

UTILIZZAZIONE DI BIOMASSE PER ALIMENTAZIONE DI GRUPPI COGENERATIVI CON MOTORI A VAPORE ALTERNATIVI PER UTENZE PICCOLE E MEDIE

Giovanni Molinari*, Francesca Bonfà°

* Prof. Ass., Dip. Meccanica e Aeronautica Univ. Di Roma "La Sapienza" <g.molinari@dma.ing.uniroma1.it>,
°Ingegnere meccanico <franca.bonfa@libero.it>

SOMMARIO

Nella visuale di una razionale utilizzazione energetica delle biomasse come fonti alternative ai combustibili fossili si è rivolta l'attenzione all'impiego della sansa esausta come combustibile per la generazione di vapore per alimentare motori alternativi a vapore operanti sia per produzione di potenza elettrica sia in assetto cogenerativo per utenze piccole e medie industriali e di servizi.

Il lavoro ne valuta dapprima la disponibilità con riferimento ad un territorio definito e richiamandone il processo di derivazione e le caratteristiche energetiche. Analizza successivamente la potenzialità e le caratteristiche termodinamiche del vapore ottenibile, con indicazioni per la scelta della tipologia dei generatori, e i fondamenti della conversione impiegando motori a vapore alternativi, Richiamate infine le prestazioni di questi, con riferimento ad aspetti energetici e costruttivi (soluzioni mono- e polistadio, ecc.), il lavoro si conclude con il dimensionamento di massima di un motore bistadio in assetto cogenerativo per utenza ospedaliera. L'indagine tecnica è accompagnata da valutazioni di larga massima dei costi di investimento e di esercizio della soluzione impiantistica.

ANALISI TERRITORIALE DELLA DISTRIBUZIONE DELLA RISORSA

Come noto, l'utilizzazione della sansa, residuo solido derivante dal processo di lavorazione delle olive, ha origini antiche, quando la sostanza veniva inserita nei cascami di lavorazione, ben prima di essere inquadrata nel più vasto parco delle biomasse quali combustibili alternativi.

Tab.1. Estensione delle superfici coltivate ad olivo, Provincia di RC [Dati ISTAT, 24/02/2005]

Comune	Ettari (ha)
Zona Tirrenica	
Cittanova	2145.55
Cosoleto	1020.20
Oppido Mamertina	1346.63
Palmi	954.50
Rizziconi	1893.99
Santa Cristina d'Aspromonte	650.61
Seminara	1402.63
Taurianova	1785.68
Zona Ionica	
Careri	852.89
Condofuri	620.06
Locri	1320.23
Montebello ionico	1350.86
San Lorenzo	797.62
Reggio Calabria	1741.73

La valutazione della risorsa disponibile è effettuata per il bacino costituito dalla Provincia di Reggio Calabria. Come noto, la Regione Calabria rientra fra le regioni italiane con maggiore densità territoriale di uliveti e produzione di olive.

La tab. 1 raccoglie sinteticamente i comuni della provincia a più alta densità di superfici destinate alla coltivazione dell'olivo.

La tab. 2 riporta, per gli stessi comuni di tab. 1, il numero di frantoi esistenti, le quantità di olivo lavorate (kg), le quantità di sansa vergine estratte nell'annata 2003/2004.

Alla nutrita presenza di frantoi fa riscontro la presenza di pochissimi sansifici (alcune unità).

Tab.2. Produzione di sansa nei comuni della provincia di RC [Ispett. Prov. M.ro Agricoltura].

Comune	N° frantoi	Olive (kg)	Sansa vergine (kg)
Cittanova	29	30792938	13784425
Cosoleto	15	20463516	8943168
Oppido Mamertina	32	38851900	17372883
Palmi	12	7850965	3438831
Rizziconi	27	54205940	28853128
Santa Cristina d'Asp.	13	15048526	7234550
Seminara	22	12688839	5740625
Taurianova	20	13277333	5954905
Careri	7	3262363	1365716
Condofuri	7	2003458	1179569
Locri	8	7618917	3396896
Montebello Ionico	7	12493278	5307699
San Lorenzo	10	8799902	4089803
Reggio Calabria	13	2357250	891401

CARATTERISTICHE CHIMICO – ENERGETICHE DELLA SANSÀ

Per il ciclo di lavorazione delle olive si hanno frantoi con impianti tradizionali, operanti a pressione, dai quali si ottengono olio, sansa vergine e acqua di vegetazione (tre fasi) e con impianti a ciclo continuo, operanti per centrifugazione, oggi peraltro in larga prevalenza, le cui uscite sono olio e sansa vergine umida.

Ne consegue che composizione e quantità della sansa vergine – che consta di una parte solida (nocciolo, polvere e buccia) e di una parte liquida (olio e acqua) – dipende notevolmente dal tipo di impianto e dal processo di lavorazione; in particolare, il tenore di umidità va da 18÷25% in impianti tradizionali a 40÷60% in impianti a ciclo continuo.

In media, comunque, può ritenersi che la sansa ammonti a 35÷45% della quantità di olive lavorate.

Per i residui della lavorazione si presenta la necessità dello smaltimento essendo essi altamente inquinanti a causa dell'elevato contenuto organico e di sostanza grassa. E proprio di fronte allo smaltimento che si inserisce allettante la trasformazione di tale residuo in una forma utilizzabile energeticamente.

Per la sansa vergine, in particolare, la valorizzazione energetico-economica segue due direttrici:

- trasformazione in sansa esausta ed impiego di questa come combustibile, con ulteriore estrazione di ~10% di olio (da raffinare);
- compostaggio con altre biomasse.

La trasformazione della sansa vergine in sansa esausta è ottenuta nei sansifici con due operazioni successive: dapprima l'essiccazione, per ridurre il tenore di umidità (sansa essiccata), e successivamente il trattamento chimico (con n-esano) per estrarre dalla sansa essiccata l'olio residuo.

La tab. 3 riporta le variazioni di massa dei costituenti nei vari passaggi di lavorazione di una tonnellata di olive.

La lavorazione ha impegnato l'impianto per un periodo valutabile in ~180 giorni (15 ottobre–15 aprile), mentre nel tempo inattivo si procede unicamente a manutenzione. In generale, tuttavia il periodo attivo dipende dalla produzione.

Tab.3. Contenuti dei costituenti del residuo delle lavorazioni successive.

1000 kg di olive			
Sansa (kg)	Acqua (kg)	Olio di sansa (kg)	Secco (kg)
Vergine 476.0	238.0 (50%)	23.7 (5%)	214.2 (45%)
Essiccata 264.4	26.4 (10%)	23.7 (9%)	214.2 (81%)
Esausta 267.8	53.6 (20%)	-----	214.2 (80%)

La normativa vigente (08/10/2004) considera la sansa esausta combustibile, con potere calorifico inferiore $H_i = 14650 \div 18830$ kJ/kg (3500÷4500 kcal/kg).

LA RISORSA

Considerando che la zona maggiormente interessata dalla lavorazione delle olive è quella della piana di Gioia Tauro-

Rosarno, si è deciso di restringere ulteriormente l'indagine al comune di Rizziconi sia per l'elevata produzione locale sia per la presenza di sansifici.

Da informazioni sulla produzione concernenti il maggiore di questi risulta che la quantità di sansa vergine lavorata nell'annata 2004-2005 è stata di 110000 t/a che con una resa produttiva valutabile in 40÷45 %, corrisponde ad una disponibilità di ~45000 t/a di sansa esausta.

Attualmente ~30 % della produzione viene utilizzato per generare vapore necessario ai fabbisogni interni al sansificio. In particolare, con essa si alimentano due generatori di vapore a tubi d'acqua a servizio delle lavorazioni in distilleria, oltreché per scopi antincendio, e una caldaia per produzione di acqua calda necessaria al frantoio. Il consumo specifico ammonta rispettivamente a $c_s = 0.2$ kg/kg (sansa/vapore) e $c_s = 0.25$ kg/kg (sansa/acqua). Come noto, $1/c_s = P_{ev}$ è definito "potere evaporante" della sansa che vale dunque 5 e 4 rispettivamente per le produzioni di vapore e acqua calda.

Il sansificio assorbe inoltre una potenza elettrica di 1000 kW per tre essiccatoi, 300 kW per dispositivi di estrazione dell'olio, 150 kW per macchinario di raffineria dell'olio, e 90 kW per accessori dei generatori, per un totale di 1540 kW.

La parte prevalente della produzione, ~70 %, corrispondente a 31500 t/a, viene venduto (al prezzo 5÷6 €/ql contro un prezzo di acquisto della sansa vergine dell'ordine di 2.50 €/ql franco stabilimento).

Tale produzione, prevedendone un adeguato immagazzinamento, potrebbe essere impiegata continuativamente per la generazione di vapore disponendo in tal modo di una portata oraria di combustibile $m_c = \sim 31500/365/24 \cong 3.6$ t/h, corrispondente ad una potenza termica ideale (assumendo $H_i = 14650$ kJ/kg) pari a $P_T \cong 14650$ kW.

IMPIEGO DI MOTORI A VAPORE ALTERNATIVI

Le valutazioni che seguono sono indirizzate alla produzione di vapore surriscaldato per alimentare un motore a vapore alternativo (MVA).

I MAV hanno tecnologia ampiamente collaudata anche con vapore prodotto da biomasse nell'intervallo di potenza 50÷1000 kW. Essi funzionano con valori di ammissione di p, T piuttosto limitati in accordo con la possibilità di alimentazione da generatori a tubi di fumo capaci di surriscaldamento (mediante gruppi di tubi installati nella camera di inversione a fondo sia asciutto sia bagnato). Valgono al riguardo le scelte di Ditte costruttrici [7]. Da dati avuti dalla Ditta Spilling, trattasi di motori di lunga durata (20÷30 anni) e contenuta manutenzione per cui è rapido l'ammortamento del costo (in Germania 3÷4 anni all'attuale costo dell'energia elettrica).

Sono in commercio motori per produzione cogenerativa alimentati con pressione/temperatura di ammissione $p_1 = 28$ bar e $T_1 = 350$ °C (vapore surriscaldato) con pressione di scarico $p_2 = 1.5$ bar e $T_2 = 110$ °C. In piccoli impianti il rendimento di conversione elettrica raggiunge $\eta_E = 6 \div 10$ % nella versione monostadio e 12÷20 % nella versione polistadio.

Assumendo $p_1 = 24$ bar e $T_1 = 310$ bar (per il dimensionamento di massima del motore proposto in questo lavoro) il vapore surriscaldato ha entalpia $h_1 = 3040$ kJ/kg. Assumendo tale stato come uscita del generatore di vapore ed ammettendo che l'acqua di alimento del generatore provenga dal condensato di ritorno delle utenze termiche (pressione atmosferica), a $T \cong 80$ °C, cui corrisponde entalpia $h \cong 330$

kJ/kg, ne consegue un incremento entalpico della trasformazione liquido-vapore nel generatore pari a $\Delta h \approx 2710$ kJ/kg.

Dal potere evaporante del combustibile (reciproco del consumo specifico):

$$P_{ev} = \frac{\eta_{GV} H_i}{\Delta h} \quad \text{kg/kg}$$

con η_{GV} il rendimento del generatore, essendo $\Delta h=2710$ e $H_i=14650$ kJ/kg e ammesso $\eta_{GV}=0.75$ risulta $P_{ev} \approx 4$ kg/kg.

Ne consegue una potenzialità del generatore $m_v=4 \times 3.6=14.4$ t/h. Essa è di pertinenza, oltreché di un piccolo generatore a tubi d'acqua, anche di un buon generatore a tubi di fumo nelle cui prestazioni rientra anche il valore della pressione di esercizio 24 bar.

La potenza elettrica ottenibile è valutabile in prima istanza con la relazione:

$$P_E = \eta_E m_v \Delta h$$

da cui, assumendo $\eta_E=0.18$, risulta $P_E \approx 1960$ kW.

PRODUZIONE COGENERATIVA

La fornitura cogenerativa (CHP) può essere destinata è orientata a soddisfare il fabbisogno di potenza elettrica e termica di un presidio sanitario con $P_E=500$ kW e $P_T=3000$ kW.

Il ricorso a MVA può risultare conveniente per piccole potenze prodotte con combustibili di basso pregio in quanto le piccole taglie possono fortemente abbassare i costi di trasporto [1][2][3].

Come sintesi di rilevamenti sperimentali su impianti CHP alimentati a biomasse con $\eta_{GV}=49 \div 84$ %, $\eta_{MVA}=13 \div 18$ %, con costi dell'energia elettrica $0.10 \div 0.14$ €/kWh [1].

In Fig. 1 è mostrato lo schema di un modernissimo impianto cogenerativo alimentato a biomasse [7].

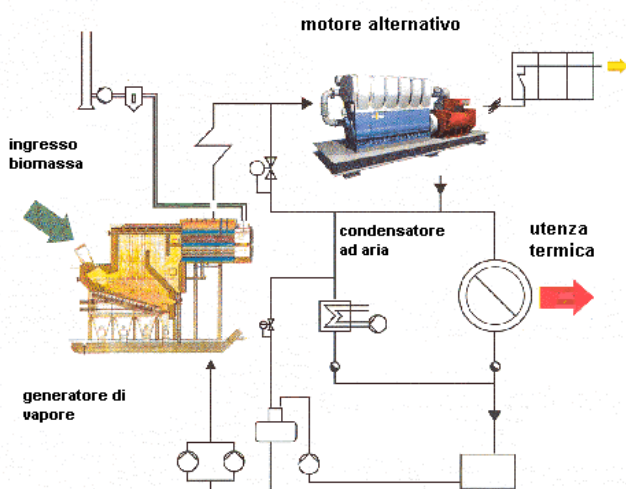


Fig. 1 - Schema di impianto CHP con MVA alimentato a biomasse [7]

I MVA succitati sono capaci di rapporto $P_E/P_T=0.2$.

In prima istanza la potenza termochimica del combustibile può essere valutata con la relazione:

$$P_{ch} = m_c H_i = \frac{P_E}{\eta_E} + \frac{P_T}{\eta_T} \quad \text{kW}$$

Ammesso $\eta_E=0.15$ e $\eta_T=0.85$ si ottiene $P_{ch}=6860$ kW corrispondenti, con $H_i=14650$ kJ/kg, a $m_c=1.7$ t/h. Il coefficiente di utilizzazione del combustibile (rendimento globale) risulta pari a $\eta_{Cog}=0.51$ in linea con l'assimilazione a fonti rinnovabili.

La temperatura richiesta dalle utenze termiche di un ospedale (operazioni, servizi, apparecchiature) è piuttosto varia: con riferimento a valori medi essa va da un minimo di ~ 35 °C per la fisioterapia a ~ 140 °C per la lavanderia, fino ad un massimo di ~ 170 °C per casi speciali.

Per il dimensionamento dunque si assume:

- pressione di ammissione $p_1=24$ bar;
- temperatura di ammissione (di surriscaldamento) $T_1=310$ °C;
- temperatura media dell'utenza $T_U=140$ °C;
- pressione del vapore (leggermente surriscaldato) all'utenza $p_2=3$ bar.

Assumendo $\eta_m=0.95$ risulta la potenza indicata $P_i=530$ kW. Ammesso poi $\eta_{ind}=0.7$ - valore compatibile con la compresenza di vapore surriscaldato, scarico in pozzo caldo, espansione frazionata ($z=2$) - la potenza idealmente sviluppabile dall'espansione vale $P_{i, id}=P_i/\eta_{ind}=530/0.7 \approx 760$ kW.

Ammesso per il ciclo ideale $\eta=0.25$ ne consegue la potenza termica Q_1 immessa nel ciclo, pari a $Q_1=760/0.25=3040$ kW da cui infine la potenza del combustibile $m_c H_i=Q_1/0.75=4050$ kW.

Vista la potenza disponibile con la risorsa sopra valutata (14650 kW), sussiste la possibilità di azionare 3÷4 gruppi cogenerativi aventi le prestazioni suindicate.

DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL MOTORE PER CHP

Con riferimento alla produzione della Ditta Spilling si adotta un motore bistadio con due cilindri per HP e LP in disposizione compound, con stantuffi comandati da albero a gomiti comune. Il motore aziona direttamente un alternatore da 500 kWe (ai morsetti).

Se i due cilindri sono in fase con uguale "grado di ammissione" ($r=4$, ammissione nel cilindro per 1/4) il passaggio HP→LP è diretto, altrimenti va prevista una capacità intermedia di adeguamento delle portate. In accordo con il teorema di Rankine [4][5][6] le dimensioni del cilindro LP sono le stesse del monostadio. Si assume $n=1000$ giri/1' e $C/D=1.4$.

Partendo dalla p_{mi} che vale [1][4][6]:

$$p_{mi} = \frac{p_1(1 + \ln r)}{r} - p_2 = (24 \cdot 0.597) - 3 = 11.32 \quad \text{bar} \quad (1)$$

dalla formula della potenza :

$$P_{id} = 2(p_{mi} W)_{HP} \frac{n}{60} \quad (2)$$

si trae, con $P_{id}=760$ kW, $W=0.021$ m³ Il volume di ammissione risulta $V_{IHP}=W_{LP}/4= 0.005$ m³. La portata in ammissione richiesta dalla potenza 760 kW, vista la caduta entalpica ideale, vale 1.77 kg/s per cui essendo quella introducibile nel cilindro, con $v=0.10$ m³/kg (da tabelle), è pari a $(0.005/0.10)*(1000/60)=0.84$ kg/s si ricorre ad un cilindro a duplice effetto o a una coppia di cilindri.

La pressione intermedia si ottiene imponendo la condizione di uguale carico sui pistoni [4]; e con le pressioni estreme 24 e 3 bar si ottiene $p_{int}=10$ bar:

Applicando in prima approssimazione la legge dell'isoterma ai due cilindri HP e LP si ricava la pressione di fine espansione per entrambi, ottenendo, con grado di ammissione comune $r=(1/4)^{0.5}=1/2$ $p_{f,HP}=12$ bar e $p_{f,LP}=5$ bar. Tra 12 e 10 bar in HP e tra 5 e 3 bar in LP c'è scarico spontaneo (espansione incompleta in entrambi i cilindri).

Le potenze sviluppate nei due salti valgono, applicando le (1) e (2), 381 e 385 kW per l'alta e bassa pressione rispettivamente, ritrovando il totale (760).

CONCLUSIONI

L'utilizzazione della risorsa senza esaurita prodotta dai sansifici alimentati dai frantoi del comune calabro di Rizziconi appare tecnicamente in grado di fornire vapore in portate sufficienti a servire utenze cogenerative mediante motori a vapore alternativi.

Una prima stima economica della convenienza di questi impianti passa per la valutazione dei principali costi-ricavi associati e dall'orizzonte finanziario prefissato.

I ricavi derivano dalla vendita di energia elettrica e termica e dipendono quindi dalle tariffe riconosciute e dalla presenza o meno di incentivi e accordi precontrattuali (priorità nel dispacciamento, ritiro delle eccedenze ecc.).

Il costo specifico di investimento per MVA di potenza installata 500 ÷ 1000 kW è valutabile in 2000 €/kW, fig. 2 [2].

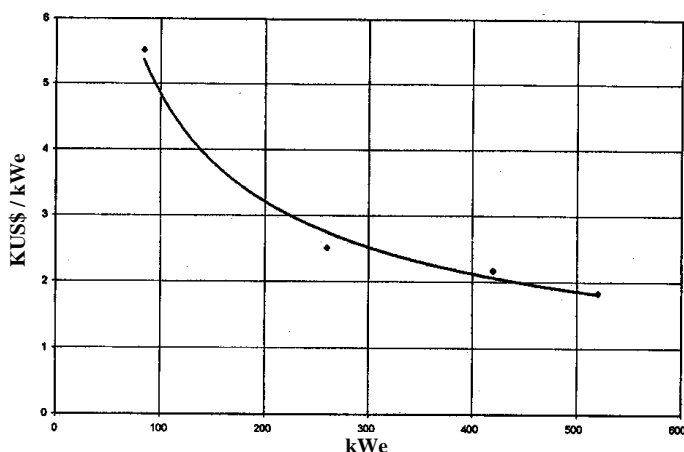


Fig. 2 - Costo di investimento in funzione della taglia d'impianto [2]

La quota di ammortamento, funzione dell'investimento diretto e della vita utile, rappresenta la principale componente di costo fissa.

Tra le componenti di costo variabili figurano l'acquisto della senza esaurita e il consumo di energia elettrica per ausiliari (pompe e altro) ed eventuale approvvigionamento di emergenza nei periodi di interruzione fornitura.

I costi di manutenzione, in genere stimati in % del costo di investimento diretto, sono valutati in ~6÷7 €/kWhe.

La validità degli usuali strumenti di valutazione dell'investimento, quali VAN, PBT, IRR, risulterà tanto maggiore quanto più le assunzioni in fase di pianificazione troveranno riscontro nell'esercizio effettivo dell'impianto.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

tesi [1], riviste [2] [3], libri [4] [5] [6], documenti reperibili su internet [7].

1. Bonfà F., Il motore alternativo a vapore nell'energetica industriale; sviluppi e prospettive dell'impiego in cogenerazione, Tesi, Univ. Roma "La Sapienza", 2002 (Rel. Molinari G.)
2. Bidini G., Manuali A., Saetta S, Reciprocating Steam Engines Power Plants fed by Woodwaste, Int. J. of Energy Res., 22, 1998, p. 237.
3. Fabbri S., Cogenerazione e motrici a vapore alternative, La Termotecnica, n. 3, 2002, p. 39.
4. McBirnie S. C., Fox W. J., Steam Engines and Turbines, Newnes-Butterworths (London) 1970.
5. Nerli N., Corso di Macchine, Vol. I Macchine a vapore, Ed. Tec. Scientifica, Pisa 1960.
6. Eastop T. D., McConkey A., Applied Thermodynamics for Engineering Technologists, Longman, London, 1970.
7. Documentazione inviata o messa a disposizione su Internet da parte di Ditte, in particolare Spillingwerk (Amburgo).