

LOGO PARTNER
(1,7x6 cm)



FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI

Evento finale di condivisione dei risultati del GO CAREGA

Valli del Pasubio, 15 luglio 2022

La carbonizzazione del legno per lo sviluppo delle imprese forestali: costruzione di un impianto dimostrativo prototipale per la produzione di carbonella

Ing. Renato Nistri

Chi siamo



Renewable energy consortium for research & demonstration

- Ente di ricerca no-profit pubblico-privato
- Specializzato in:
 - Ingegneria meccanica ed energetica
 - Chimica
 - Biotecnologie
 - Agronomia

56 progetti nazionali
(4 ongoing)

25 progetti finanziati su
fondi EU e Int
(6 ongoing)

16 contratti privati
Per ricerca e dimostrazione
(2021)



Presidente: Prof. David Chiaramonti
david.chiaramonti@polito.it



I membri:



Evento finale di condivisione dei risultati del GO CAREGA

Valli del Pasubio, 15 luglio 2022

Il progetto

Il contesto



Green Economy = opportunità

- ✓ Utilizzo in Cascata delle Biomasse (**Cascade use of Biomass**):
 - ✓ *Priorità ai bioprodotto, energia coprodotta*
 - ✓ *Piano industriale non direttamente legato agli incentivi, come per la bioenergia.*
 - ✓ *Qualità dei prodotti: dipende dallo specifico mercato, ma in generale è elemento cruciale. Caso diverso da uso energetico delle biomasse.*
 - ✓ *Scala: in generale può essere inferiore al caso energetico. Positivo rispetto alla filiera di approvvigionamento ed all'accettabilità sociale*
 - ✓ *Scala ed investimenti sono correlate.*
 - ✓ *Necessità di sviluppare mercati e filiere di vendita*
 - ✓ *Possibile valore aggiunto al produttore primario della risorsa.*

➤ Tecnologie basate su combustione e gassificazione

- ⇒ Combustione: affidabile, buoni rendimenti, flessibilità verso materia prima, forte incidenza calore a bassa T sul Business Plan
- ⇒ Gassificazione: maggiori rendimenti e complessità, necessità comunque di collocare il calore per sostenibilità economica. Tecnologia maturata nel tempo. Gestione complessa, sensibilità a tipologia e pezzatura biomassa.

➤ Criticità

- ⇒ Generazione EE: attività prettamente industriale e non strettamente agricolo-forestale.
- ⇒ Effetto di scala rilevante, sia su costi di investimento che di gestione. Sfavorevole a piccola (micro) scala: elevati costi specifici di investimento.
- ⇒ Business Plan dipendente da incentivi EE (variabili nel tempo, soggetti a continue revisioni in tutta Europa) + uso del calore (a bassa T)

Le imprese forestali:

- *Conservano e tramandano lavorazione dei prodotti del bosco - da rilanciare e sviluppare ulteriormente*
- *Controllano la materia prima, elemento chiave per*
 - ⇒ *Sostenibilità dei BP* ↔ *Bancabilità dei progetti*
- *Sono presenti sul territorio, lo presidiano e proteggono*
- *Hanno capacità di investimento commisurata alle dimensioni aziendali (criticità rispetto a costi specifici elevati di generazione elettrica a piccola scala da biomassa solida)*
- *Sono scarsamente propense ad accettare significativi rischi industriali e tecnologici*

Evento finale di condivisione dei risultati del GO CAREGA

Valli del Pasubio, 15 luglio 2022

Il carbone vegetale

Una possibile soluzione





Biocomb.SOLIDO
 (C, H, O + tracce
 N,S) da PIROLISI
 LENTA di biomassa
 lignocell. a T >
 300°C

UNI EN 1860-2 2005:
 C fisso $\geq 75\%$ (db), Ceneri $\leq 8\%$,
 LHV: 28 – 33 MJ/kg (db),

- *Colore nero ed aspetto riflettente*
- *Morfologia legnosa*
- *Brucia senza fiamma*

Az.Forestali e Carbone in IT

- Prodotto tradizionale, ma ormai marginale produzione nazionale (importazione da Sud America, Est EU, Egitto etc)
 - Mercato noto (ma inferiore a pellet) e non dipendente da incentivi
- Carbonizzatori:
- Impianti più semplici e meno complessi da esercire
 - Investimento inferiore rispetto a gassificazione
 - Possibile piccola scala
 - Generazione di Calore

• Alcuni possibili mercati

✓ BBQ

✓ Carboni Attivi

✓ Carbone Metallurgico

✓ Produzione di Silicio

✓ Componenti Food-feed

✓ Uso nel suolo (Biochar)

• En.Termica Rinn.

✓ Combustione dei gas prodotti

• Scala e tecnologie

✓ Variabili in funzione del mercato e dell'uso finale



Evento finale di condivisione dei risultati del GO CAREGA

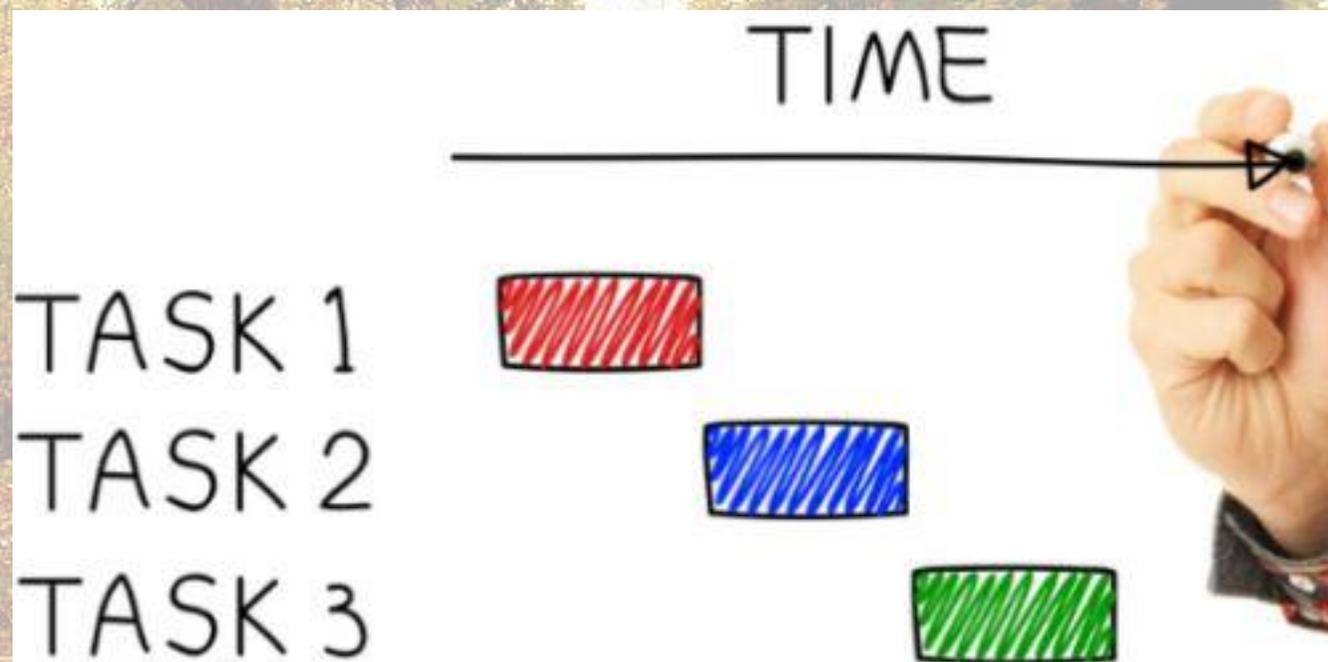
Valli del Pasubio, 15 luglio 2022

Tecnologie e Processi

Come lo abbiamo progettato



Le attività del progetto



Step attività RE-CORD

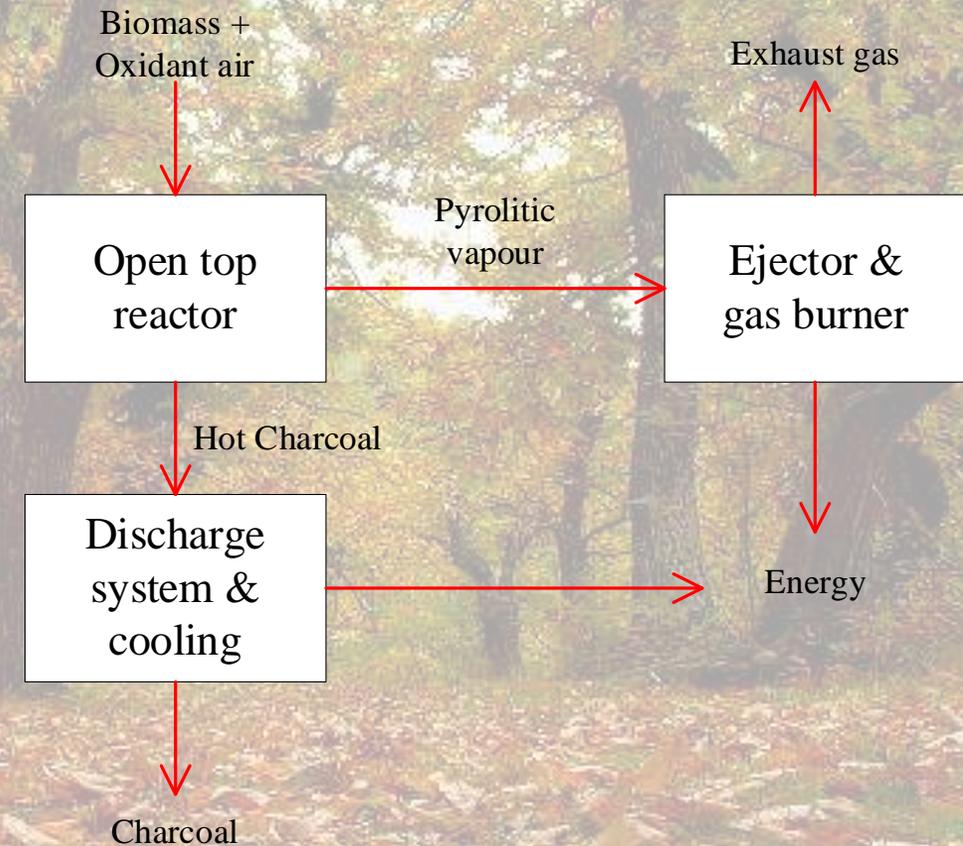
1. Campagna sperimentale preliminare sul precedente prototipo (att. 1.3)
 - Validazione tecnologia e qualità carbone prodotto
 - Individuazione criticità
2. Progettazione del nuovo prototipo (att. 1.1)
 - Adempimento requisiti dettati dal progetto CAREGA
 - Risoluzione criticità
 - Bilanci di massa ed energia
 - Dimensionamento componenti
 - Progettazione logiche di controllo
3. Costruzione, assemblaggio e trasporto del prototipo (att. 1.2)
4. Collaudo e dimostrazione prototipo (att. 1.2)

Prototipo di partenza: CarbON



- Reattore continuo
- Tecnologia a letto fisso, open top, downdraft
- Processo di pirolisi ossidativa autotermica
- Capacità: 50 kg h⁻¹ (Cippato o tronchetti)
- Prodotto principale: carbone vegetale
- Coprodotto: miscela di vapori organici e gas non condensabili

Prototipo di partenza: schema di processo



Campagna sperimentale preliminare – 1

- Nove test sperimentali
 - Ore totali di funzionamento: 135 h
- Cinque biomasse testate
 - Castagno, pioppo, eucalipto, salice e olmo.
- Pezzatura testata
 - Tronchetti 40x40x70 mm (Pioppo, castagno, eucalipto)
 - Cippato G100 (Castagno, salice, olmo)



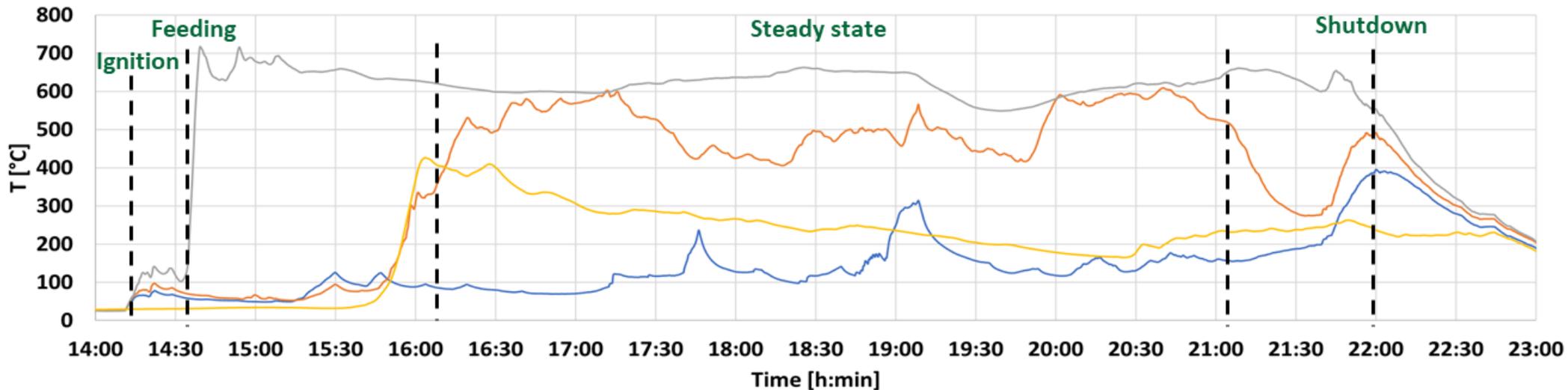
Castagno (tronchetti)



Castagno (G100)

Campagna sperimentale preliminare – 2

- Buona stabilità
- Semplicità di funzionamento



Campagna sperimentale preliminare: carbone vegetale

- Carbone di elevata qualità
 - Carbonio fisso > 80 %
 - Basso contenuto di ceneri < 5 %
- Resa: 20-25 wt%_{db}



Caratteristiche carbone	Unità	Castagno	Eucalipto	Pioppo
Bulk density	$kg\ m^{-3}\ a.r.$	146	170	102
Umidità	wt.% d.b.	3.20	5.20	7.27
LHV	$MJ\ kg^{-1}\ d.b.$	30.8	32.5	32.8
Proximate analysis				
Sostanza volatile	wt.% d.b.	12.7	9.20	12.8
Ceneri	wt.% d.b.	3.90	4.77	2.60
Carbonio Fisso	wt.% d.b.	83.4	86.0	84.9
Ultimate analysis				
C	wt.% d.b.	86.8	89.5	89.3
H	wt.% d.b.	2.10	1.49	1.80
N	wt.% d.b.	0.50	0.64	0.30
O (calc.)	wt.% d.b.	6.70	3.65	6.00

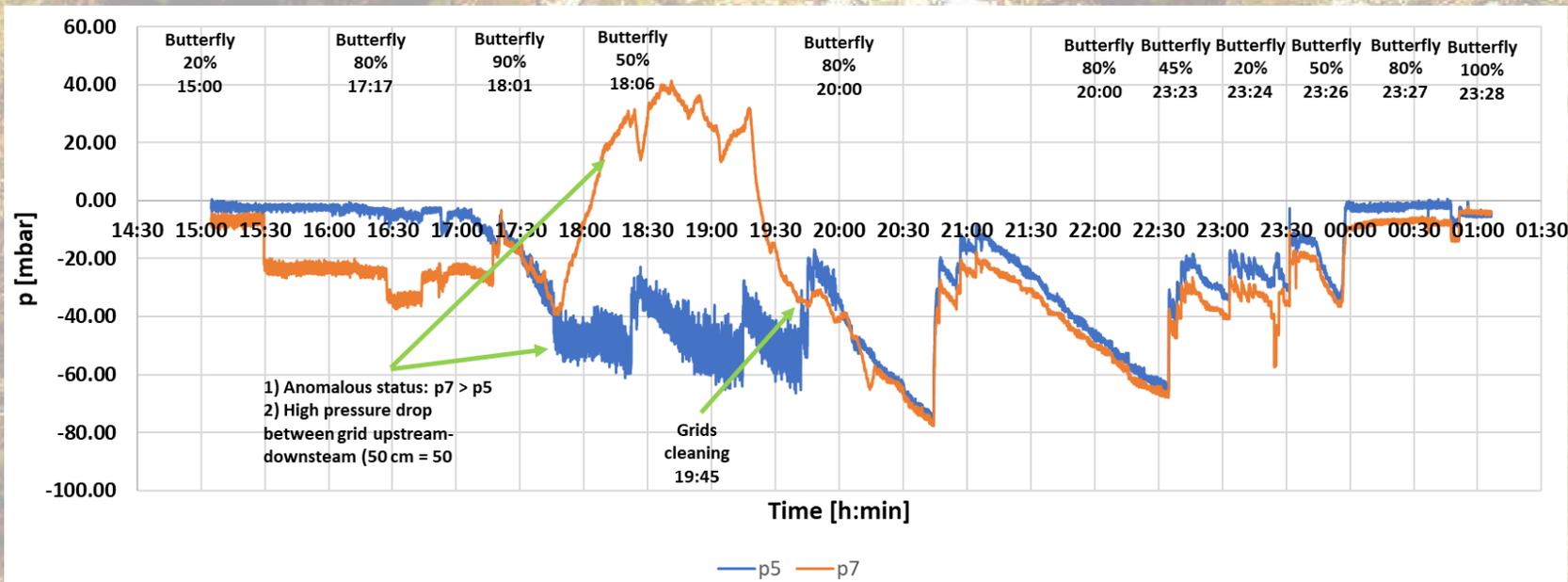
Criticità osservate durante la campagna sperimentale – 1

- Vapori estratti in modo disuniforme
- Eccessivo trascinamento di particelle solide



Criticità osservate durante la campagna sperimentale – 2

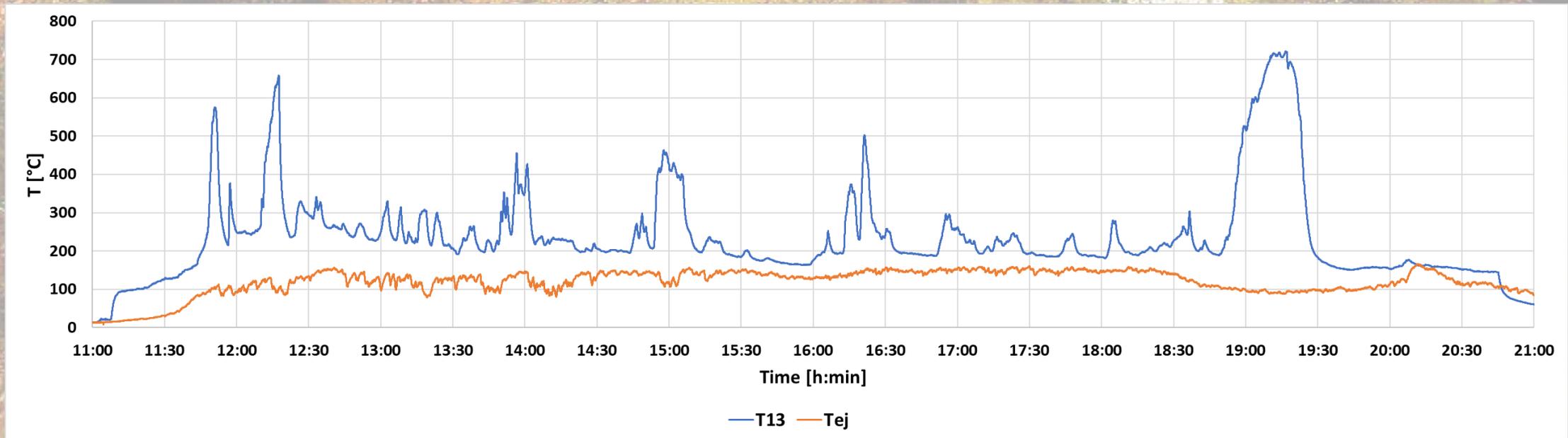
- Elevate perdite di carico in prossimità delle bocche di estrazione
 - Condizioni di estrazione dei vapori non ottimali



- Mancanza di automazione

Criticità osservate durante la campagna sperimentale – 3

- Basse temperature al camino
 - Nessun controllo sull'aria comburente
 - Andamento non-stazionario nel tempo
 - Condizioni di combustione al camino non ottimale



Input progettazione nuovo prototipo

- **Dati raccolti durante la campagna sperimentale**

- Modalità di esercizio
- Caratterizzazione prodotti
- Bilanci di massa e di energia
- Criticità osservate



- **Requisiti progetto CAREGA**

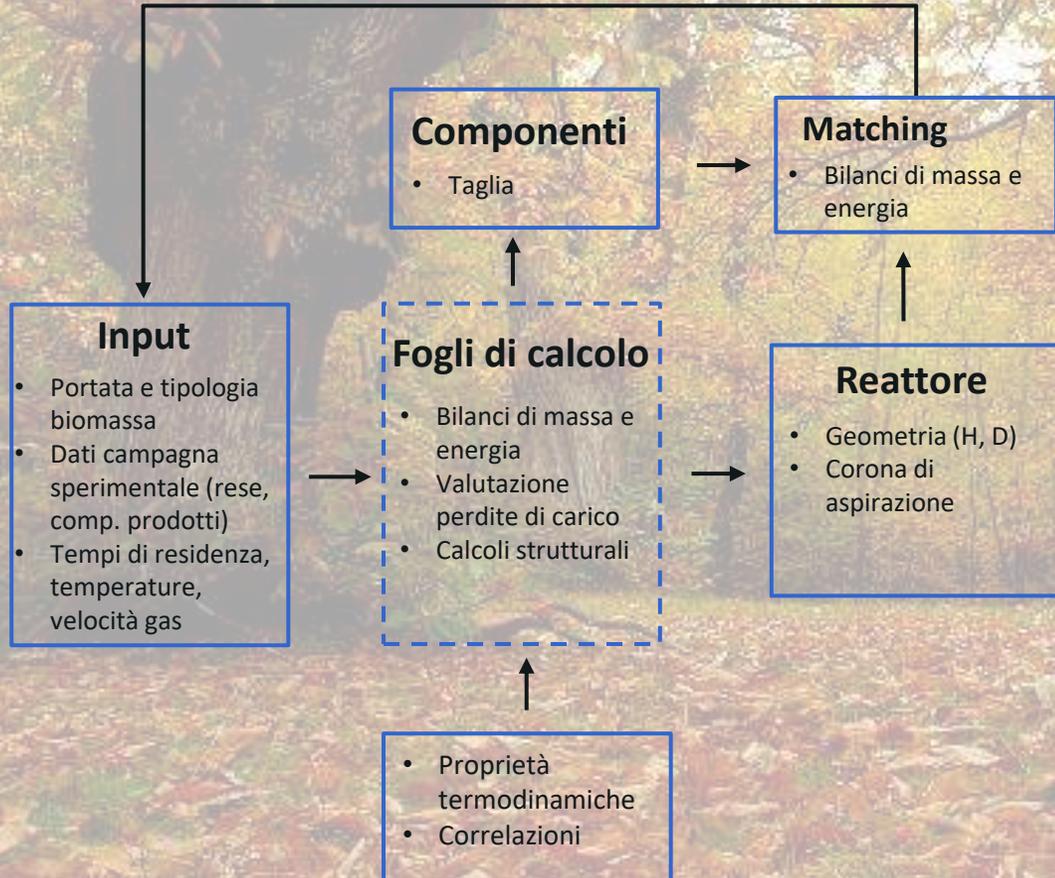
- Produzione di carbone di elevata qualità
- Semplicità di funzionamento
- Prototipo facilmente trasportabile

Soluzioni progettuali adottate

- Tecnologia a letto fisso, open top, downdraft e processo pirolisi ossidativa
- **Riprogettazione del reattore**
 - Raddoppiata la superficie di estrazione dei vapori per ridurre il trascinarsi dei solidi
 - Feritoie ricavate lungo tutta la sezione del reattore per uniformare estrazione dei vapori
 - Convogliamento dei vapori in una corona anulare
- **Progettazione di un ciclone ad alta efficienza**
 - Aumento dell'efficienza di rimozione del particolato
- **Posizionamento di due bruciatori pilota a GPL nel reattore**
 - Preriscaldamento del reattore (riduzione tempo di avviamento)
- **Inserimento di una caldaia ad acqua calda e di un bruciatore industriale**
 - Controllo aria comburente per combustione più efficiente dei vapori (minor impatto ambientale)
 - Raffreddamento fumi combusti prima dell'evacuazione al camino
- **Automatizzazione impianto: definizione di logiche per la gestione e sicurezza delle operazioni**

Progettazione componenti impianto

- Sono stati sviluppati dei fogli di calcolo per il dimensionamento dei componenti e per la valutazione delle perdite di carico.



Legend

- Input
- Reference
- Output
- First attempt value
- Constant

Incoming biomass (Chestnut)

Biomass moisture	%wt _{dm wb}	20.00
Biomass	kg/h	50.00
Moisture	kg/h	10.00
Dry biomass	kg/h	40.00

Plant Equivalence ratio (Biomass)

ER _{dm dry}	kg _{air} /kg _{air st}	0.16
----------------------	---	------

Incoming Sub-Stoich. Air

Stoich. Air	kg/h	224.58
-------------	------	--------

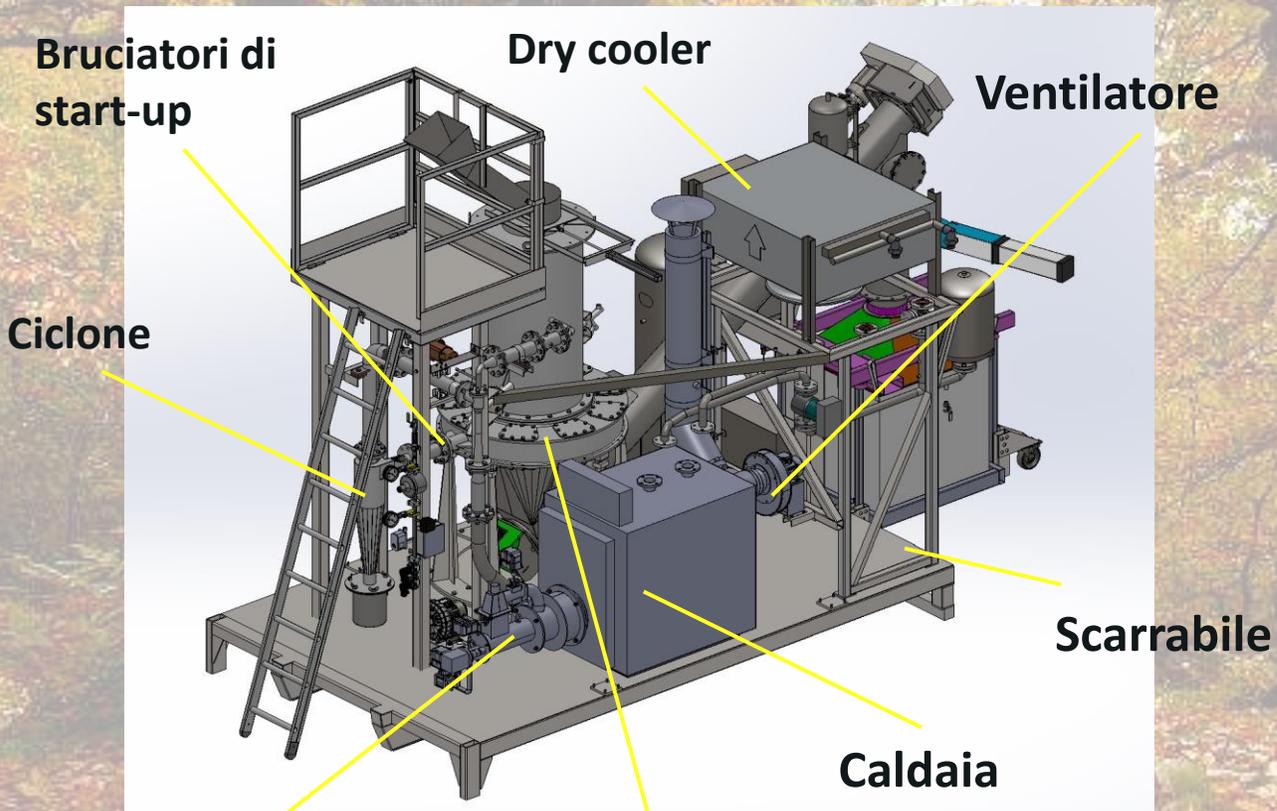
Reactor mass balance

Q _{gas} (m ³ /h)	50	60	70	77	90	100	110
m _{gas} (kg/h)	50	60	70	77	90	100	110
Q _{gas} (m ³ /h)	131.6	157.9	184.2	202.6	236.8	263.2	289.5
ΔP _{reactor} (mbar)	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12
ΔP _{down} (mbar)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11
ΔP _{upline} (mbar)	1.17	1.68	2.29	2.77	3.79	4.68	5.66
ΔP _{upline} (mbar)	0.11	0.16	0.21	0.25	0.34	0.41	0.49
ΔP _{total} (mbar)	0.11	0.17	0.22	0.27	0.37	0.46	0.56
ΔP _{total} (mbar)	0.19	0.27	0.37	0.45	0.62	0.76	0.92
ΔP _{total} (mbar)	0.35	0.50	0.69	0.83	1.13	1.40	1.69
ΔP _{total} (mbar)	1.02	1.47	2.01	2.43	3.32	4.11	4.97
ΔP _{total} (mbar)	3.00	4.32	5.89	7.13	9.77	12.09	14.67
ΔP _{total} (mbar)	7.51	10.85	14.83	18.00	24.76	30.75	37.47
ΔP _{total} (mbar)	21.15	30.75	42.36	51.75	72.24	91.00	112.78
ΔP _{total} (mbar)	125.93	197.16	312.55	381.00	519.00	630.00	771.00

Curva resistente: Upstream boiler

Graph showing pressure loss (p_{loss} [mbar]) vs flow rate (Q [m³/h]).

Disegno 3D impianto



Caratteristiche

- ✓ Desing a letto fisso, open top downdraft
- ✓ Regime autotermico (Pirolisi ossidativa=)
- ✓ Capacità 50 kg h⁻¹
- ✓ Logiche automatizzate (PLC)
- ✓ Raffreddamento del char
- ✓ Bruciatori di start-up (Bed ignition)
- ✓ Corona di aspirazione gas
- ✓ Ciclone ad alta efficienza
- ✓ Bruciatore industriale
- ✓ Caldaia
- ✓ Dry cooler
- ✓ Ventilatore estrazione fumi
- ✓ Ogni componente posizionato sullo scarrabile dell'impianto

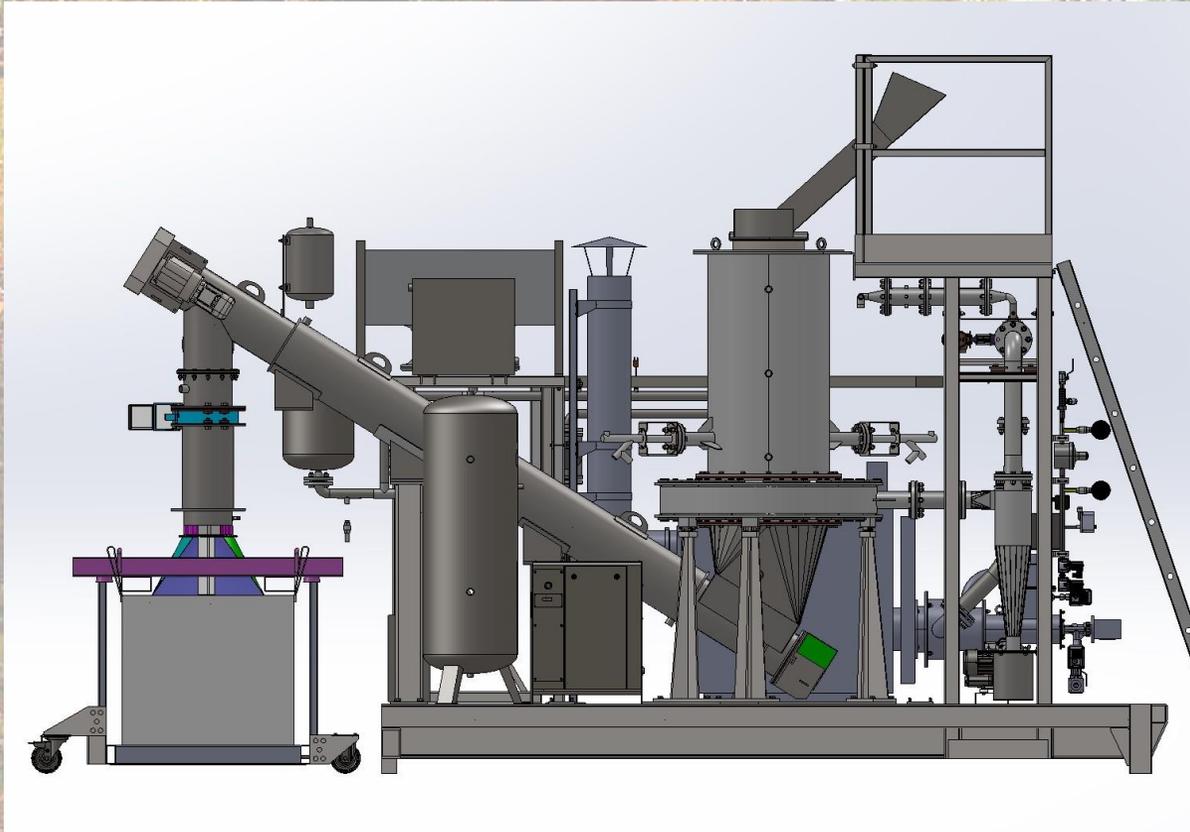
Evento finale di condivisione dei risultati del GO CAREGA

Valli del Pasubio, 15 luglio 2022

Allestimento nuovo prototipo



Prototipo ultimato



Evento finale di condivisione dei risultati del GO CAREGA

Valli del Pasubio, 15 luglio 2022

Ritiro del prototipo presso area sperimentale di RE-CORD (Scarperia e San Piero, FI).



Installazione prototipo presso azienda Dal Molin Graziano (Valli del Pasubio VI)



Collaudo impianto – 1



**Tronchetti
di castagno locali**

Collaudo impianto – 2



**Carbonella
da tronchetti di castagno**

A photograph of a forest in autumn, with trees having yellow and orange leaves and a ground covered in fallen leaves. The text "Grazie per l'attenzione" is centered over the image.

Grazie per l'attenzione