})\right)^p\right]^{1/p} \quad (1)$$

dove *Lj* è la distanza normalizzata da tutti i punti ideali per l'alternativa *j*; y^*_i *e* $y_{j,i}$ sono rispettivamente il punto ideale per il fattore *i* e il valore del punto per l'alternativa *j* e il fattore *i*; *p* è il valore che governa la distanza geometrica; e w è il fattore di peso (Baja et al., 2007).

In questo studio, la CP è quindi risultata efficace nell'individuazione delle impostazioni ottimali di tempo di carico della coclea e tiraggio della stufa in stufe a pellet alimentate con CMWC. Il valore di *p* è stato impostato pari a 1 (distanza di Manhattan) in modo da aggregare linearmente le deviazioni, garantendo che tutte le differenze contribuiscano in modo proporzionale alla distanza complessiva. In questo modo, l'approccio tratta ogni deviazione allo stesso modo senza penalizzare in maniera sproporzionata le differenze più grandi.

Il processo decisionale per ottimizzare il tiraggio ed il tempo di caricamento coclea della stufa a pellet richiede la strutturazione del modello secondo la logica Multi Criteria Decision Model - MCDM. Nel caso specifico, il metodo CP ed è caratterizzato dai seguenti elementi (Baja et al., 2007):

a) Obiettivo (identificare le impostazioni ottimali di tiraggio e tempo di carico colea)
b) criteri decisionali (rendimento e potenza, da massimizzare, ed emissioni di CO, PM, O_2 e temperatura dei fumi, da minimizzare),
c) alternative (quindici combinazioni di impostazione della stufa),
d) punto ideale di ciascun fattore (Per ciascun criterio sono stati definiti punti ideali e anti-ideali e i dati sono stati normalizzati secondo l'Equazione (1)),
e) peso dei fattori (grado di importanza di ciascun fattore, sono stati assegnati in base alla loro significatività statistica, determinata tramite l'analisi ANOVA) ed analisi gerarchica (Bernetti & Fagarazzi, 2002; Saaty, 1987).

In tabella 9 sono rappresentati i valori ideali e antireali di ciascun fattore (punto d) (Mena et al., 2023).

Tabella 9: Valori ideali e antideali di ciascuna variabile esaminata

	Rendimento (%)	Potenza (kW)	CO medio (mg/m^3)	PM (mg/m^3)	O_2 (%)	Temepratura fumi (°C)
Valore ideale (max)	96.98	6.73	853	46.20	13.9	100.9
Valore antideale (min)	83.58	2.99	6,849	362.35	17.6	132.9

Nella Tabella 10 sono riportati i livelli di significatività degli effetti del tempo di carico della coclea e del tiraggio della stufa, ricavati dai risultati dell'ANOVA, e i corrispondenti pesi. Il tempo di carico della coclea e il tiraggio della stufa non hanno avuto un impatto significativo (P > 0,05) sul rendimento.

Tabella 10: Livello di significatività degli effetti generati dal tempo di carico della coclea e dal tiraggio della stufa in relazione all'analisi della varianza (ANOVA).
Livello di significatività: (n.c.) Non classificabile, (*) Molto basso, (**) Basso, (***) Medio, (****) Alto, (*****) Molto alto. Pesi dei fattori (w_i) definiti con la tecnica del confronto a coppie (matrice di confronto a coppie) e Indice di Consistenza (C.I.) = 0,05.

Fattori	Livello di significatività degli effetti generate dal tempo di carico coclea e tiraggio stufa	Peso dei Fattori (wj)
Efficienza	n.c.	n.c
Potenza Globale	***	0.12
Temperatura fumi	*	0.04
Emissioni di CO	****	0.27
Emissioni di PM	*****	0.50
Emissioni di O_2	***	0.07
		C.I.=0.05

I risultati dell'ANOVA dimostrano che le variazioni nelle impostazioni della stufa non hanno avuto un effetto statisticamente significativo sul rendimento (η) (%). Pertanto, il fattore rendimento è stato escluso dal modello CP nella definizione delle impostazioni ottimali e dalla matrice di confronto a coppie utilizzata per definire i pesi (w_i rendimento = 0).

Nella Tabella 11 sono riportate le distanze normalizzate per ciascun fattore e il corrispondente peso (w_j). **I dati delle quattro alternative con i risultati più promettenti sono evidenziati in grassetto**. In particolare, le alternative **10** e **13** presentano entrambe i valori di distanza L_j più bassi, pari rispettivamente a 0,08 e 0,09, mentre le alternative **7** e **14** mostrano una distanza leggermente più elevata (0,10), indicando comunque una buona fattibilità.

Secondo il modello di valutazione CP, le **impostazioni ottimali per l'impiego del CMWC nelle stufe a pellet** richiedono che il **livello della coclea sia impostato al valore di 5,1 s**, mentre il **tiraggio dovrebbe essere configurato al valore minimo di 9,6 Pa**. L'alternativa **13** mostra valori coerenti con un **tempo di carico della coclea pari a 5,8 s**.

*Tabella 11: Risultati della Compromise Programming (CP) che mostrano le distanze normalizzate (Lj) dalla soluzione ideale e i pesi dei fattori (w_j) per ciascuna configurazione della stufa. Le alternative **10** (L_j = 0,08) e **13** (L_j = 0,09) mostrano le prestazioni migliori, mentre le alternative **7** e **14** risultano anch'esse valide (entrambe L_j = 0,10).* ***Le impostazioni ottimali corrispondono a un tempo di carico della coclea di 5,1 s e a un tiraggio della stufa di 9,6 Pa.***

Alternatives setup for CMWC	Independent variables		Dependent variables						Normalized distance from ideal points for each alternative (*Lj*)
	Auger load time (s)	Stove draught (Pa)	Efficiency (%)	Global power (kW)	CO avg (mg/m³)	PM (mg/m³)	O_2 (%)	Flue gas temperature (°C)	
1	3	9.6	0.72	0.97	0.66	0.54	0.86	-	0.62
2	3	12.2	0.72	0.83	0.67	0.58	0.78	0.27	0.64
3	3	15.0	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.02	0.96
4	3.7	9.6	0.44	0.66	0.35	0.40	0.41	0.48	0.42
5	3.7	12.2	0.22	0.80	0.48	0.56	0.68	0.38	0.57
6	3.7	15.0	0.90	1.00	0.59	0.60	0.68	0.53	0.64
7	**4.4**	**9.6**	**0.27**	**0.43**	**0.07**	**-**	**-**	**0.70**	**0.10**
8	4.4	12.2	0.37	0.64	0.24	0.08	0.54	0.69	0.25
9	4.4	15.0	0.86	0.83	0.46	0.21	0.81	0.56	0.41
10	**5.1**	**9.6**	**0.27**	**-**	**0.05**	**0.04**	**0.19**	**0.73**	**0.08**
11	5.1	12.2	0.40	0.11	0.15	0.08	0.38	0.99	0.16
12	5.1	15.0	0.47	0.62	0.24	0.12	0.51	0.87	0.27
13	**5.8**	**9.6**	**0.14**	**0.40**	**-**	**-**	**0.14**	**0.77**	**0.09**
14	**5.8**	**12.2**	**0.41**	**0.40**	**0.01**	**0.01**	**0.08**	**1.00**	**0.10**
15	5.8	15.0	-	0.23	0.19	0.09	0.57	0.81	0.19
	Factor weight (w_j)		-	*0.12*	*0.27*	*0.50*	*0.07*	*0.04*	

3.7 Comparazione delle caratteristiche dei biocombustibili impiegati e definizione di uno standard qualitativo per il Cippatino Calibrato

Le prove di combustione hanno evidenziato che il cippatino A1+ (MWC) non è utilizzabile nelle stufe a pellet esistenti. Il suo impiego è limitato a nuove tecnologie progettate come sistemi bi-fuel, destinati al consumo sia di pellet, sia di cippatino A1+. Al contrario, il cippatino calibrato (CMWC) è stato utilizzato per 155 ore senza malfunzionamenti e ha mostrato caratteristiche fisiche idonee all'impiego nelle stufe a pellet convenzionali. Di conseguenza, il CMWC si distingue come potenziale surrogato del pellet.

In tabella 12, riportiamo quindi gli standard qualitativi del cippatino calibrato (CMWC), quelli del pellet di alta qualità ENplus A1 (secondo la certificazione ENplus basata su ISO 17225-2) e quelli del cippatino A1+ (MWC) (secondo lo standard nazionale italiano Biomass Plus e la ISO 17225-4) (AIEL, 2015).

Tabella 12: Caratteristiche dei biocombustibili impiegati nei test di combustione

Standard di Qualità		CMWC (cippatino calibrato)	MWC [a] (Cippatino A1+)	Pellet En Plus A1 [b]
	Origine (ISO 17225)	1.1.1 Alberi interi senza radici 1.1.3 Legno vaporizzato 1.2.1 Sottoprodotti e residui del legno non trattati chimicamente	1.1.1 Alberi interi senza radici 1.1.3 Legno vaporizzato 1.1.4 Residui di disboscamento 1.2.1 Sottoprodotti e residui del legno non trattati chimicamente	1.1.3 Legno vaporizzato 1.2.1 Sottoprodotti e residui del legno non trattati chimicamente
Dimensioni Particelle (P)	Min. 60% in peso della frazione principale	3.15 mm≤P≤10 mm	3.15 mm≤P≤16 mm	3.15 mm≤P≤16 mm
	% in peso della frazione fine (<3.15 mm)	≤5 %	≤1 %	≤1 %
	% in peso della frazione grossolana	10 mm<10 %≤16 mm	≤5 %>16 mm	-
	Max. lunghezza particelle	≤25mm	≤31.5mm	3.15<L≤40 [d]
	Spessore	≤5mm	-	-
Contenuto in ceneri (% in peso secco)		≤1.0%	≤1.0%	≤0.7%
Umidità, M [w]		M10≤10 % [e]	M10≤10 %	M10≤10 %
Valore Calorifico Netto Q		Q≥16 MJ/kg Q≥4.5 kWh/kg	Q≥16 MJ/kg Q≥4.5 kWh/kg	Q≥16.3MJ/kg Q≥4.6kWh/kg
Densità sterica, BD		BD≥250 kg/mc	BD150≥150 kg/mc BD200≥200 kg/mc BD250≥250 kg/mc	600 kg/mc≤BD≤750 kg/mc

L'esame della Tabella 12 evidenzia alcune differenze significative tra CMWC e pellet: in primo luogo, la densità apparente, che è circa un terzo di quella dei pellet, e in secondo luogo, la lunghezza delle scaglie, che per il CMWC deve essere inferiore a 25 mm. Inoltre, è presente una maggiore quota di materiale fine (fino al 5%) e la distribuzione granulometrica del CMWC rientra nell'intervallo 3,15–10 mm, significativamente inferiore al limite di 16 mm previsto per i pellet. Passando alla comparazione del CMCW con MWC è possibile rilevare che nel CMCW non sono presenti elementi di lunghezza superiore a 25 mm; inoltre, emerge che la distribuzione granulometrica definita mediante setacci orizzontali (previsti dalla ISO 17225-4 e dallo standard Biomass Plus), presenta delle criticità. I tali setacci non sono infatti in grado di selezionare particelle di legno lunghe e strette (Hartmann et al., 2006). Si tratta di un aspetto qualitativo che invece potrebbe essere migliorato tramite classificazione per immagini (Hartmann et al., 2006).

3.8 Considerazioni operative per l'uso del Cippatino Calibrato CMCW come surrogato del pellet e effetti potenziali sui mercati

I risultati delle prove sperimentali suggeriscono l'uso di CMWC di alta qualità, ovvero prodotto da legno privo di rami e corteccia ed essiccato fino a livelli di umidità simili a quelli dei pellet (Guerrini et al., 2019). Il materiale dovrebbe essere vagliato per rimuovere le polveri e tutte le particelle più lunghe di 25 mm. Inoltre, l'uso del CMWC, e la sua bassa densità apparente, richiede modifiche anche nella logistica e nello stoccaggio del prodotto (Sahoo et al., 2018; Whittaker & Shield, 2017). Lo stoccaggio del CMWC richiede infatti spazi più ampi, chiusi e asciutti rispetto al pellet. Basti pensare che un consumatore che consuma 3 t/anno di pellet ha bisogno di circa 4 m^3 di spazio per stoccare i sacchi di pellet; mentre se decide di convertirsi al CMWC ha bisogno di uno spazio di stoccaggio di almeno 11 m^3 per immagazzinare la stessa massa di combustibile. Questo aspetto incide anche sul trasporto, poiché devono essere movimentati volumi maggiori di materiali.
Oltre a questi aspetti logistici, si rendono poi necessari alcune modifiche ai settaggi delle stufe per garantire il corretto funzionamento dell'impianto termico quando viene alimentato con "cippatino calibrato" CMWC. In particolare:

1. **il tempo di carico della coclea dovrebbe essere almeno tre volte maggiore rispetto a quello per il pellet**. Questo perché la densità sterica del cippatino "calibrato" (kg/m3) è circa un terzo rispetto al pellet, di conseguenza, a parità di energia prodotta dalla stufa, occorre alimentare il bruciatore con un volume circa triplo di cippatino calibrato rispetto al pellet, raggiungendo potenze pari a circa il 92% della potenza globale.
2. **il tiraggio della stufa va mantenuto a bassi livelli** per ridurre la fuoriuscita di combustibile dal bruciatore e la perdita di potenza. La bassa densità sterica del combustibile e alta volatilità del combustibile può infatti determinare una perdita di combustibile in alcuni tipi di braciere. Per questo si può rendere necessaria anche una **modifica del braciere per ridurre il flusso d'aria immediatamente al di sopra del combustibile**.
3. È necessario **inserire un sistema di vibrazione periodico nel serbatoio** perché l'angolo di attrito interno dei cumuli di cippatino calibrato è superiore a quello dei cumuli del pellet (come evidenziato anche in letteratura). Per tale motivo il cippato calibrato tende a formare il cosiddetto "effetto ponte" nei serbatoi impedendo al combustibile di defluire verso il basso.

Verificata la fattibilità tecnica di tale conversione, è possibile valutare gli effetti economici che potrebbero verificarsi a seguito della attivazione di queste filiere locali. Si tratta di effetti significativi, sia in termini di valore aggiunto generato in aree montane svantaggiate sia per la riduzione dell'impronta ecologica della filiera. Secondo lo United States Department of Agriculture (USDA, 2024), nel 2023 l'UE ha infatti consumato 24,5 MMT di pellet, di cui circa il 24% importato da Nord e Sud America e Asia, per un valore complessivo di 1,32 miliardi di dollari. Inoltre, è stato stimato che oltre 9.000.000 di tonnellate di pellet siano consumate in 5,3 milioni di impianti domestici a pellet europei con potenza inferiore a 50 kW (Bioenergy Europe, 2023). La conversione, anche solo del 30% delle famiglie europee, all'utilizzo di questo

nuovo biocombustibile, coinvolgeremmo circa 1,6 milioni di utenti riducendo le importazioni di pellet di circa 2,3 milioni di tonnellate, con un effetto su economia europea pari a circa 720 milioni di dollari. A questo si aggiungerebbero benefici connessi alla riattivazione gestionale di circa 350.000–400.000 ettari di foreste, che sarebbero g estite in accordo con i principi della gestione forestale sostenibile (Baskent, 2024; Lier et al., 2022). Inoltre, la riattivazione economica forestale creerebbe tra 2.300 e 2.700 opportunità di lavoro nel solo settore delle utilizzazioni boschive, con impatti sociali positivi in aree rurali economicamente svantaggiate (ISTAT, 2020). In Italia, lo sviluppo di questo nuovo combustibile potrebbe interessate i circa 800.000 ha di castagneti (Manetti et al., 2022), attualmente sottoutilizzati a causa del progressivo declino dei mercati della paleria e travi di castagno (Carbone et al., 2020; Manetti et al., 2022).

3.9 Analisi del mercato potenziale del cippatino calibrato CMWC

In relazione alle verifiche tecniche eseguite è emerso che i tre tipi di combustibili esaminati hanno mercati diversi, ovvero, nel caso del pellet e del cippatino calibrato i mercati sono rappresentati sia dalle stufe e caldaie tradizionalmente alimentate a pellet, sia dalle nuove stufe e caldaie bifuel (alimentabili con pellet e cippatino A1+) (Fig. 9). Nel caso del cippatino A1+ (Biomass plus) invece, il mercato è rappresentato solo da utenze dotate delle nuove caldaie bifuel (Fig. 9)

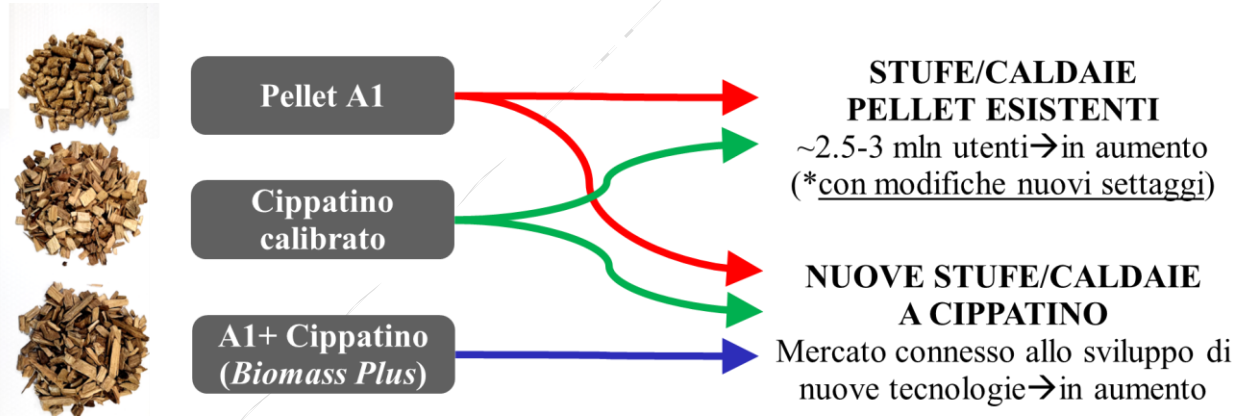


Figura 9: Comparazione dei tre tipi di combustibile e mercati potenziali

Il cippatino calibrato (CMWC) è quindi utilizzabile su un mercato rappresentato da 3,5 milioni di impianti termici italiani attualmente alimentati solo a pellet. In relazione a questo, si è quindi cercato di analizzare il mercato potenziale di questo prodotto e le possibili strategie di penetrazione del mercato rappresentato sia dalle vecchie tecnologie a pellet, sia dalle nuove tecnologie bifuel.

Per fare questo, è stato necessario esaminare gli attuali consumatori di pellet, le loro preferenze e aspettative rispetto ai prodotti innovativi.

Per tale motivo, è stata condotta un'indagine di mercato presso la fiera Internazionale Biennale "Progetto Fuoco" svoltasi a Verona dal 4 al 7 maggio 2022 . La fiera rappresenta infatti un'ottima occasione per fare il punto sul panorama europeo delle tecnologie termiche a biomassa (stufe domestiche fino alle caldaie per impianti centralizzati) e dei relativi combustibili (pellet, cippato

e nocciolino) ed è il luogo dove si trova la maggiore concentrazione di utenti che utilizzano biomasse legnose per usi termici.
In questo contesto sono stati intervistati 126 consumatori italiani di pellet, cui è stato chiesto di compilare un questionario
Il questionario, composto da 28 domande a scelta multipla e aperta, è preceduto da una breve introduzione orale e dalla visione del prodotto (in bag). Il questionario è stato realizzato realizzato metodo CAWI (Computer Assisted Web Interviewing) accessibile via web dai soggetti intervistati con i propri dispositivi (cellulari, tablet, ecc.) attraverso scansione di un QR-code fornito da nostri operatori e disponibile anche presso vari stand della fiera.
.Il questionario era diviso in 7 sezioni : le prime due utili per capire per quale motivo l'utente si trova alla Fiera, il livello di conoscenza del prodotto "cippatino" e in che modo è venuto a conoscenza del prodotto; la terza sezione riguardava invece il profilo dell'intervistato: sesso, età, numero di componenti del nucleo familiare, titolo di studio ed occupazione.
Dall'analisi dei dati è emerso che il 48,7 % degli utenti si trovava alla Fiera perché intenzionato ad **abbandonare il riscaldamento a combustibile fossile** a favore di prodotti legnosi ed il 21,6% stava cernando nuove tecnologie (Fig. 10); quindi, oltre il 70% dei visitatori era alla ricerca di nuove tecnologie alimentate a legna. Dato comprensibile considerati gli innalzamenti dei prezzi dei combustibili fossili avvenuti a partire dal 2022 e l'allarmismo riguardante il loro futuro approvigionamento.

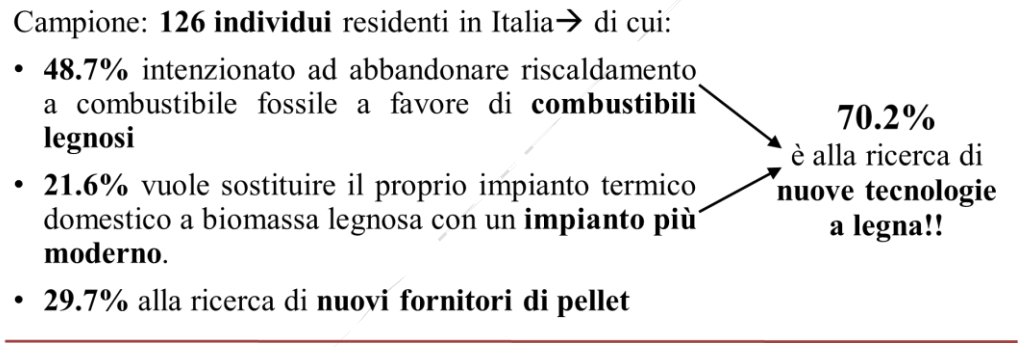


Figura 10: Motivo della presenza dell'utente alla fiera Progetto Fuoco

La comparazione dei risultati del 2022 con quelli ottenuti in una precedente indagine condotta nel 2018 evidenzia un forte incremento di coloro che hanno sentito parlare del cippatino, anche se non sanno bene di che prodotto si tratta.

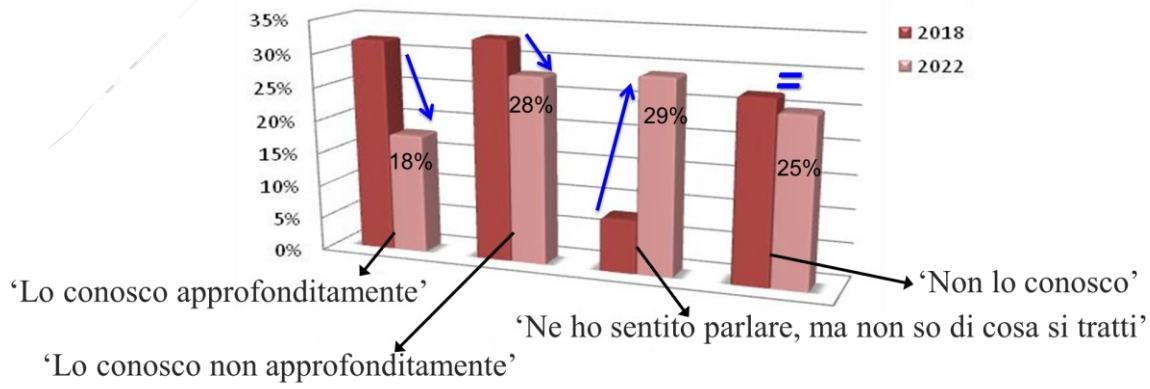


Figura 11: Grado di conoscenza del cippatino

Inoltre, emerge che la maggior parte degli intervistati è venuta a conoscenza del cippatino tramite operatori del settore; quindi, la promozione presso gli operatori del settore può favorire l'acquisizione di consumatori.

Tabella 13: canale utilizzato per acquisire conoscenze sul cippatino di legno

Attraverso quali canali è venuto/a a conoscenza del cippatino?	Rivenditori	Operatori del settore	Fiere	Internet	Curiosità	Università	TOTALE
TOT %	5,50%	41,80%	18,20%	14,50%	10,90%	9,10%	100%

Per quanto riguarda la disponibilità degli intervistati all'acquisto del cippatino (Fig. 12) solo il 17,6 % non sarebbe disposto ad acquistarlo. Questi soggetti rappresentano un segmento di mercato che andrà ulteriormente analizzato per capire le motivazioni dell'avversione al nuovo combustibile.

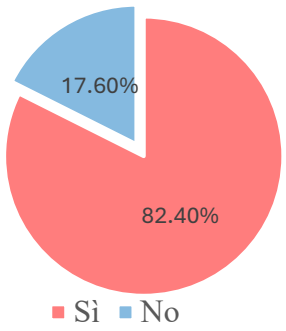


Figura 12: Disponibilità all'acquisto del cippatino

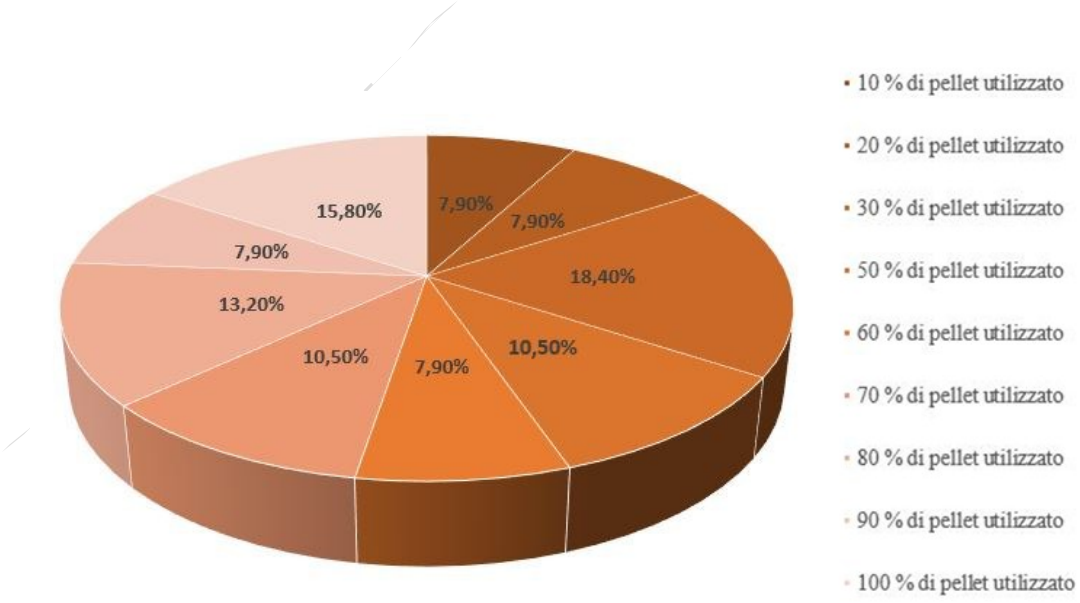


Figura 13: Rilevanza del pellet nel sistema di riscaldamento degli intervistati (%)

Dall'esame dei dati emerge che il 51,4 % degli intervistati utilizza il pellet come combustibile prevalente per riscaldamento domestico. A loro sono state poste domande più specifiche per individuare idonee tattiche di marketing. In particolare, si osserva che il 15,80 % dei soggetti riscalda l'abitazione al 100 % con pellet, (Fig. 13). L' 84,2 % degli intervistati utilizza invece pellet per riscaldamento domestico in proporzione varia con altri combustibili quali: legna da ardere, Metano (o Gpl o Gasolio), cippato ed energia elettrica. Tra questi, il 28,9 % dei consumatori associa al pellet: metano, gpl o gasolio in proporzioni varie, mentre il rimanente 71,1 % preferisce avvalersi di un combustibile di origine legnosa rinnovabile, quale la legna da ardere o il cippato, quest'ultimo in minore percentuale.

Interessante è notare che sui 116 intervistati che dichiarano di essere serviti dalla rete di distribuzione del gas metano, 34 preferiscono non utilizzarlo a favore di un combustibile di tipo legnoso sia esso pellet, legna da ardere o cippato. Questo dato può rappresentare una potenziale predisposizione del cliente ad usufruire del cippatino di legno come alternativa al combustibile fossile.

Rispetto ai canali di acquisto, emerge che il pellet è acquistato prevalentemente da produttori forestali che fanno da rivenditori e da rivenditori/commercianti locali (di solito i rivenditori degli impianti termici), mentre per il cippatino c'è una maggiore predisposizione all'acquisto anche presso la grande distribuzione o all'acquisto online (Fig. 14).

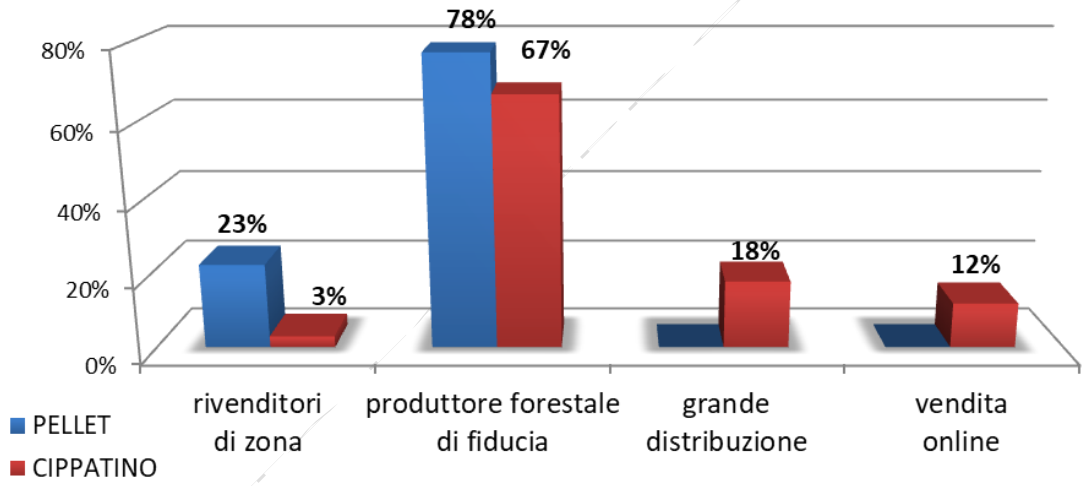


Figura 14: Canali di acquisto del pellet e del cippatino di legno

Rispetto al tipo di confezionamento (Fig. 15), emerge che il 68% degli intervistati predilige l'acquisto in sacchi da 12-15 kg, il 23% in bancali e solo il 9% sfuso.

Per quanto riguarda il confezionamento dei sacchi non emerge una netta preferenza tra sacco di rafia riutilizzabile (27%), sacco di carta biodegradabile (35%) o sacco di plastica trasparente (38%); ma se incrociamo questa informazione con altre, attribuite al cippatino di legno, ad esempio il fatto di poter visionare chiaramente che questo biocombustibile è totalmente composto da legno, emerge chiaramente che la preferenza del sacco di plastica è legata alla possibilità di visualizzare la composizione/qualità del prodotto, prima ancora di acquistare ed aprire la confezione. Un vantaggio non indifferente in termini di "trasparenza" della qualità del prodotto.



Figura 15: Preferenze espresse per tipo di confezionamento e insacchettamento del prodotto cippatino calibrato

3.9.1 Definizione dei profili dei potenziali consumatori e dei loro bisogni

Per attuare una strategia di marketing efficace è necessario individuare il mercato in cui si intende collocare il prodotto e suddividere il mercato stesso in sottoinsiemi di consumatori che abbiano tra di loro caratteristiche simili. Per questo sono stati definiti dei profili dei potenziali consumatori di cippatino. Nello specifico, sono stati individuati 5 profili di potenziali consumatori :

- Soggetti che non conoscono il cippatino
- Soggetti che conoscono il cippatino
- Soggetti non interessati all'acquisto del cippatino
- Soggetti che utilizzano pellet associato a metano o gpl o gasolio
- Soggetti che utilizzano pellet associato ad un combustibile di origine legnosa

3.9.1.1 Soggetti che non conoscono il cippatino

Dall'esame della figura 10 emerge che il 25,70 % degli intervistati non ha mai sentito parlare del cippatino. Per comprendere le caratteristiche di tali soggetti è stato chiesto: il tipo di unità abitativa (Fig. 16), la localizzazione dell'abitazione (Fig. 17), il contesto in cui si trova l'abitazione (Fig. 18) e il tipo di combustibile attualmente impiegato (Fig. 19).

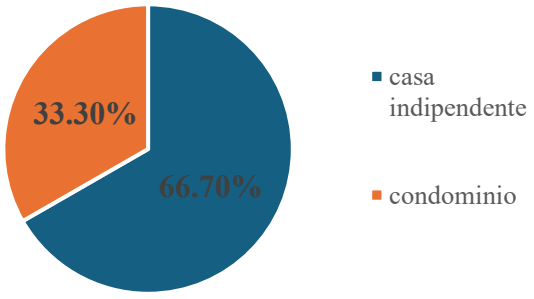


Figura 16: tipo di unità abitativa

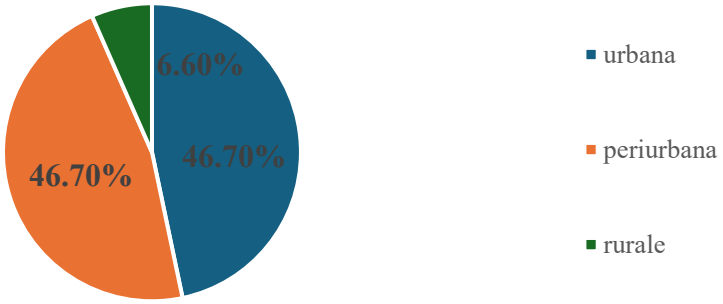


Figura 17: localizzazione dell'abitazione

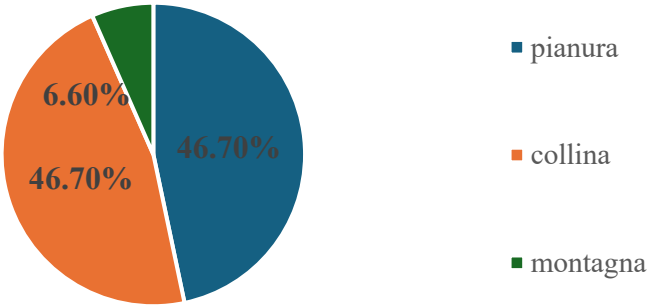


Figura 18: contesto in cui si trova l'abitazione

Dall'analisi dei grafici si evince che il 66,70 % degli intervistati risiede in una casa indipendente e solamente il 33,30 % all'interno di una complesso condominiale ; le abitazioni si trovano per la maggioranza in zone urbane e periurbane, entrambe 46,70 % e percentuale minima in una zona rurale (6,60 %), queste proporzioni vengono mantenute per quanto concerne il contesto in cui si trova l'unità abitativa, solo il 6,60 % degli intervistati risiede in montagna mente il restante 93,40 % in pianura e collina distribuiti in uguale misura.
Per quanto riguarda il tipo di combustibile scelto per alimentare il proprio riscaldamento, 33,30 % utilizza esclusivamente il metano, il 53,30 % associa il metano ad un altro tipo di combustibile per la maggior parte energia elettrica e in minore percentuale legna da ardere o pellet. Solo il 13,40 % non utilizza il metano a favore di una combinazione di combustibili di origine legnosa (Grafico 11).

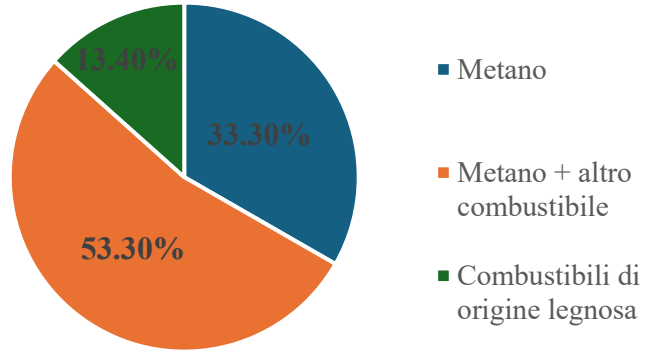
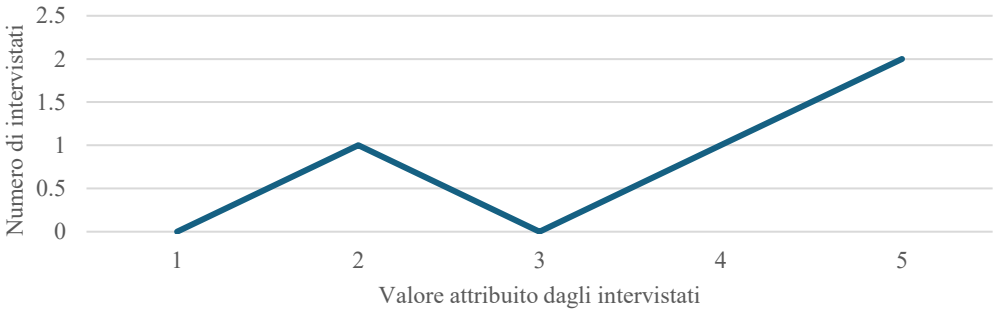


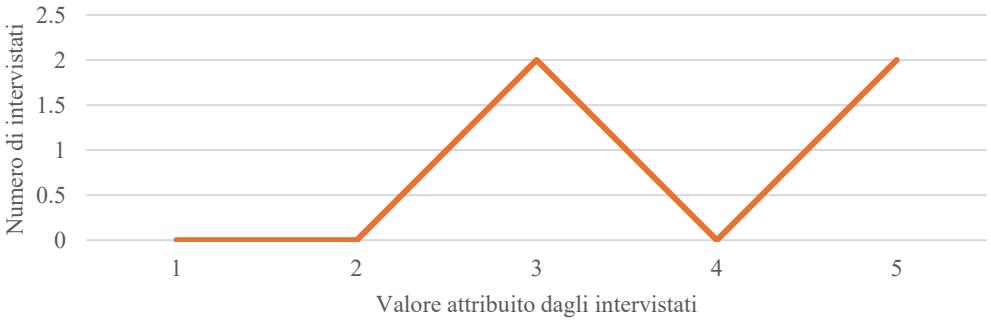
Figura 19: Combustibili utilizzati dagli utenti per il riscaldamento domestico

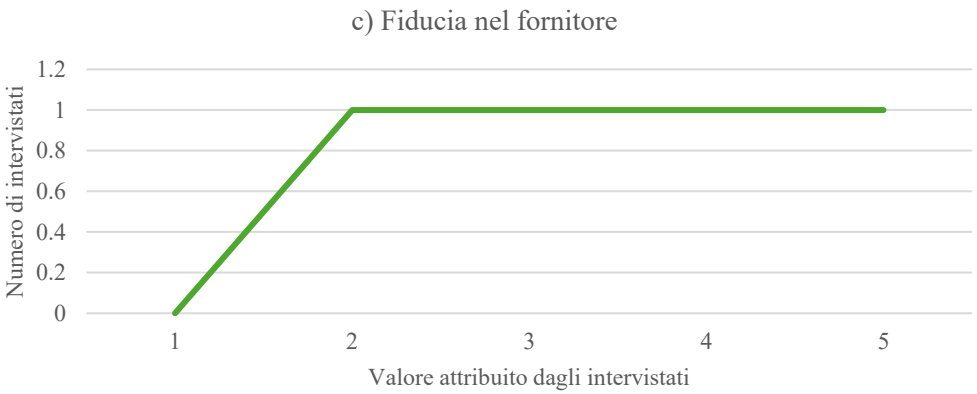
Agli intervistati che utilizzano pellet per il riscaldamento è stato chiesto il consumo medio annuo per famiglia (sacchi o quintali) e il prezzo d'acquisto.
Sulla base dei risultati emerge che in media una famiglia appartenente a questa tipologia di consumatori impiega circa 20 quintali all'anno di pellet pagandoli, in media, 5,50 € per un sacco di pellet da 15 Kg, ovvero 36,70 €/q.le che corrispondono a circa 75€/MWh di energia termica considerando un potere calorifico di 4,9 KWh/Kg per il pellet.
Tra coloro che non hanno mai sentito parlare di cippatino, l'80% è interessato all'acquisto ed è disposto a pagarlo 3,60 € a sacco (15 kg) presso il rivenditore e 4,25 € con il trasporto franco abitazione. Tali valori corrisponderebbero a 24€/q.le presso il rivenditore e 28,30€/q.le franco casa, che corrispondo ad un prezzo di 53€/MWh e 63€/MWh considerando un potere calorifico del cippatino pari a 4,5 KWh/kg.
Comparando i prezzi rilevati per il pellet con la disponibilità a pagare per il cippatino, emerge che il prezzo del cippatino dovrebbe garantire al consumatore un risparmio del 34 % rispetto al pellet.
Sono state quindi poste domande su alcuni aspetti qualitativi che possono condizionare le preferenze di acquisto. In particolare, è stato chiesto agli intervistati di indicare, in una scala da 1 a 5, in che misura i parametri prezzo, origine del combustibile, fiducia nel fornitore, presenza certificazione, influenzano la scelta del combustibile (Fig. 20a-20d).

a) Prezzo



b) Origine del combustibile





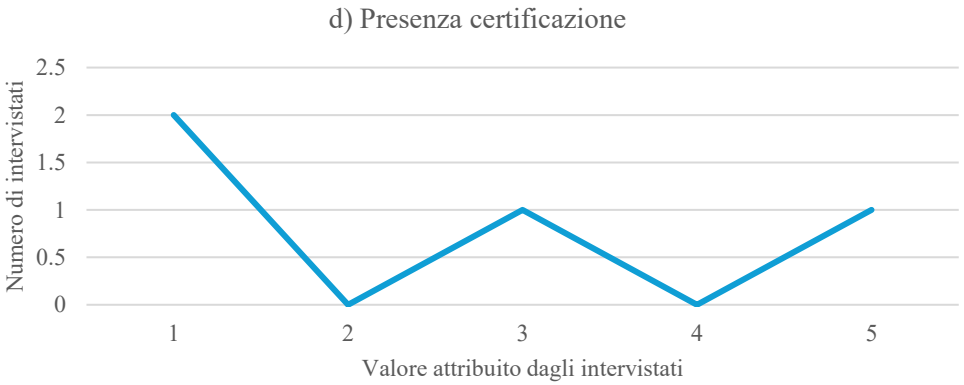
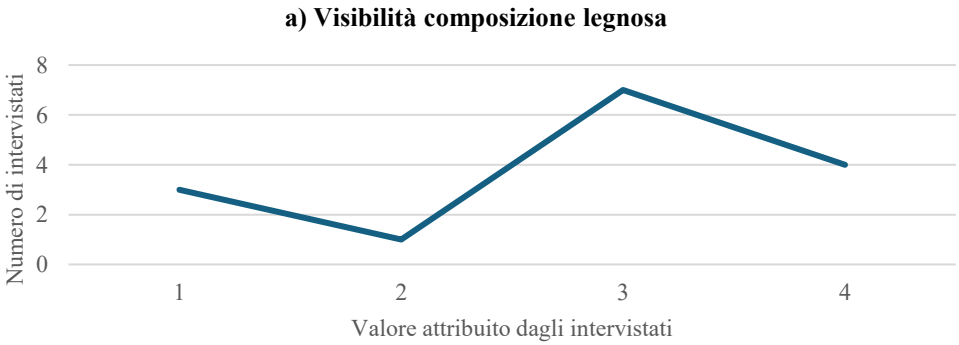
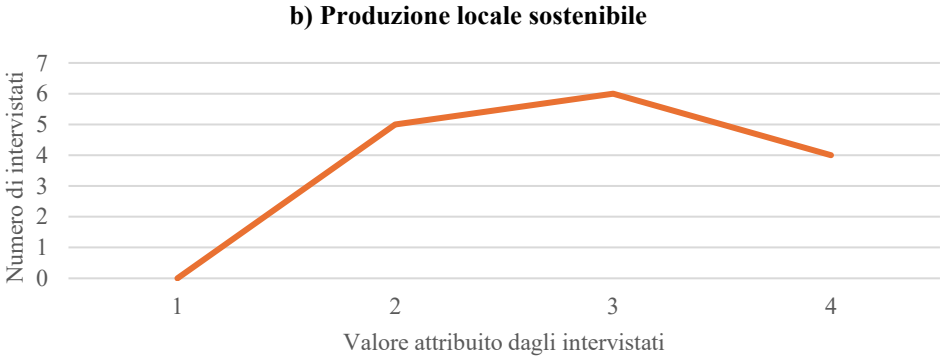
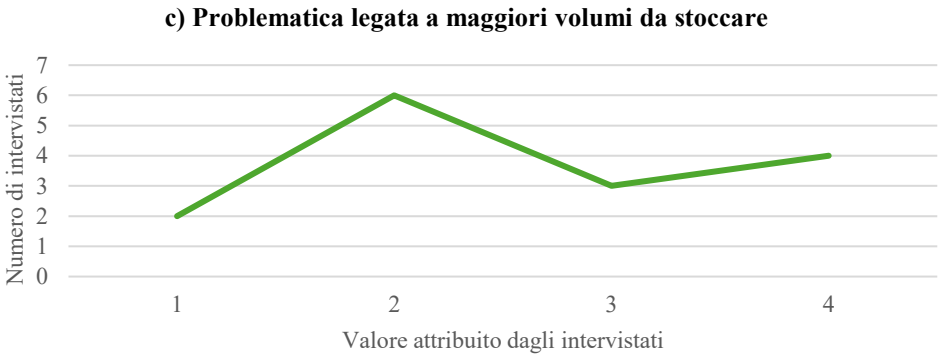


Figure 20a-20d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile

Esaminando le figure 19a-19d, osserviamo che i fattori che influenzano maggiormente le scelte dei consumatori sono il ***prezzo*** e l'***origine*** del combustibile.
Inoltre, sono state poste domande su fattori gestionali che possono influire su scelte di acquisto, in particolare: "la rilevanza che hanno fattori come: visibilità della composizione legnosa, la produzione locale sostenibile, le problematiche legate a maggiori volumi da stoccare, la garanzia di funzionamento nel proprio impianto a pellet" (Fig. 21a-21d)







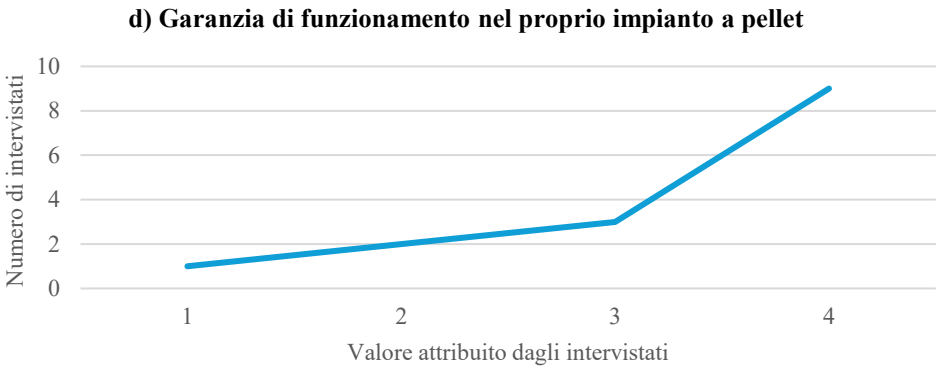


Figure 21a-21d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile

Come prevedibile, l'aspetto che condiziona maggiormente l'acquisto risulta essere la ***garanzia di funzionamento nell'impianto a pellet già in possesso dei clienti***, presupposto fondamentale per proporre il cippatino come surrogato del pellet. Per contro, la problematica legata ai ***maggiori volumi da stoccare*** è l'aspetto che preoccupa meno il consumatore.
Le preferenze relative alla modalità di acquisto sono invece illustrate nelle figure 22 e 23.

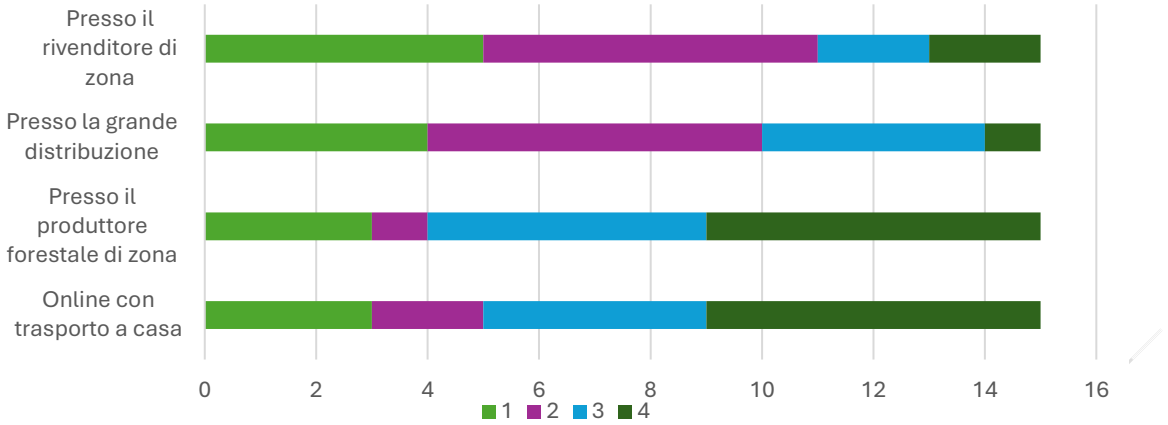


Figura 22: Ordine di preferenza d'acquisto (da 1 a 4) del cippatino da parte degli utenti

Dall'esame della figura 22 emerge che un terzo degli intervistati preferirebbe acquistare il cippatino direttamente presso il rivenditore di zona, mentre l'acquisto online è preferito solo dal 40% degli utenti. Tale risultato è conforme all'esigenza già espressa di poter verificare di persona le caratteristiche fisiche prima dell'acquisto.

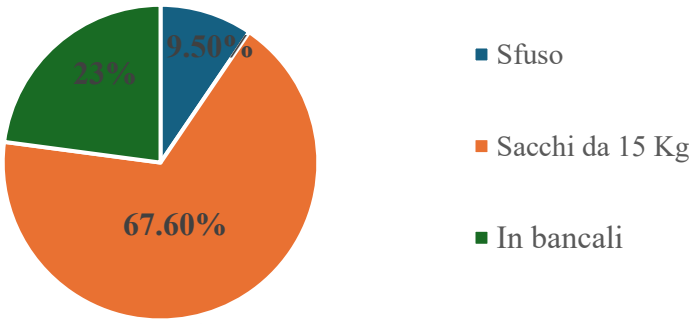


Figura 23: Modalità attraverso la quale gli intervistati preferirebbero acquistare il cippatino

Dei soggetti intervistati il 67,60 % acquisterebbe il cippatino in sacchi da 15 Kg, il 23 % in bancali contenenti circa 70 sacchi, e solo il 9,50 % sarebbe interessato a comprarlo sfuso (Fig. 23).
Interessante la valutazione del packaging (Fig. 24), poiché i consumatori non hanno una preferenza netta per una tipologia, anche se possiamo osservare un 37,8% di preferenze per il sacco di plastica riciclabile "traspartente" che consente la visione del contenuto ed un 35,10% per il sacco di carta riciclabile.

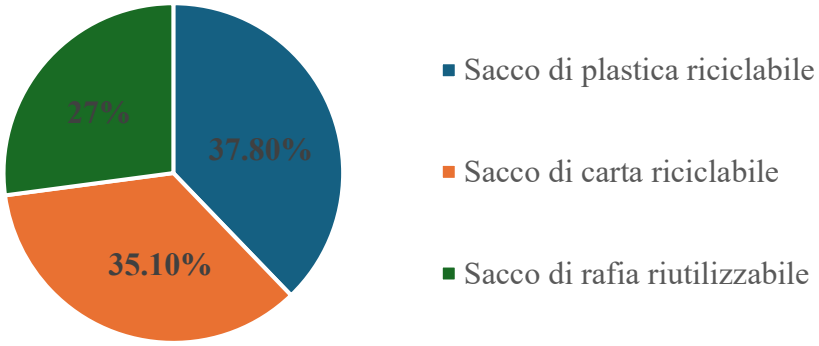


Figura 24: Tipo di confezionamento preferito dagli utenti

3.9.1.2 Soggetti che conoscono il cippatino

Si tratta del 74 % delle persone a cui è stato sottoposto il questionario e che hanno dichiarato di conoscere il cippatino, o di averne almeno sentito parlare.
Come già anticipato, la maggior parte degli intervistati è venuta a conoscenza del prodotto tramite operatori del settore ed anche fiere ed internet. In questo caso, una strategia di vendita che punta alla vendita combinata (stufa + combustibile), tramite gli operatori del settore, potrebbe rendere il prodotto più competitivo e facilmente reperibile.
In questo cluster di utenti, quelli che consumano pellet per il riscaldamento della propria abitazione sono il 56,40 %, suddivisi come in figura 25

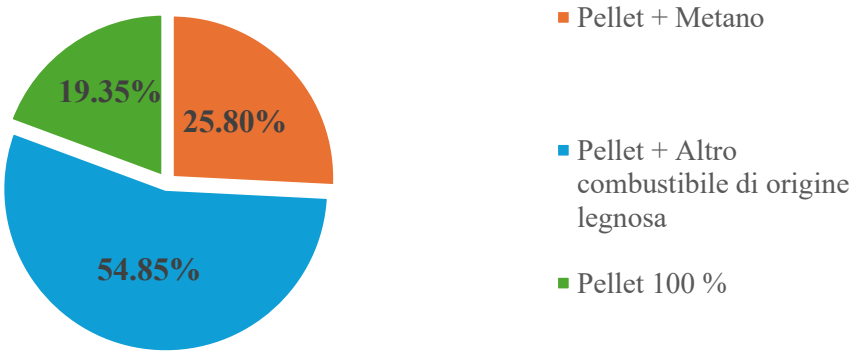


Figura 25: Combustibili utilizzati dagli utenti per il riscaldamento domestico.

Le caratteristiche delle abitazioni e quelle geografiche sono riportate in figura 26 e 27, mentre in figura 28 è rappresentato il contesto morfologico degli utenti.

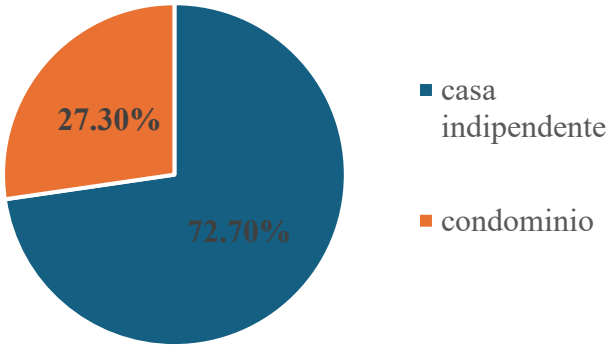


Figura 26: tipo di unità abitativa

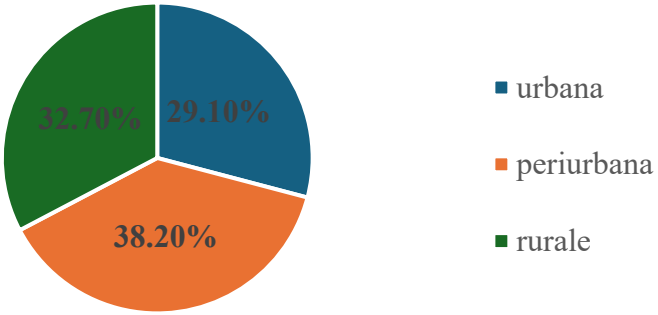


Figura 27: localizzazione dell'abitazione

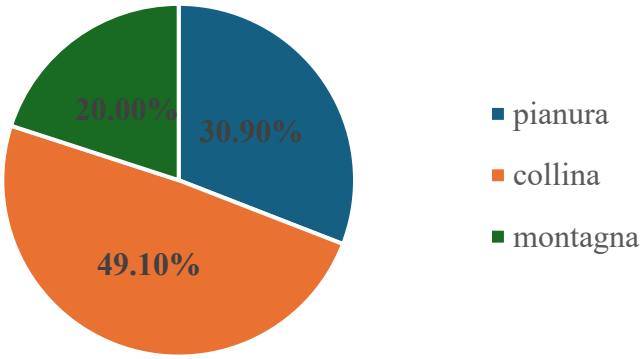


Figura 28: contesto in cui si trova l'abitazione

I soggetti che conoscono il cippatino, consumano circa 20 quintali all'anno (come il segmento di utenti precedente) ad un prezzo medio di circa 5,45 € per un sacco di pellet da 15 Kg, ovvero 36,30 €/q.le, e 74€/MWh considerando un potere calorifico del pellet di 4,9 KWh/Kg.
Per quanto concerne il *cippatino*, gli intervistati hanno proposto un prezzo medio di 3,85 € a sacco (15 Kg) se acquistato presso il produttore, e di 4,50 € a sacco se fornito presso la propria abitazione.
Comparando i prezzi rilevati per il pellet con la disponibilità a pagare per il cippatino, emerge che per questo tipo di consumatore il prezzo del cippatino dovrebbe garantire un risparmio del 30 % rispetto al pellet; quindi, leggermente inferiore rispetto al cluster che non conosce il cippatino (34%).
Anche in questo caso, sono state poste domande su alcuni aspetti qualitativi che possono condizionare le preferenze di acquisto, ovvero come sono influenzate le preferenze di acquisto

da parametri come: prezzo, origine del combustibile, fiducia nel fornitore, presenza certificazione (Fig. 29a-29d).

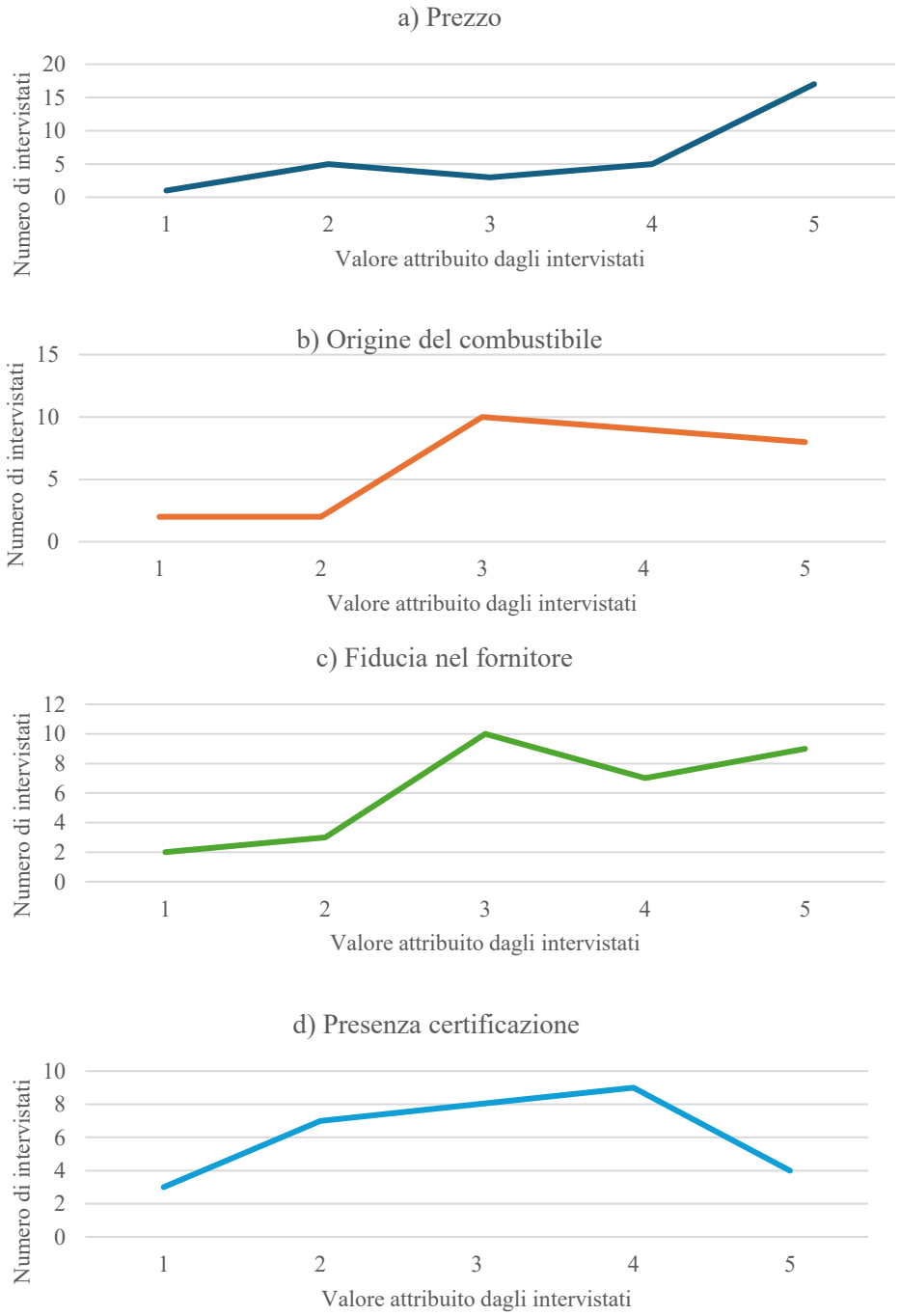
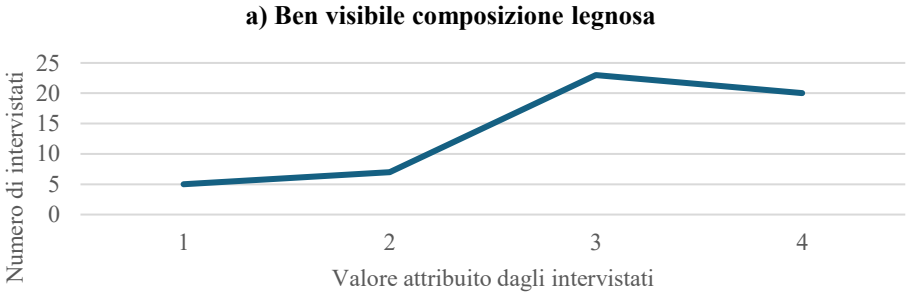
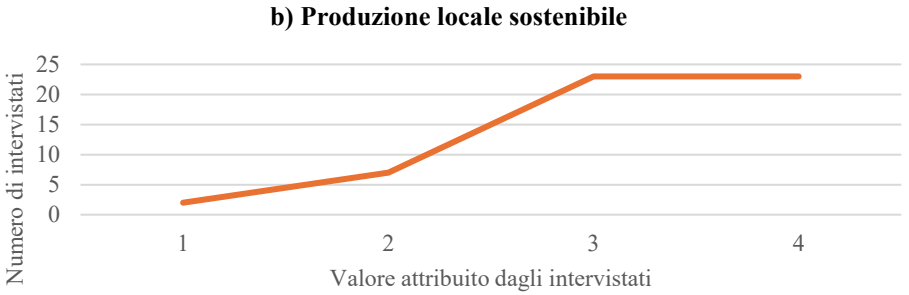
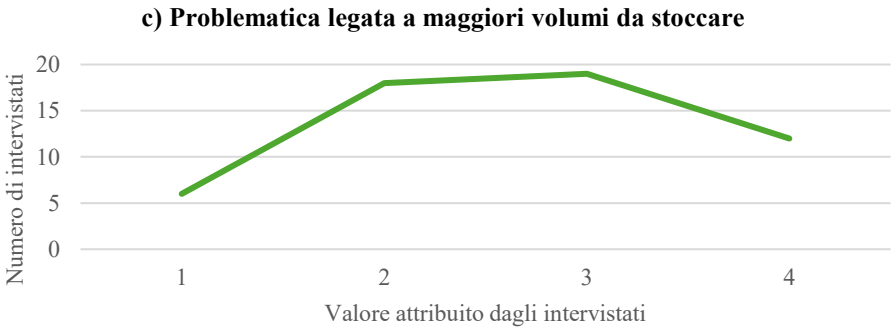


Figure 29a-29d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile

Possiamo osservare che per questo tipo di consumatore i fattori che influenzano in modo più significativo le scelte di acquisto sono il ***prezzo*** e secondariamente la ***fiducia nel fornitore***.
Per quanto riguarda invece i fattori gestionali che possono influire su scelte di acquisto (visibilità della composizione legnosa, la produzione locale sostenibile, le problematiche legate a maggiori volumi da stoccare, la garanzia di funzionamento nel proprio impianto a pellet) i risultati sono illustrati nelle figure 30a-30d.







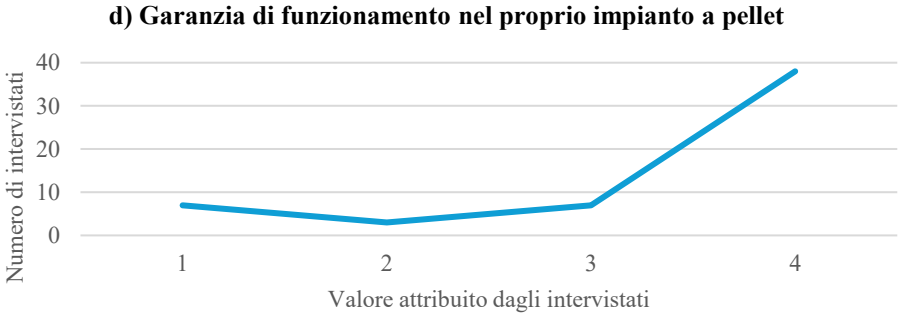


Figure 30a-30d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile

Come prevedibile, l'aspetto che condiziona maggiormente l'acquisto risulta essere la ***garanzia di funzionamento nell'impianto a pellet già in possesso dei clienti***, presupposto fondamentale per proporre il cippatino come surrogato del pellet. Gli altri aspetti si equivalgono in termini di condizionamento di acquisto.
Per quanto riguarda le modalità di acquisto, sono invece illustrate nelle figure 31 e 32.

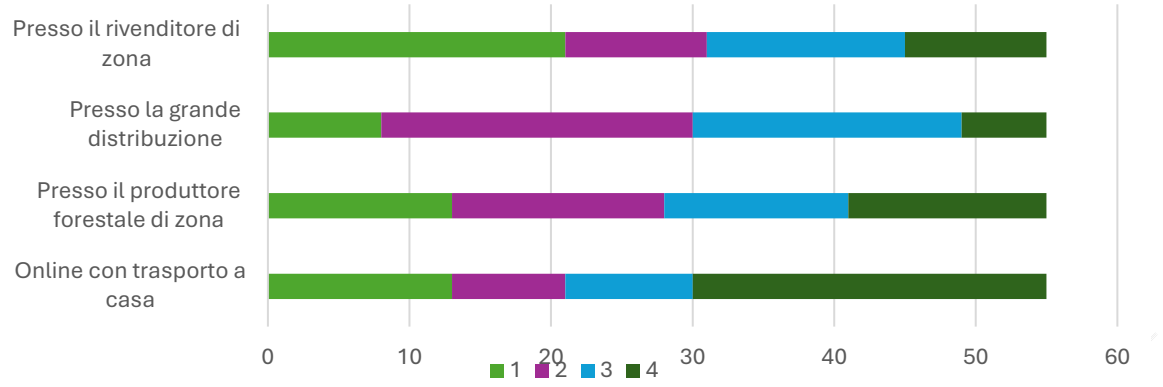


Figura 31: Ordine di preferenza d'acquisto (da 1 a 4) del cippatino da parte degli utenti

Dall'esame della figura 31 emerge che il 40% degli intervistati preferirebbe acquistare il cippatino direttamente presso il rivenditore di zona, mentre l'acquisto online è preferito dal 45% degli utenti.
Dei soggetti intervistati il 61,80 % acquisterebbe il cippatino in sacchi da 15 Kg, il 27,30 % in bancali contenenti circa 70 sacchi, e solo il 10,90 % sarebbe interessato a comprarlo sfuso (Fig. 32).
Molto interessante la valutazione del packaging, poiché questo tipo di consumatore ha una preferenza netta per il sacco di plastica riciclabile "traspartente" che consente la visione del contenuto (45,50%), cui segue il sacco di rafia riutilizzabile con il 32,70%. L'esperienza, legata alla conoscenza del prodotto, incide molto sulla scelta del pakaging.

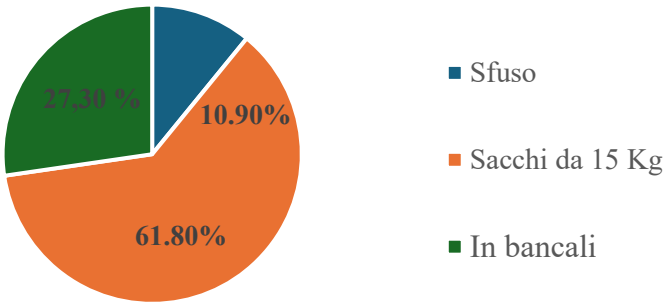


Figura 32: Modalità attraverso la quale gli intervistati preferirebbero acquistare il cippatino

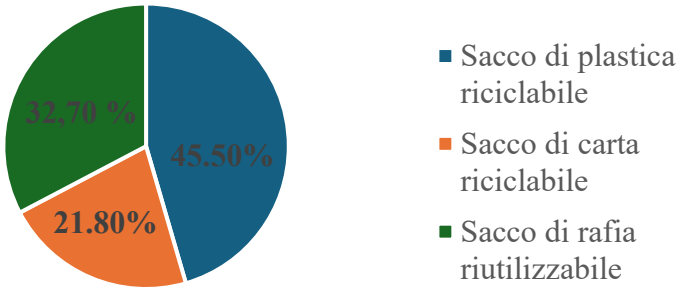


Figura 33: Tipo di confezionamento preferito dagli utenti

Il 93,4 % dei consumatori interessati all'acquisto del cippatino è disposto ad apportare piccole

modifiche alla propria caldaia/stufa per poterla utilizzare con il nuovo combustibile (Fig. 34)

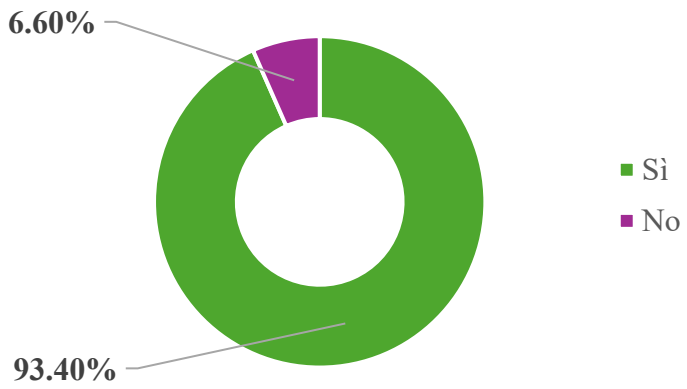


Figura 34: Predisposizione degli intervistati ad apportare piccole modifiche alla caldaia/stufa

3.9.1.3 Soggetti non interessati all'acquisto del cippatino

Questo segmento di consumatori rappresenta solo il 17,60% degli intervistati. I motivi di questa resistenza nei confronti di un prodotto innovativo sono chiaramente rilevabili nelle risposte fornite: in particolare, possiamo constatare che il 46,20 % di tali soggetti risiedono all'interno di complessi condominiali dove le problematiche di stoccaggio sono evidenti. Purtroppo, anche se il 53,80 % di tali utenti risiede in unità indipendenti, non risulta comunque non interessato (Fig. 35).

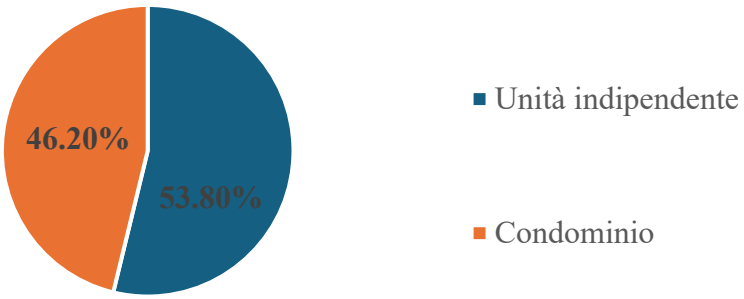


Figura 35: tipo di abitazione in cui risiedono gli utenti

Un terzo di questi utenti inoltre non sarebbe disposto ad apportare modifiche alla propria caldaia/stufa per poter utilizzare il cippatino di legno.
La valutazione degli aspetti qualitativi che condizionano le preferenze di acquisto (prezzo, origine del combustibile, fiducia nel fornitore, presenza certificazione) sono illustrate nelle figure 36a-36d.

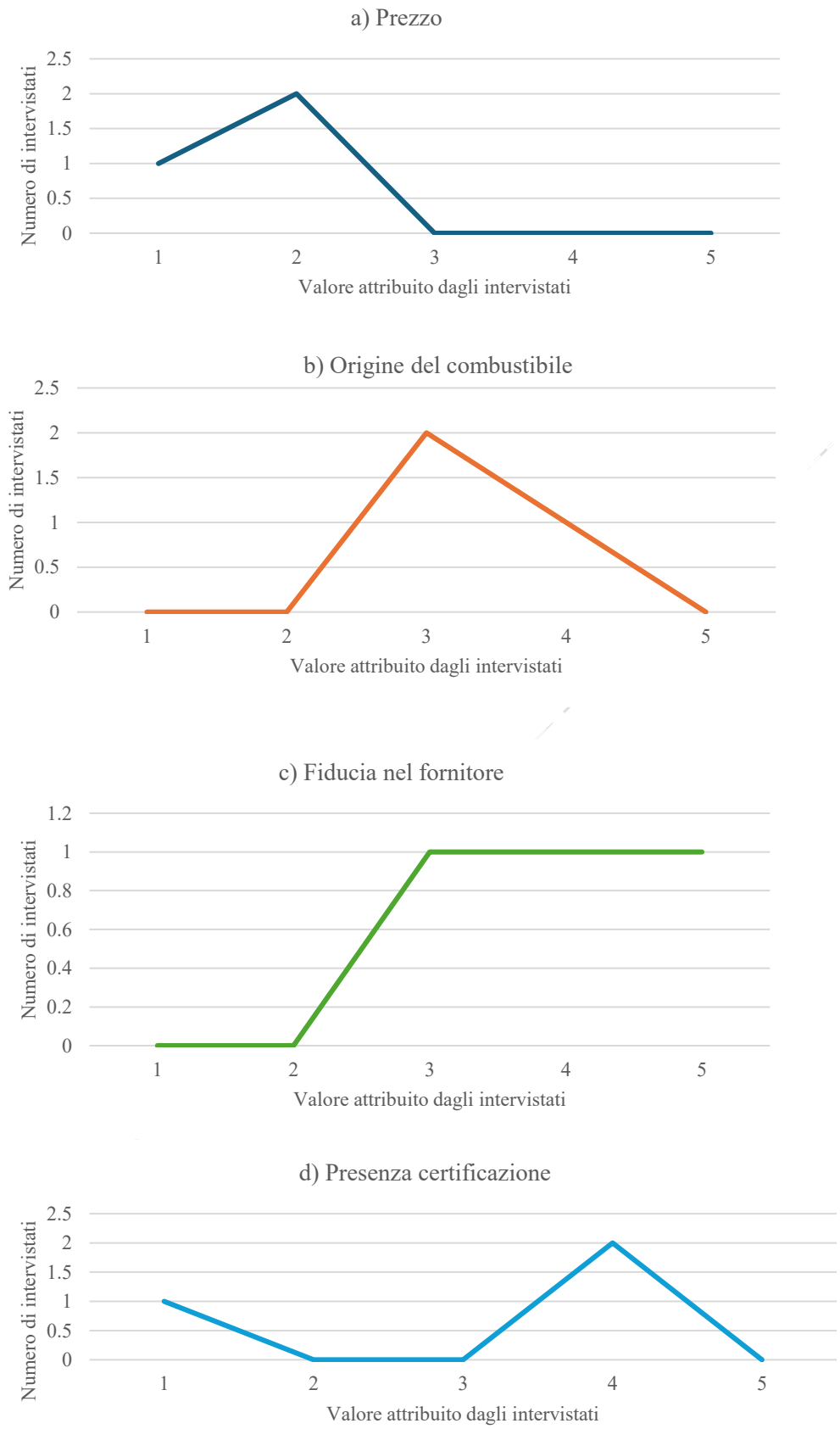


Figure 36a-36d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile

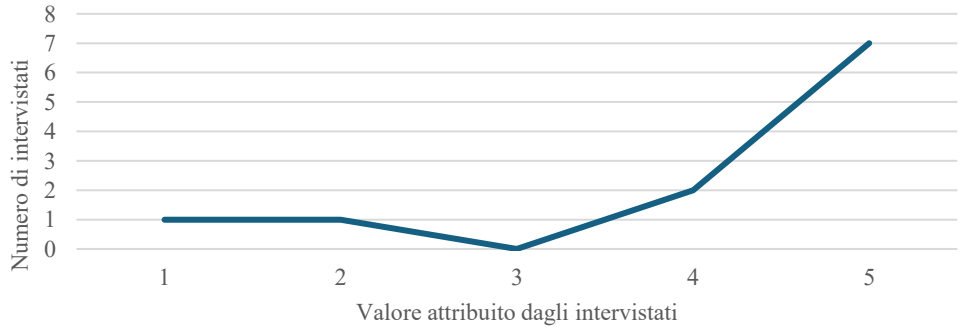
Esaminando le figure 36a-36d, osserviamo che i fattori che influenzano maggiormente le scelte dei consumatori sono la ***certificazione ambientale*** e la ***fiducia nel fornitore***.

3.9.1.4 Soggetti che utilizzano pellet associato a metano o gpl o gasolio

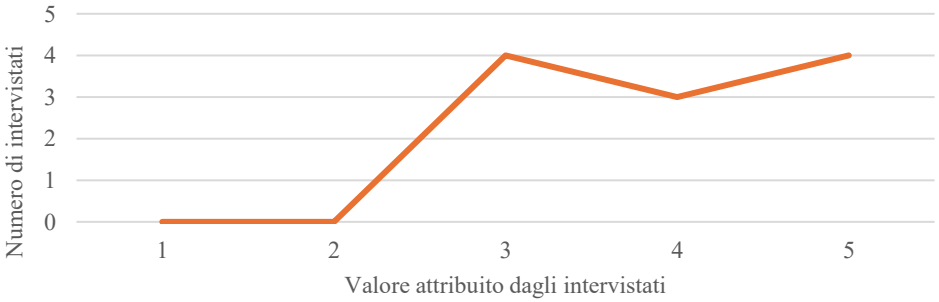
Si tratta di consumatori che si trovano in aree servite dalla rete del gas metano. In particolare, il 15% di loro dichiara di utilizzare anche pellet come combustibile per il riscaldamento della propria abitazione.
Questi consumatori dichiarano di pagare un prezzo medio di 5,20 € per sacco di pellet da 15 Kg ovvero 34,60 €/q.le che in termini energetici corrisponde a 71€/MWh.
I soggetti appartenenti a questo cluster sono disposti a pagare 4€ a sacco il cippatino di legno se acquistato presso il produttore, che corrisponde a 26,70€/q.le e 54€/MWh considerando un potere calorifico del cippatino pari a 4,5 KWh/Kg.

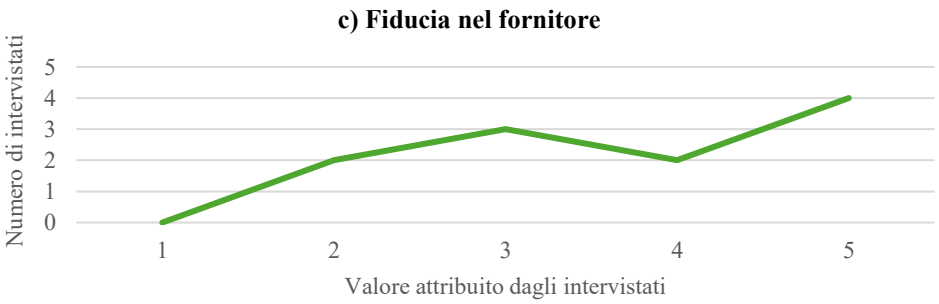
A differenza dei profili precedentemente intervistati questa categoria di utenti dichiara di consumare mediamente 35 quintali di pellet annui.
La valutazione degli aspetti qualitativi che possono condizionare le preferenze di acquisto (Fig. 37a-37d) ha evidenziato che il ***prezzo*** è l'aspetto che condiziona maggiormente questa tipologia di consumatori.

a) Prezzo



b) Origine del combustibile





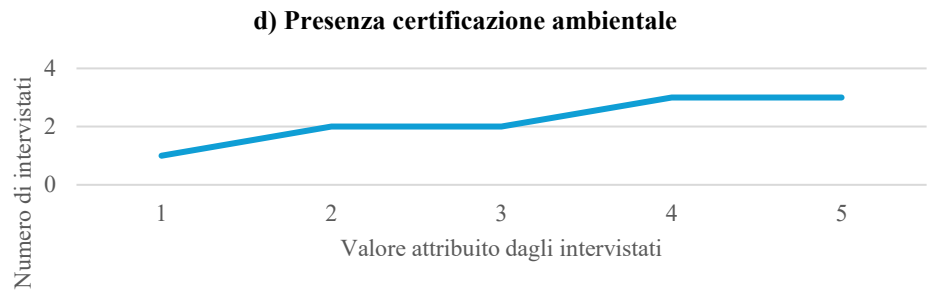
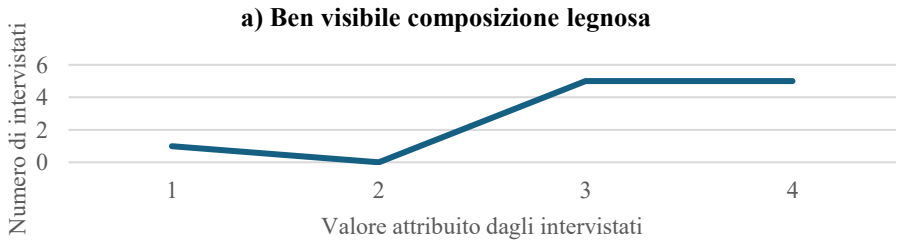
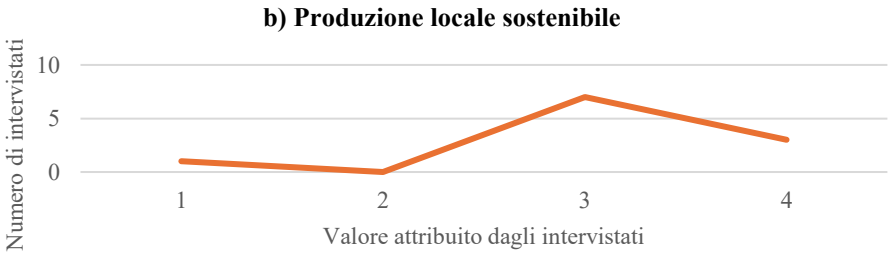


Figure 37a-37d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile

Passando ad esaminare i fattori di: visibilità della composizione legnosa, produzione locale sostenibile, problematiche legate a maggiori volumi da stoccare, garanzia di funzionamento nel proprio impianto a pellet, (Fig. 38a-38d), emerge che il fattore dominante è rappresentato dalla ***garanzia di funzionamento nell'impianto a pellet già in possesso del cliente***.





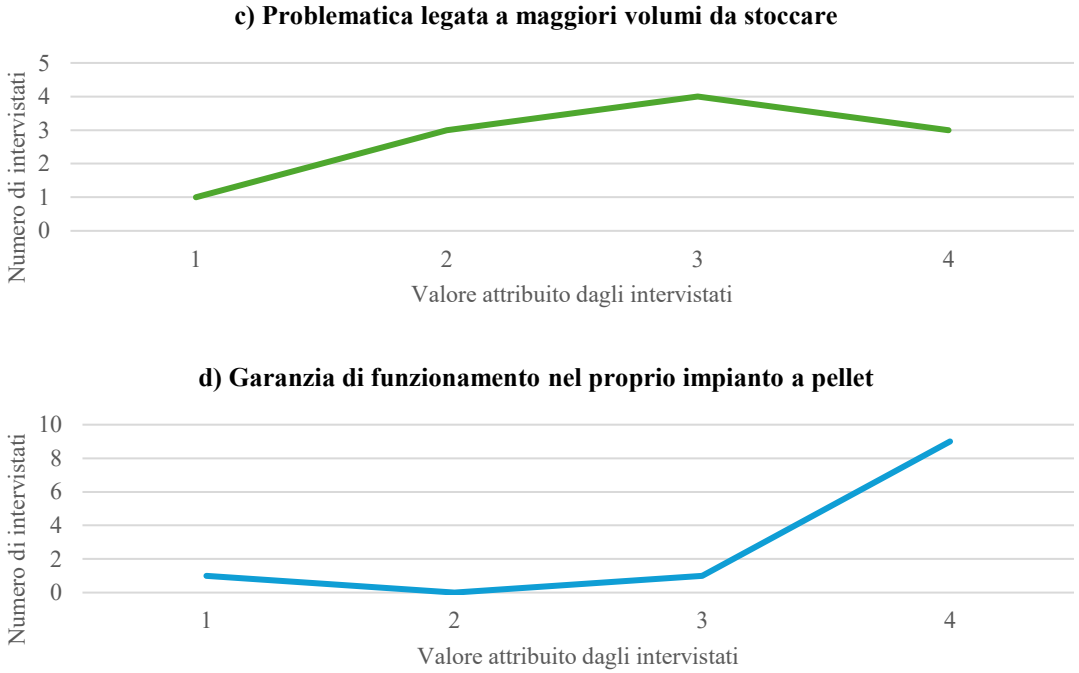


Figure 38a-38d: Rilevanza dei fattori che influenzano il possibile acquisto di cippatino (da 1 a 4)

Per quanto riguarda le caratteristiche dell'abitazione principale degli intervistati (Fig. 39-40), i risultati evidenziano che questo tipo di consumatore vive prevalentemente in ***unità indipendenti in zone periurbane e in contesti collinari***. Di conseguenza, il mercato potenziale del cippatino non si limita alle sole aree rurali.
Il 100 % delle persone appartenenti a questo segmento di mercato dichiarano di essere ***interessati all'acquisto del cippatino*** ed anche alla ***modifica della propria stufa/caldaia*** per poter garantire il funzionamento con il nuovo combustibile.

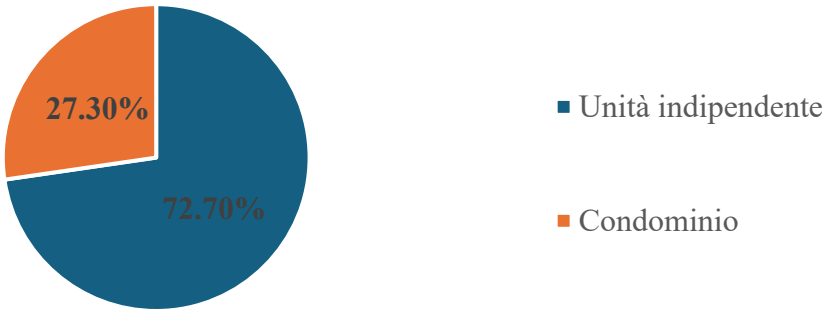
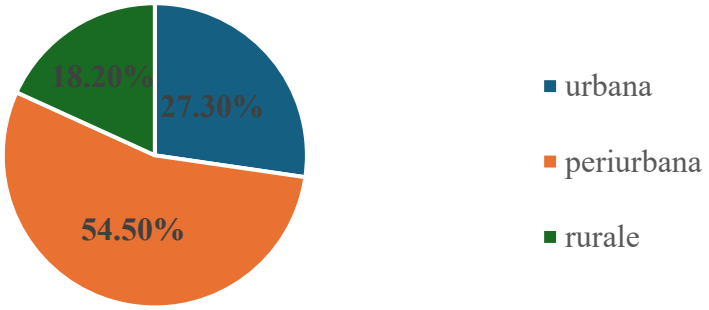


Figura 39: Tipo di unità abitativa



Grafico

Figura 40: Localizzazione dell'abitazione principale

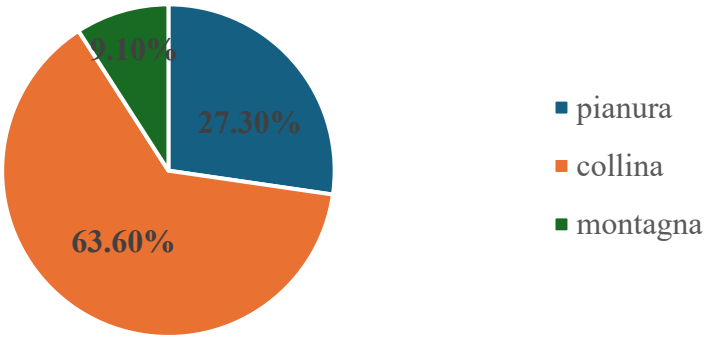


Figura 41: Contesto in cui si trova l'abitazione

3.9.1.5 Soggetti che utilizzano pellet associato ad un combustibile di origine legnosa

Questo segmento di mercato è rappresentato sia da coloro che utilizzano esclusivamente pellet per il riscaldamento, sia da coloro che associano il consumo di pellet ad un altro combustibile di origine legnosa come la legna da ardere o il cippato di legno. Questo cluster rappresenta il 35 % degli intervistati.
Il 34,60 % di questi utenti ha scelto di non rifornirsi di combustibili fossili come metano, gasolio o gpl, nonostante la propria abitazione sia connessa alla rete di distribuzione del metano (Fig. 42).

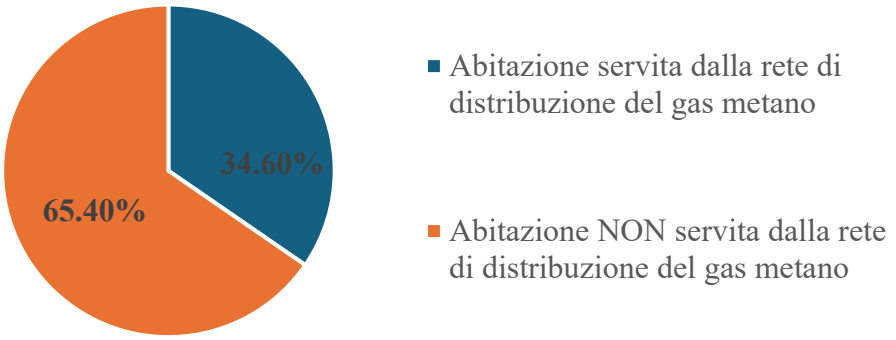
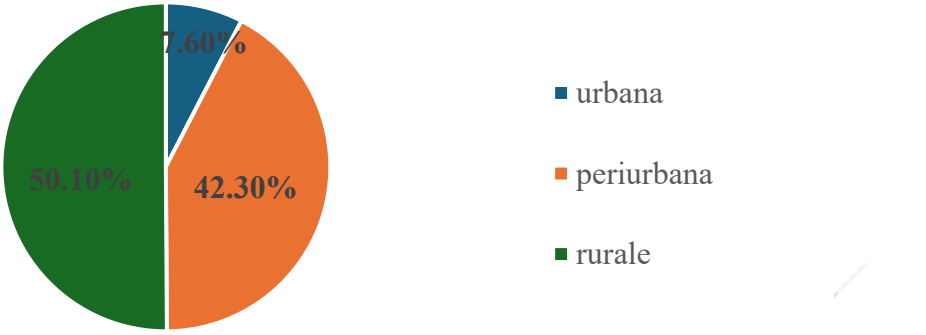


Figura 42: Servizio della rete di gas metano

Per quanto riguarda le caratteristiche delle abitazioni gli intervistati, si rileva che il 100% degli

intervistati risiedono in un'unità indipendente localizzata soprattutto in aree rurali (50,10%) collinari (57,70%) (Fig. 43 e 44), .



Grafico

Figura 43: Localizzazione dell'abitazione principale

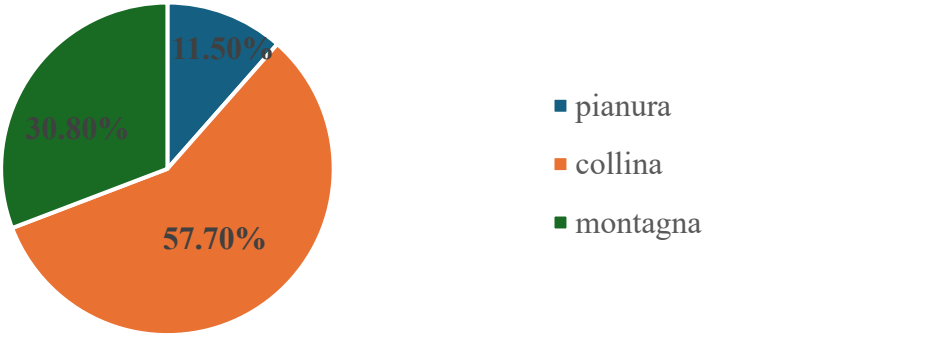


Figura 44: Contesto in cui si trova l'abitazione

I consumi medi annui di pellet ammontano a 23,20 quintali/anno, che vanno a sommarsi alla legna da ardere e cippato che consumano costantemente.
Gli intervistati dichiarano di pagare il pellet 5€ a sacco (da 15 Kg) che corrisponde a 33,30€/q.le e 68€/MWh. Gli utenti di questo segmento di mercato sono disposti a pagare il cippatino 3,50 € per sacco da 15 Kg ovvero 23,30 €/q.le pari a 52€/MWh nel caso di prodotti ritirato direttamente presso il produttore, mentre sono disposti a pagare 4,10 € per un sacco da 15 Kg, nel caso di fornitura diretta presso l'abitazione. In questo caso, il consumatore si aspetto un risparmio di almeno il 10% rispetto al prezzo del pellet.
Oltre il 96% degli intervistati è interessato all'acquisto del nuovo combustibile e di questi, il 92,30% è anche disposto ad apportare piccole modifiche alla propria stufa/caldaia per poter utilizzare il cippatino di legno (Fig. 45):

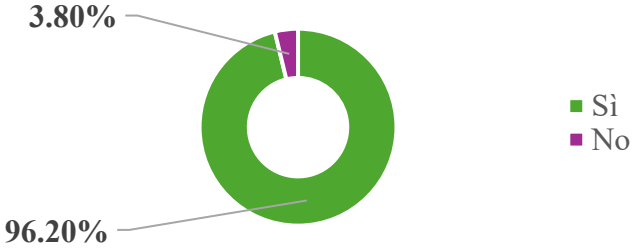


Figura 45: Interesse degli utenti all'acquisto del cippatino

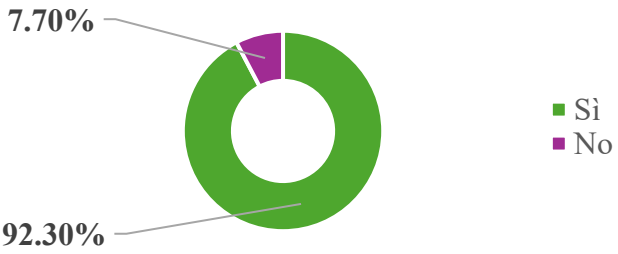


Figura 46: Predisposizione degli intervistati ad apportare piccole modifiche alla caldaia/stufa

Per quanto riguarda il canale di vendita (Fig. 47) risulta prevalere il rivenditore di zona, o produttore forestale, mentre per il confezionamento (Fig. 48) è preferito il confezionamento in sacchi da 15Kg, più agevole nella movimentazione e nello stoccaggio.

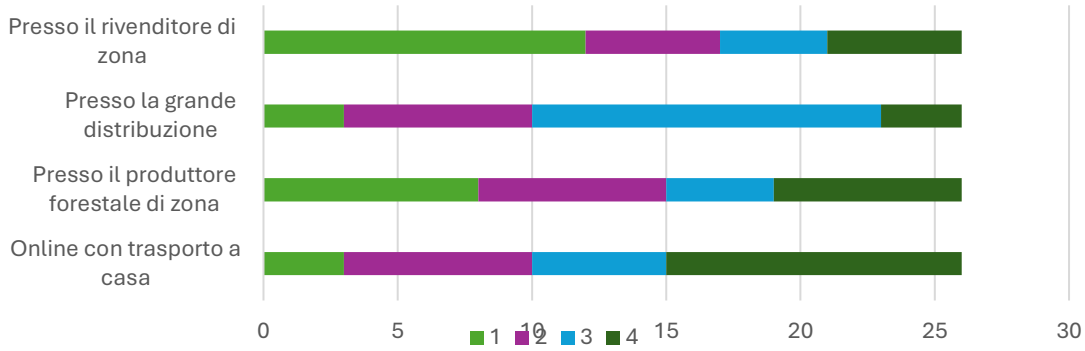


Figura 45: Ordine di preferenza d'acquisto (da 1 a 4) del cippatino da parte degli utenti

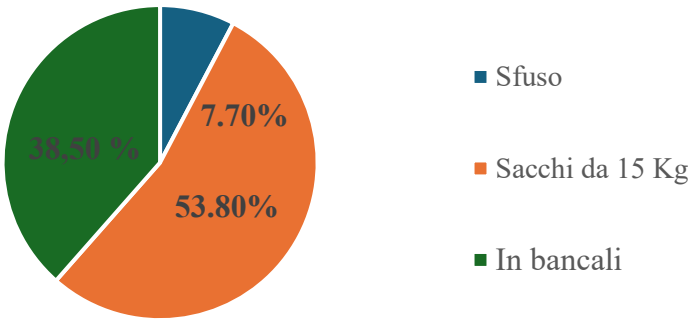


Figura 48: Modalità attraverso la quale gli intervistati preferirebbero acquistare il cippatino

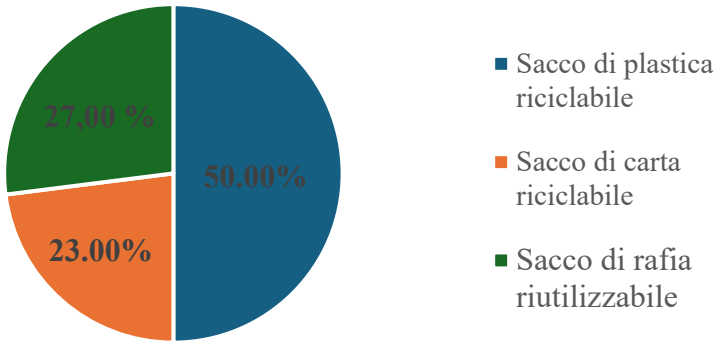
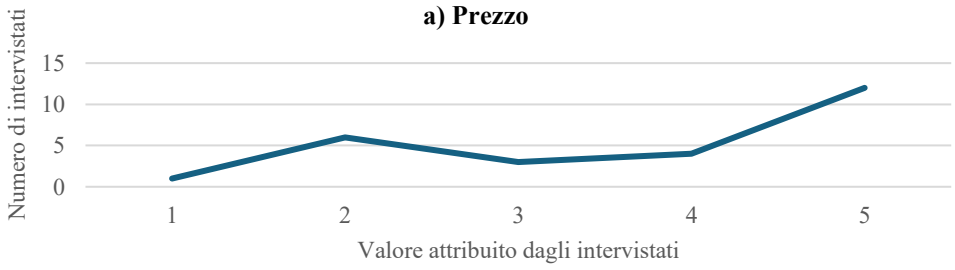
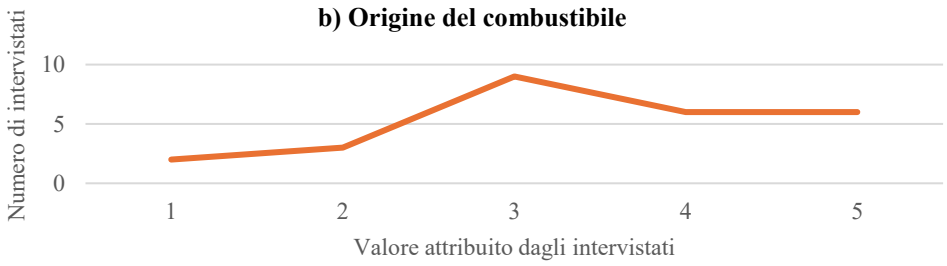
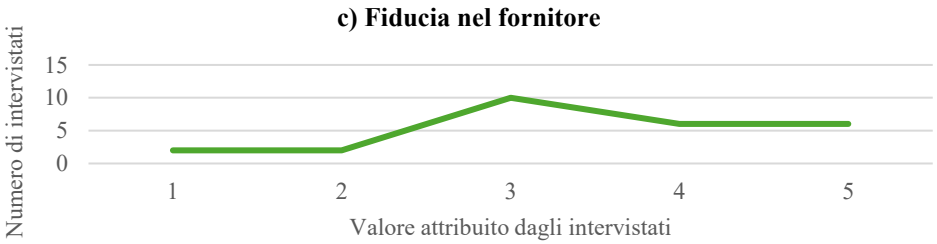


Figura 49: Tipo di confezionamento preferito dagli utenti

Rispetto al packaging (Fig. 49) prevale anche qui il sacco di plastica riciclabile trasparente (50% degli intervistati).
Come per i profili precedenti, anche in questo caso, sono state poste domande su aspetti qualitativi che possono condizionare le preferenze di acquisto (Fig. 50a-50d).
Anche per questo segmento di consumatori il fattore che influenza in modo determinante la scelta di acquisto è il ***prezzo*** e, in modo meno rilevante, la ***fiducia nel fornitore***.
Per quanto riguarda invece i fattori gestionali che possono influire su scelte di acquisto (visibilità della composizione legnosa, la produzione locale sostenibile, le problematiche legate a maggiori volumi da stoccare, la garanzia di funzionamento nel proprio impianto a pellet) i risultati sono illustrati nelle figure 51a-51d.
Come prevedibile, anche in questo caso l'aspetto che condiziona maggiormente l'acquisto risulta essere la ***garanzia di funzionamento nell'impianto a pellet già in possesso dei clienti***, ma in questo caso risulta importante per questo segmento di consumatori anche ***l'origine locale e sostenibile del prodotto***.







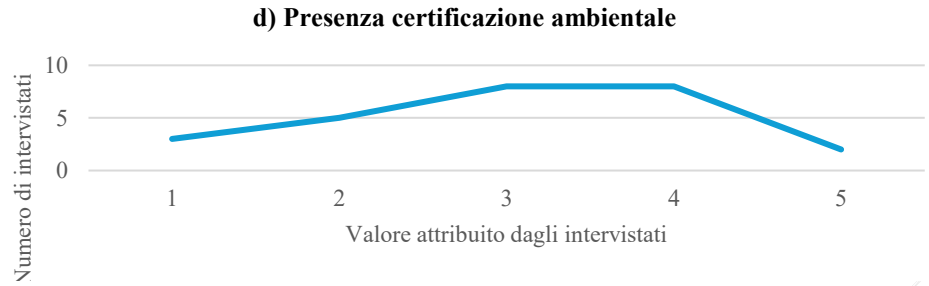
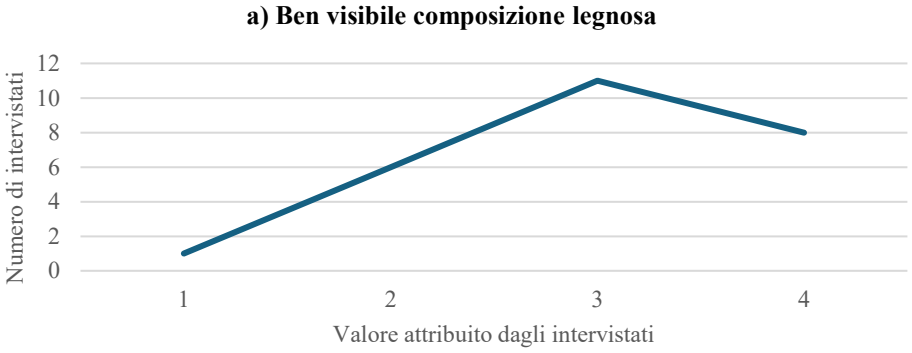
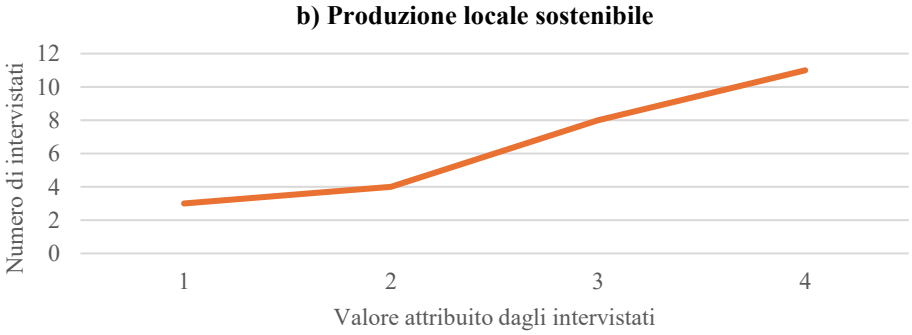


Figure 50a- 50d: Parametri che influenzano la scelta del combustibile





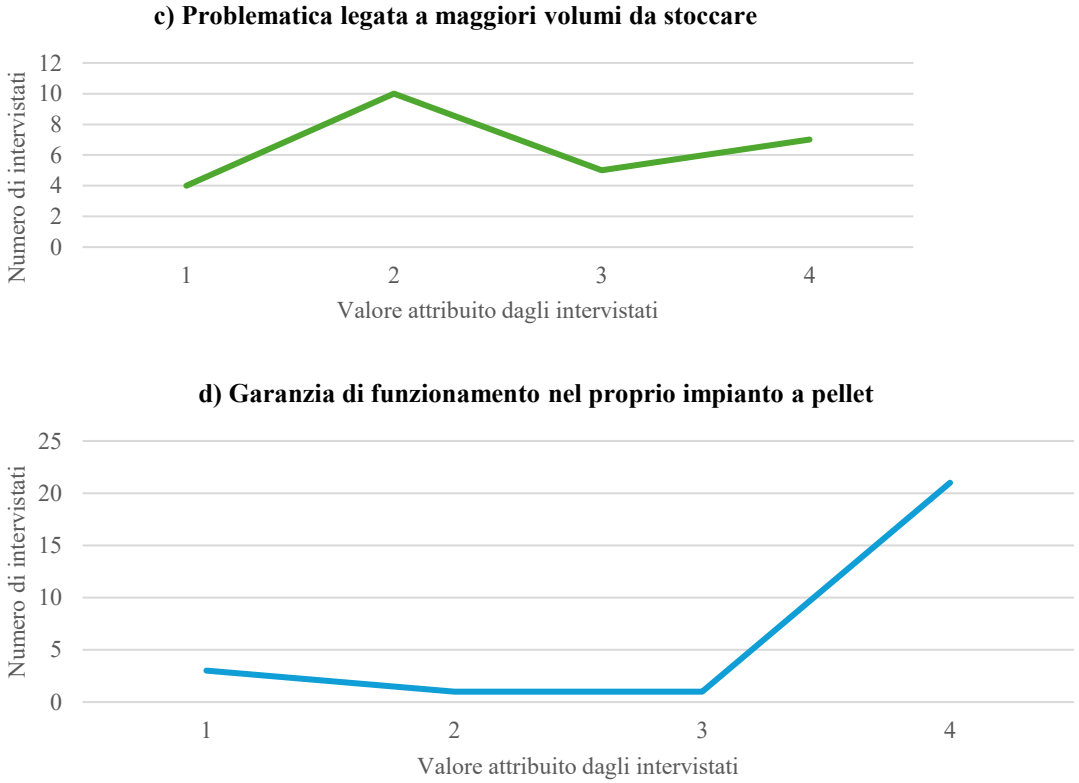


Figure 51a-51d: Rilevanza dei fattori che influenzano il possibile acquisto di cippatino

3.9.2 Individuazione degli obbiettivi e delle linee di azioni per i vari profili dei potenziali consumatori

L'analisi dei profili dei potenziali di consumatori permette la definizione di strategie differenziate per ogni segmento di utente in modo da soddisfare le esigenze di ogni tipologia di utente.

3.9.2.1 Profilo 1 – Soggetti che non conoscono il cippatino

Questa tipologia rappresenta il 27,30 % degli intervistati. Si tratta soprattutto di consumatori che si avvicinano per la prima volta al settore biomasse legnose e si sono recati alla Fiera Progetto Fuoco proprio per conoscere questi nuovi sistemi termici. La maggior parte di questi soggetti risiedono in unità abitative indipendenti (66,70%) ma solo il 13,40 % utilizza già combustibili di origine legnosa per il riscaldamento della propria abitazione. L'interesse a queste nuove tecnologie nasce soprattutto dalle esigenze di riduzione dei costi per riscaldamento. Questo si ripercuote anche sulla loro disponibilità a utilizzare il cippatino calibrato, poiché sono disposti a utilizzarlo solo a fronte di un risparmio di almeno il 34% rispetto al costo energetico del pellet; di conseguenza, sono disposti ad acquistare il cippatino al un prezzo medio di mercato non superiore a 3,60 € a sacco (15Kg). Il fattore chiave per acquisire questi utenti è

quindi la valorizzazione del risparmio economico e dalla provenienza locale del prodotto a loro proposto.

3.9.2.2 Profilo 2 – Soggetti che conoscono il cippatino

Questa tipologia di consumatori è venuta a conoscenza del cippatino di legno soprattutto grazie agli operatori del settore (41,80 %), mentre il 18,2 % grazie alla partecipazione a fiere, il 14,5 % tramite internet, mentre il rimanente 25,5 % mediante altri canali (università, rivenditori o curiosità). Il canale di comunicazione più opportuno per raggiungere questi consumatori rimane quindi la sponsorizzazione con operatori e tecnici del settore, e ciò è confermato dalla fiducia che questo tipo di consumatore ripone nel fornitore per l'acquisto del combustibile, insieme al parametro economico.

3.9.2.3 Profilo 3 – Soggetti non interessati all'acquisto del cippatino

Questo tipo di potenziale consumatore ha vincoli tecnici nell'uso dei combustibili domestici, ovvero, è interessato, ma la tipologia abitativa non consente una facile installazione di questi sistemi. In particolare, il 46,20% di questi utenti risiede in edifici condominiali dove risulta più complicato, se non impossibile, installare l'impianto e stoccare il combustibile. Anche per loro sono importanti le indicazioni date dal fornitore di zona, in merito alla scelta e nell'acquisto della tecnologia e del combustibile. Le strategie per acquisire questi consumatori sono limitate da vincoli tecnici, ma in ogni caso devono passare attraverso gli operatori e tecnici del settore

3.9.2.4 Profilo 4 – Soggetti che utilizzano pellet associato a metano o gpl o gasolio

Questi consumatori utilizzano in proporzione varia il metano e il pellet. Si tratta di una scelta guidata dal fattore economico per limitare le fluttuazioni dei costi di riscaldamento dovute all'andamento del mercato del gas, per mantenere una alternativa. Si tratta quindi di un utente che sta attento alla riduzione dei costi energetici, conseguibili ad esempio con il cippatino calibrato, ma sono utenti molto attenti anche agli aspetti tecnici, ovvero vogliono garanzie di affidabilità di funzionamento del nuovo combustibile all'interno delle proprie stufe o caldaie.

3.9.2.5 Profilo 5 – Soggetti che utilizzano pellet associato ad un combustibile di origine legnosa

La quasi totalità di questi consumatori sono interessati all'acquisto del cippatino calibrato apportando anche modifiche nei settaggi del proprio impianto termico.

Sono utenti che da molto tempo utilizzano già il pellet, legna da ardere o cippati e che quindi conoscono in modo abbastanza approfondito i principi di funzionamento delle varie tecnologie. La strategia di marketing per favorire l'acquisizione di questo consumatore deve fare perno sulla origine locale del prodotto e sull'acquisto presso il proprio rivenditore di zona (di fiducia), senza trascurare il fattore economico. Una strategia improntata quindi sulla valorizzazione della filiera corta e sui vantaggi economici conseguibili con il nuovo combustibile.

3.9.3 Possibili strategie generali di marketing per questo nuovo prodotto

Sulla base dei risultati emersi dall'indagine, possiamo ipotizzare che le possibili strategie di marketing necessarie allo sviluppo del mercato del cippatino calibrato si basino su alcuni fattori base:

- In primis, **"creare il mercato"**, far semplicemente conoscere il nuovo bio-combustibile, e sensibilizzare si aspetti come: l'origine locale, i vantaggi economici per i consumatori, i vantaggi per l'economia locale, ecc. e quindi, generare il bisogno da soddisfare;
- creare una **certificazione ad hoc del bio-combustibile**, come quella individuate dal progetto MICROWOOD (par. 4.1), a garanzia della affidabilità di funzionamento

- nelle prime fasi di sviluppo del mercato, fornire anche **assistenza tecnica per il primo settaggio** della stufa e caldaie in modo da ottimizzare la potenza, l'efficienza e le emissioni dell'impianto in modo da garantire l'affidabilità del prodotto
- nella prima fase di introduzione sul mercato il cippatino calibrato dovrà avere **pezzi estremamente competitivi rispetto al pellet**. È auspicabile un prezzo di mercato che sia almeno il 30% inferiore rispetto al pellet di importazione. Solo in un secondo momento potrà essere valutato un progressivo allineamento rispetto al prezzo del pellet.
- favorire la **vendita online del prodotto**, considerato che quasi il 40% degli utenti sarebbe interessato a questa modalità di acquisto
- commercializzarlo in **sacchi trasparenti** per consentire una visualizzazione immediata della qualità del prodotto (granulometria, presenza di polveri, ecc.)
- creare di un **brand locale** che specifichi le modalità di produzione del materiale e fidelizzi la clientela locale;
- Realizzare **campagne promozionali che evidenzino gli effetti locali** legati all'acquisto consapevole da parte dei consumatori, quindi gli effetti economici locali e gli effetti sulla manutenzione del bosco e sulla regimazione dei deflussi superficiali e riduzioni dei rischi di incendi

4 Conclusioni

Il progetto MICROWOOD ha dimostrato la fattibilità tecnico–operativa di un nuovo biocombustibile legnoso per uso domestico – il cippatino calibrato (CMWC, Calibrated Micro Wood Chips) – pensato come surrogato funzionale del pellet e basato su biomassa locale (in particolare castagno), con l'obiettivo di ridurre la dipendenza da pellet di importazione e, al contempo, valorizzare filiere forestali territoriali.
Le prove di combustione in ambiente controllato hanno evidenziato che la compatibilità del combustibile con le stufe a pellet già presenti presso gli utenti domestici dipende da due condizioni imprescindibili:

- Qualità/omogeneità del biocombustibile: il passaggio dal cippatino A1+ (MWC) a un cippatino "calibrato" è risultato decisivo. Il MWC, quando presenta particelle >31,5 mm, tende infatti a bloccare la coclea rendendo il combustibile non idoneo all'uso nelle stufe a pellet di vecchia generazione.
- Adattamento dei parametri di alimentazione e aria: per compensare la bassa densità apparente del cippatino calibrato, circa un terzo rispetto al pellet, è necessario modificare i tempi di alimentazione ed il tiraggio, per evitare instabilità di fiamma o perdita di potenza.

Sul piano operativo, le prove hanno anche identificato criticità e soluzioni pratiche: il fenomeno di bridging nella tramoggia (archi e scarsa scorrevolezza) è stato eliminato con un dispositivo a vibrazione; inoltre, la presenza di bracieri con geometrie/flussi aria dal basso, può generare dispersione del combustibile in camera di combustione, indicando la necessità di adattatori specifici per alcune tipologie di stufe.

Nel caso studio più favorevole (stufa Ravelli Adele 7, senza ventilazione dal basso), la campagna di test è stata ampia (prove replicate secondo UNI EN 14785:2006) mostrando una elevata affidabilità di esercizio quando alimentate con cippatino calibrato. I test di oltre 155 ore complessive di funzionamento sono avvenuti senza blocchi, consumando circa 170 kg di combustibile, a fronte di settaggi non standard rispetto al pellet.
Le prove sperimentali indicano quindi l'esigenza di un futuro schema di certificazione del cippatino calibrato che si focalizzi su pochi parametri realmente "abilitanti" per l'uso domestico:

- Lunghezza massima delle particelle (assenza di elementi lunghi): soglia critica $\leq$25 mm per prevenire problemi di alimentazione e garantire regolarità.
- Distribuzione granulometrica controllata (frazioni utili e limiti alle frazioni fini), sapendo che i setacci tradizionali possono non intercettare bene particelle "lunghe e sottili", aprendo alla possibilità di controlli qualitativi più evoluti (es. classificazione per immagini) nel medio termine.
- Umidità molto bassa (prossima a quella del pellet) e basso contenuto in ceneri; aspetti che comunque sono coerenti con l'obiettivo di produrre un combustibile di alta qualità per apparecchi domestici.

In questo quadro, la disponibilità di un dispositivo di vagliatura/raffinazione brevettato rappresenta un elemento strategico: non solo per migliorare la ripetibilità del processo produttivo, ma anche per favorire un controllo industriale della qualità, coerente con la logica di certificazione.

L'indagine di mercato ha poi evidenziato la presenza di un mercato "pronto a sperimentare", a patto che siano chiari i vantaggi economici e la compatibilità con impianti esistenti. In particolare, è risultato che una percentuale molto alta dei potenziali consumatori dichiara interesse all'acquisto del nuovo combustibile e la disponibilità ad apportare piccole modifiche alle proprie stufe/caldaie.
Dall'indagine emerge poi chiaramente che il prezzo rimane la leva decisiva: in particolare, nelle fasi iniziali il cippatino calibrato deve posizionarsi con un discreto vantaggio competitivo sul prezzo.
Per quanto riguarda i canali di distribuzione sembrano preferiti i canali diretti con operatori boschivi e con centri di commercializzazione locali, ma è presente una buona apertura anche all'acquisto online.
Rispetto alla modalità di commercializzazione, domina la richiesta di sacchi movimentabili (es. 12-15 kg), e soprattutto l'uso di packaging trasparente per avere una percezione immediata della qualità del contenuto.
Nel contesto europeo, la domanda residenziale di pellet resta quindi un driver importante e questo rafforza l'interesse verso alternative locali che riducano esposizione a volatilità e dipendenze da altre filiere.
Le evidenze raccolte indicano chiaramente che la diffusione del *cippatino calibrato* non è solo una questione di "prodotto", ma di ecosistema, dove la compatibilità per alcune tipologie di stufe (in particolare con determinate configurazioni del braciere e dell'aria) possono richiedere componenti dedicati (es. bracieri adattati) per evitare dispersioni e cali prestazionali, oltre a settaggi mirati.
Nelle prime fasi di approccio al mercato sarà cruciale offrire anche linee guida semplici e, idealmente, assistenza al primo settaggio (tempi coclea/tiraggio) per stabilizzare prestazioni ed

emissioni e ridurre il rischio di esperienze negative degli utenti. Questo perché la minore densità apparente del cippatino calibrato implica impatti su volumi, trasporto e gestione scorte e di conseguenza, questi aspetti vanno integrati nello schema di qualità e nelle strategie commerciali.

In sintesi, MICROWOOD fornisce risultati molto concreti: il cippatino calibrato può funzionare come combustibile domestico alternativo al pellet, ma solo se prodotto secondo specifiche rigorose (calibrazione/vagliatura/umidità) e se accompagnato da regole di impiego (settaggi) e, per alcune tecnologie, da adattamenti impiantistici. Esistono quindi i presupposti tecnici per lo sviluppo di una nuova filiera locale “premium”, con ampi benefici economici e territoriali potenziali; si tratta di saperne cogliere le opportunità superando i rischi tecnici che questa ricerca ha evidenziato.

5 Bibliografia

AIEL. (2015). *Manuale per la certificazione di qualità dei biocombustibili legnosi Parte speciale per la certificazione del cippato*. www.aiel.cia.it

Anca-Couce, A., Hochenauer, C., & Scharler, R. (2021). Bioenergy technologies, uses, market and future trends with Austria as a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *135*, 1–22. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110237

Bademlioglu, A. H., Canbolat, A. S., & Kaynakli, O. (2020). Multi-objective optimization of parameters affecting Organic Rankine Cycle performance characteristics with Taguchi-Grey Relational Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *117*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109483

Baja, S., Chapman, D. M., & Dragovich, D. (2007). Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning. *Environmental Modeling and Assessment*, *12*(3), 171–184. https://doi.org/10.1007/s10666-006-9059-1

Baskent, E. Z. (2024). A thorough assessment of various forest management planning initiatives and development of improvement strategies towards an ecosystem-based planning. *Environmental Development*, *50*, 101006. https://doi.org/10.1016/J.ENVDEV.2024.101006

Bernetti, I., & Fagarazzi, C. (2002). L'IMPIEGO DEI MODELLI MULTICRITERIALI GEOGRAFICI NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE. *AESTIMUM*, *41*, 1–26. https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf

Bioenergy Europe. (2019). *Statistical Report: Pellet Report 2019*. www.bioenergyeurope.org

Bioenergy Europe. (2023). *Statistical Report: Pellet Report 2023*. www.bioenergyeurope.org

Carbone, F., Moroni, & S., Mattioli, & W., Mazzocchi, F., Romagnoli, & M., & Portoghesi, & L. (2020). Competitiveness and competitive advantages of chestnut timber laminated products. *Annals of Forest Science*, *77*(51), 1–19. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13595-020-00950-4

Chen, W. H., Carrera Uribe, M., Kwon, E. E., Lin, K. Y. A., Park, Y. K., Ding, L., & Saw, L. H. (2022). A comprehensive review of thermoelectric generation optimization by statistical approach: Taguchi method, analysis of variance (ANOVA), and response surface methodology (RSM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *169*, 112917. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112917

Cheng, Z., Leal, J. H., Hartford, C. E., Carson, J. W., Donohoe, B. S., Craig, D. A., Xia, Y., Daniel, R. C., Ajayi, O. O., & Semelsberger, T. A. (2021). Flow behavior characterization of biomass Feedstocks. *Powder Technology*, *387*, 156–180. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.004

Da Lio, L., Bortolus, M., & Canu, P. (2025). Emissions reduction from wood pellet stoves by uniform feeding. *Renewable Energy*, *242*, 122273. https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2024.122273

European Commission. (2024, May 22). *Bioenergy Europe Statistical Report*. 2022. https://bioenergyeurope.org/bioenergy/

Fagarazzi Claudio, Miceli Andrea, Sarri Daniele, & Lisci Riccardo. (2023). *Dispositivo di vagliatura per la produzione di cippatino calibrato di legno per l'impiego in caldaie e stufe a pellet - IT202200022869A1*.

Guerrini, L., Tirinnanzi, A., Guasconi, F., Fagarazzi, C., Baldi, F., Masella, P., & Parenti, A. (2019).

A Plackett-Burman Design to Optimize Wood Chipper Settings. *Croatian Journal of Forest Engineering*, *40*, 81–87. https://doi.org/20193278560

Hartmann, H., Böhm, T., Daugbjerg Jensen, P., Temmerman, M., Rabier, F., & Golser, M. (2006). Methods for size classification of wood chips. *Biomass and Bioenergy*, *30*(11), 944–953. https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2006.06.010

Hinterreiter, S., Hartmann, H., & Turowski, P. (2012). Method for determining bridging properties of biomass fuels-experimental and model approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *2*(2), 109–121. https://doi.org/10.1007/s13399-012-0033-7

ISTAT. (2020). *Rapporto sul Territorio 2020: Capitolo 2 La struttura del territorio*. https://doi.org/10.1481/Istat.RapportoTerritorio.2020.2.1.1

ISTAT. (2024). *STATISTICAL MEASURES FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION: REALITIES IN URBAN SETTINGS AND NEW GEOGRAPHIES FOR AGRICULTURE*. http://www.istat.it

Keselman, H. J., Huberty, C. J., Lix, L. M., Olejnik, S., Cribbie, R. A., Donahue, B., Kowalchuk, R. K., Lowman, L. L., Petoskey, M. D., Keselman, J. C., & Levin, J. R. (1998). Statistical Practices of Educational Researchers: An Analysis of their ANOVA, MANOVA, and ANCOVA Analyses. *Review of Educational Research*, *68*(3), 350–386. https://doi.org/10.3102/00346543068003350

Kumar, R., & Kumar, S. (2024). An extended combined compromise solution framework based on novel intuitionistic fuzzy distance measure and score function with applications in sustainable biomass crop selection. *Expert Systems with Applications*, *239*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122345

Li, L. L., Miao, Y., Lim, M. K., Sethanan, K., & Tseng, M. L. (2024). Integrated energy system for low-carbon economic operation optimization: Pareto compromise programming and master-slave game. *Renewable Energy*, *222*. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119946

Lier, M., Köhl, M., Korhonen, K. T., Linser, S., Prins, K., & Talarczyk, A. (2022). The New EU Forest Strategy for 2030: A New Understanding of Sustainable Forest Management? *Forests*, *13*(2). https://doi.org/10.3390/f13020245

Manetti, M. C., Conedera, M., Pelleri, F., Montini, P., Maltoni, A., Mariotti, B., Pividori, M., & Marcolin, E. (2022). Optimizing quality wood production in chestnut (Castanea sativa Mill.) coppices. *Forest Ecology and Management*, *523*. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120490

Mena, R., Godoy, M., Catalán, C., Viveros, P., & Zio, E. (2023). Multi-objective two-stage stochastic unit commitment model for wind-integrated power systems: A compromise programming approach. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *152*. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109214

Míguez, J. L., Morán, J. C., Granada, E., & Porteiro, J. (2012). Review of technology in small-scale biomass combustion systems in the European market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(6), 3867–3875. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.044

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, *9*(3–5), 161–176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8

Sahoo, K., Bilek, E. M. (Ted), & Mani, S. (2018). Techno-economic and environmental assessments of storing woodchips and pellets for bioenergy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *98*, 27–39. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.055

St»hle, L., & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and Intelligent*

Laboratory Systems, *6*(4), 259–272. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4

Sungur, B., & Basar, C. (2023). Experimental investigation of the effect of supply airflow position, excess air ratio and thermal power input at burner pot on the thermal and emission performances in a pellet stove. *Renewable Energy*, *202*, 1248–1258. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.042

USDA. (2024). *Wood Pellets Annual*. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Wood Pellets Annual_The Hague_European Union_E42024-0018.pdf

Whittaker, C., & Shield, I. (2017). Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 71, pp. 1–11). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.119

Wöhler, M., Jaeger, D., Reichert, G., Schmidl, C., & Pelz, S. K. (2017). Influence of pellet length on performance of pellet room heaters under real life operation conditions. *Renewable Energy*, *105*, 66–75. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.047

Zeleny, M. (1998). Multiple criteria decision making: Eight concepts of optimality. *Human Systems Management*, *17*(2), 97–107. https://doi.org/https://doi.org/10.3233/HSM-1998-17203

6 Appendice – Dotazioni del laboratorio SILVALAB del DAGRI

Strumenti per analisi in laboratorio

Analisi contenuto idrico, classi granulometriche, contenuto in ceneri, potere calorifico inferiore, ecc.

- vaglio setacciatore SENECO
- stufa essiccatore
- bilancia ETERNITY130
- BILANCIA SEMI-MICRO DUAL RANGE
- BOMBA CALORIMETRICA ISOPERIBOLICA / PER COMBUSTIONE C 200 IKA
- bombola ossigeno e riduttore pressione per bomba calorimetrica
- Muffola per stima contenuto in ceneri
- REBER MACCHINA SOTTOVUOTO PROFESSIONAL 55 barra 55 cm MOD.9712 N vacuum packer
- FORNO MICROONDE Sharp R-642INW

Strumenti per analisi in esterno – polveri sottili

- Testo 380 – integrato con analizzatore fumi testo 330-2 LL V3 - Analizzatore portatile per verifica su impianti termici delle polveri sottili, O2 e CO
- Analizzatore polveri Wohler SM500
- Misuratore di portata MIS.VELOCIT· DATA LOGGER FLOWTESTST
- CAVO COLL. DA 1,3 M X SONDA FLOWTES
- TUBO DI PITOT 1000 MM MOD.FLOWTEST
- CAMP. BRAVO H PLUS 220 V
- TRAPPOLA X GEL-SILICE NUOVA 1L
- KIT PREL. INOX P.F.D47 CURVA E UGEL
- TUBO PREL.DRITTO 1 M X P.F.ISOCIN.
- MANICOTTO TUBO SONDA GAS/TIT
- Multimpattatore per Pm 10 KIT IMPATT.CASCATA INOX MULTST.MSSI

Strumenti per analisi emissioni gas degli impianti

- Madur GA 12 plus ANAL.EM. GA12PLUS O2 CO NO SO2

Strumenti per analisi di potenziali inquinanti nelle ceneri

- Contatore geiger CONTATORE GEIGER INSPECTOR

Postazione per prove di combustione

Postazione per prove di combustione con stufe a pellet modello MCZ Giò e Ravelli Adele7, Canna di uscita fumi, strumentazione di analisi fumi