



## **HVS : UNA PROPOSTA ALTERNATIVA PER IL RECUPERO DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI DALLE RICERCHE CNR**

La gestione dei RSU è certamente uno degli argomenti che crea più problemi alle amministrazioni pubbliche, essenzialmente per due esigenze contrapposte: da una parte ridurre i costi di smaltimento e dall'altra ridurre le potenziali fonti di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo.

Su questa tematica l'attività del gruppo di ricerca CNR è iniziata in sordina una decina di anni fa, quando iniziammo ad elaborare un piano alternativo alle tecnologie già in uso. Si vuole ricordare che il panorama tecnico attuale prevede essenzialmente due metodi alternativi alla messa a dimora pura e semplice e alla riduzione a monte mediante raccolta differenziata:

- metodi di tipo fisico a freddo, quali ad esempio la riduzione volumetrica meccanica
- metodi di tipo fisico-chimico a caldo, quali l'incenerimento, la termovalorizzazione, la gassificazione o pirolisi del rifiuto tal quale o di rifiuti parzialmente differenziati

Purtroppo quella che per molti versi sembra la migliore soluzione, cioè la raccolta differenziata, è ancora una soluzione non esaustiva, sia per ritardi di tipo amministrativo, sia perché molte frazioni raccolte non possono essere facilmente reintegrate nei cicli produttivi per motivi energetici o più semplicemente di convenienza economica o di qualità dei prodotti finali, mentre i prodotti di diretta derivazione "secondaria" rappresentano ancora esperienze prototipali.

Dato che il problema, negli anni, è diventato emergenza in molte regioni, si rende necessaria un'alternativa credibile, a basso costo e di impatto nullo, sia dal punto di vista ecologico che energetico. La ricerca condotta dal 1997 ad oggi anni dal CNR in collaborazione con diverse industrie che si occupano di trattamento di materie prime ha permesso di individuare una possibile "terza via", alternativa al semplice e malsano incenerimento, ma più remunerativa della semplice raccolta differenziata: tale alternativa passa attraverso la "**raffinazione del rifiuto**", utilizzando al meglio tutte le sue componenti, da restituire all'industria sia come materie prime che come combustibile raffinato e lavorando in modo particolare all'azzeramento delle emissioni, anche dei gas serra. Il circuito di raffinazione è in realtà un sistema distribuito, che si basa su piccoli impianti di raffinazione e su impianti termici o chimici già esistenti:

- piccoli impianti di raffinazione che impiegando solo tecnologie a freddo producono un materiale inerte dal punto di vista batteriologico, con elevato potere calorifico inferiore e omogeneo dal punto di vista composizionale, con un tenore di cloro, alogeni e metalli inferiori ai corrispondenti tenori dei combustibili fossili tradizionali,
- impianti che utilizzano il prodotto come combustibile (impianti già esistenti di termovalorizzazione e cogenerazione)
- impianti chimici che sfruttano il prodotto come base per la produzione di plastiche, fillers, poliolefine, catalizzatori e altri prodotti industriali

Il circuito così ideato è quindi già idealmente integrabile con tutte le tecnologie già esistenti, senza alcuna modifica. Inoltre, gli impianti di raffinazione possono essere del tutto autosufficienti dal punto di vista energetico, dato che possono utilizzare parte del prodotto di raffinazione per produrre l'energia di cui necessitano. All'interno degli impianti possono essere raffinate anche le eventuali scorie di termovalorizzazione o cogenerazione: il circuito prevede infatti il recupero delle scorie di caldaia e delle ceneri volanti per trasformarle in pozzolane con elevate prestazioni tecnologiche.

# **LA TECNOLOGIA THOR (Total House-waste Recycling) PER LA RAFFINAZIONE DEL RIFIUTO SOLIDO URBANO FINALIZZATA AL RECUPERO DI MATERIE PRIME ED ENERGIA**

*Paolo Plescia, CNR ISMN*

## **Introduzione**

La possibilità di sfruttare i rifiuti assimilabili agli urbani per produrre energia non è una idea nuova: il cosiddetto CDR, combustibile da rifiuto, è allo stato attuale solo un rifiuto più o meno sminuzzato, senza porzioni umide. Tale miscuglio non può costituire una valida alternativa ai combustibili fossili per tutta una serie di problemi, in particolare per la scarsa capacità calorifica e soprattutto per l'elevato tenore in elementi tossici contenuti e l'elevato tenore di inerti e ceneri.

D'altronde, se attraverso processi innovativi e a basso costo si riuscisse ad eliminare le componenti tossiche del rifiuto e ad aumentarne l'omogeneità, si potrebbe effettivamente costituire la potenziale "quarta via" di approvvigionamento di energia, dopo i combustibili fossili, l'eolico e il solare.

La quantità di rifiuti PWPO (Plastic- Wood-Paper-Organic) prodotta annualmente in Italia supera le 26 milioni di tonnellate. Di queste, circa il 27 % è costituito da acqua e il 13 % da inerti (silicati, sali, metalli); la frazione residua - 60 % - è costituita da legno, carta e plastica, con potere calorifico superiore ai 5000 Kcal/kg. Questa risorsa può costituire una fonte energetica rinnovabile importante, nell'ottica di un sistema integrato con altre tecnologie. La tecnologia THOR rappresenta quindi una soluzione alternativa ai grandi impianti di smaltimento in discarica e di incenerimento e al concetto del concentramento dei rifiuti in mega-impianti di trattamento, che determinano alte concentrazioni di inquinanti, contaminanti e fumi ricchi in sostanze pericolose.

Il principio del trattamento mecano-chimico permette di trattare senza emissione alcuna di fumi o di sostanze pericolose i rifiuti urbani, sia la parte secca che la parte umida, con importanti vantaggi rispetto alle tecnologie concorrenti:

- riduzione del cloro e quindi drastica riduzione delle emissioni di PCDD e PCDF
- eliminazione praticamente completa dei metalli nelle ceneri
- abbattimento del contenuto inerte

Riassumendo, i vantaggi della tecnologia THOR si evinceranno dalla maggiore facilità di gestione dei rifiuti urbani, riducendone il costo di trattamento e quindi il costo per la collettività.

## 1. Valore energetico e merceologico dei Rifiuti Solidi Urbani

In qualsiasi Progetto legato alla trasformazione di una materia è fondamentale conoscerne la composizione. Vari sforzi in questo senso sono stati fatti, utilizzando statistiche, dati analitici e estrapolazioni da vari AA. La composizione media del rifiuto urbano in Italia può essere considerata quella riportata nella tabella 1. Nella valutazione di tali dati è tuttavia da tenere presente la continua evoluzione temporale della situazione.

Constituent	content in MR residue	composition			carbon content		LHV MJ/kg	volatile fraction % by weight of total	
		moisture	ash	volatile fraction	total	% renewable		C	
% by weight									
paper & cardboard	24.5	14.0	5.0	81.0	37.6	100	13.22	C	27.6
Wood	6.0	22.0	1.5	76.5	37.6	100	13.87	Cl	0.64
Plastic	19.0	6.0	9.0	85.0	55.5	0	26.18	H	3.49
glass & inert material	3.5	2.5	95.0	2.5	1.0	0	-0.061	O	19.7
Metals	3.5	5.0	92.5	2.5	1.0	0	-0.122	N	0.15
organic fraction	31.5	70.0	9.0	21.0	9.6	100	1.719	S	0.06
finest	12.0	30.0	35.0	35.0	20.5	60	4.395		
<b>MR residue</b>	<b>100</b>	<b>31.8</b>	<b>16.6</b>	<b>51.6</b>	<b>27.6</b>	<b>16.0</b>	<b>10.11</b>	<b>Total</b>	<b>51.6</b>

Tabella 1: Composizione del rifiuto solido urbano, in termini merceologici, chimici e quantità di calore generabile dalle varie frazioni (da Consonni et al, Corso di aggiornamento Energia da Rifiuti Polimi, 2005)

La presenza di "verde" (materiale organico di varia natura, animale e vegetale) determina un contenuto d'acqua molto elevato, compreso tra il 20 e il 40 % del peso totale.

Altra sostanza in quantità notevole è l'anidride carbonica, presente sia tale quale (dal 10 al 22 %) sia come prodotto di trasformazione.

La frazione combustibile del rifiuto iniziale è data dal 30 % circa di C e dal 3.5 % circa di H<sub>2</sub>.

Gli elementi tipici delle sostanze inorganiche, quali silicio, alluminio, ferro, calcio, metalli vari non ferrosi, sono presenti in misura totale variabile dal 3 al 7 %. I composti che possono essere utilizzati per produrre un combustibile di buona qualità sono quindi i soli composti organici, mentre tutto il resto deve essere allontanato ed in particolare:

- **componenti metallici ferrosi**, non tossici ma che determinano la presenza di alcuni elementi metallici affini (Mn, Cr, Co, Ni) mediamente o fortemente tossici
- **componenti metallici non ferrosi**, loro stessi tossici (Cu, Zn) contenenti tracce di elementi fortemente tossici, quali Cd, As, Hg, Pb ecc.)
- **i componenti inerti**, cioè i silicati presenti come vetro e come frammenti di demolizione, i minerali, presenti nelle carte, nelle plastiche ecc.
- **gli alogeni** (cloro, fluoro, bromo, iodio) presenti sia nei cibi (ad es. cloruro di sodio) che nei detersivi, in alcune plastiche (PVC, neoprene), nei diserbanti e nei fungicidi a base di Br; i fluoroderivati, presenti nei tessuti e nelle gomme elastomeriche, i composti complessi del cloro presenti in molti medicinali ecc. ecc.
- **lo zolfo**, presente come elemento in molti complessi molecolari organici, nelle gomme di automobile e in generale in tutte le gomme vulcanizzate, nei solfati presenti nelle demolizioni (cartongessi, stucchi, intonaci) e in gran parte dei cibi confezionati in molecole usate come conservanti
- **le componenti ammoniacali**, provenienti dall'urea, in molti tessuti, nel poliuretano e derivati, in molte verdure, nei fertilizzanti

Altri elementi minori non sono che ultratracce nei rifiuti tal quali, ma *diventano molto importanti nelle scorie da termodistruzione*, come nel caso dell'arsenico, elemento tra i più velenosi, presente insieme al piombo e al mercurio in tracce nelle leghe; si veda a questo proposito la tabella 2.

*Tabella 2: Metalli pesanti nei RSU ,CDR e nelle scorie*

Metallo	Unità	RSU	CDR	Scoria (bottom ash)	Cenere (Fly ash)
Cd	ppm	n.v. - 16	0.2 - 0.75	0.3	0.05 - 3.8
Pb	ppm	20 - 750	75 - 100	1400	200 - 32000
Tl	ppm	n.v.	0.01-0.1	n.v.	n.v.
Hg	ppm	n.v. - 8	0.6 - 1.05	0.01	40- 600
Cr	ppm	8 - 600	21 - 96	2000	20 - 300
Ni	ppm	10 - 43	1 - 36	3600	20 - 300
As	ppm	n.v.	0.05	5.5	0.01 - 68
Cu	ppm	22 - 600	20 -300	1000	300 - 1100
Sn	ppm	-	<1	120	300 - 1100
V	ppm	-	<1	100	n.v.
Mn	ppm	n.v.	95 - 150	1600	950 - 3000
Fe	ppm	6000	5500	140000	28000 - 57000
Se	ppm	-	0.02	0.01	1 - 50
Zn	ppm	25 - 1800	130 - 200	18000	400 - 37000

\* fonti: composizioni di RSU, CDR e scorie da Atti Ricicla 1998 - 1999 - 2000

Dalla tabella si evince come i processi di combustione dei rifiuti determinino un'effetto di concentrazione molto forte, in alcuni casi oltre le 1000 volte, rispetto ai micro e macro inquinanti.

Se si vuole realmente utilizzare il rifiuto come combustibile è quindi necessario migliorarne la composizione e soprattutto fare in modo di allontanare la maggior parte dei componenti chimici che danno origine a rifiuti pericolosi e a emissioni tossiche.

Purtroppo, l'eliminazione di tutte le componenti descritte non è possibile solo con una selezione. Per togliere di mezzo le componenti più pericolose, bisogna agire prima meccanicamente, riducendo le dimensioni del rifiuto a particelle molto piccole, in modo da avere una superficie di scambio maggiore e poi intervenire con le tecniche di raffinazione chimico-fisiche, analogamente a quanto viene fatto per la raffinazione delle materie prime minerali.

## 2. Tecnologia THOR

E' ben noto che una conversione del rifiuto in combustibile è vantaggiosa per l'economia e l'ambiente solo se si aumenta il potere calorifico del prodotto e si eliminano i residui tossici. Al di là delle dichiarazioni di inerti e delle normative europee o nazionali che "fissano" criteri di bontà del combustibile, la scelta di utilizzare un CDR si può fare solo se esso rispetta i seguenti parametri:

- contenuto in metalli (complessivo) < 500 ppm
- residuo ceneri (a 800°C) < 5 %
- contenuto in alogeni escluso cloro (fluoro+bromo+iodio) < 100 ppm, Cl < 200 ppm
- contenuto in Idrocarburi policiclici aromatici < 100 ppm
- 

Da questi concetti è nata la sperimentazione THOR, basata sulla combinazione di trattamenti di tipo fisico-chimico che prevedono una serie di trattamento di tipo schiettamente MINERALURGICO, cioè trattamenti tipici delle industrie minerarie che separano ed arricchiscono le materie prime minerali con metodi a basso costo.

In particolare, è utile ricordare che nel rifiuto così come nelle materie prime minerali, per separare le frazioni che riteniamo utili da quelle di ganga si deve raggiungere il cosiddetto “grado di liberazione”, cioè la dimensione più piccola entro la quale il minerale o la sostanza che interessa risulta libera da qualsiasi corpo estraneo. Inoltre, riducendo la pezzatura del rifiuto a poche decine di micron qualsiasi operazione di separazione ed arricchimento, sterilizzazione, combustione o pirolisi è attuabile in modo molto più efficiente, con minore spreco di energia.

La micronizzazione imposta a questo processo sfrutta il principio dell’attivazione mecanochimica, cioè una forte azione meccanica di attrito che determina la “delaminazione” delle materie organiche, polimeriche o tessili, il cracking molecolare del cloro nelle plastiche clorurate e la separazione dei metalli che sono trattentui come pigmenti.

Il processo si basa sull’utilizzo dello stress da attrito provocato da un mulino a corpi eccentrici, chiamato “reattore mecanochimico”. Nel reattore mecanochimico un movimento eccentrico ne accelera le masse macinanti molto più di quanto accade nei mulini tradizionali, quale ad esempio i mulini a sfere per cementerie; questi mulini agiscono per urto, mentre un mulino per mecanochimica agisce per attrito e secondariamente per urto: le masse macinanti sono scagliate ad elevata velocità sul materiale che viene sottoposto ad un’azione di compressione e di taglio. L’accelerazione in un mulino a nutazione è orientativamente data dal prodotto tra l’eccentricità della nutazione per la velocità di rotazione del mulino al quadrato:

$$A = W^2 * \epsilon$$

dove  $W$  è la velocità del mulino in radianti/sec e  $\epsilon$  è l’eccentricità, o raggio di nutazione, che ovviamente cambia in funzione della distanza dal punto di nutazione (figura 1) (Hoyer D., 1985).

La somma delle azioni meccaniche imposte diffonde nel materiale una grandissima quantità di *difetti strutturali*, che, sui materiali determina la progressiva e irrecuperabile distruzione della struttura a livello molecolare, determinando la formazione di nanostrutture, con proprietà molto particolari. Nel 2003 iniziammo la costruzione del primo mulino per mecanochimica di capacità industriale italiano, denominato THOR. Si tratta di un mulino a nutazione dotato di una giara che viene agitata a velocità comprese tra 20 e 50 Hz, con una massa di macinazione dinamica pari a circa 3000 kg; l’accelerazione raggiungibile è superiore ai 50 G, mentre la forza di attrito è superiore ai 74 kN. La massa macinante assicura pressioni di urto superiori a 15000 atmosfere ed attrito per taglio con intensità di svariate migliaia di atmosfere.

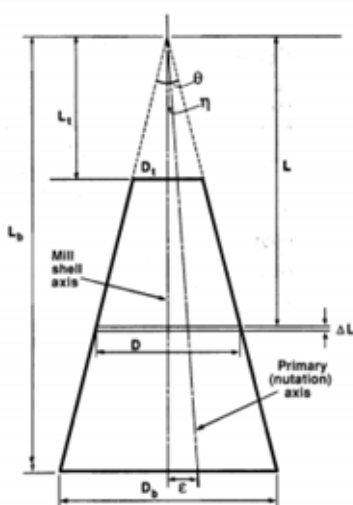


Figura 1: Parametri geometrici di un mulino a nutazione (da D. Hoyer, 1985); lo schema si riferisce a mulini conici del tipo Hicom ([www.hicom-mill.com](http://www.hicom-mill.com))

Una volta micronizzato, il prodotto è separato per flottazione o per ciclonatura, per ottenere i diversi prodotti utili, che possono essere:

- frazione di sola plastica compatibilizzata, formata dalle componenti plastiche, escluso il PVC e altre componenti clorurate che sono state depolimerizzate e alle quali è stata separata la frazione di cloro
- frazione di vetro e inerti
- frazioni metalliche più fini

Infine, le frazioni organiche residue, composte da carta e organico vengono bricchettate e diventano un combustibile, esente da cloro, solfati e inerti.

La mancanza di cloro determina l'assenza di qualsiasi PCDD e PCDF in emissione, la mancanza di inerti e silicati determina un contenuto di ceneri da quattro a dieci volte inferiore dopo combustione ed infine la mancanza di metalli rende le ceneri facilmente recuperabili senza alcuna procedura di trattamento specifico.

Il THOR, nella forma più semplice consiste in un sistema di preselezione mediante separazione magnetica e per correnti parassite per sottrarre ed arricchire la frazione metallica grossolana, una prima linea di frantumazione a pezzature dell'ordine del centimetro, una seconda linea di riduzione dimensionale che utilizza un "mulino micronizzatore" e un sistema di cernita ad aria (ciclone) o ad acqua (idroclcone) per separare la frazione leggera (combustibile) da quella pesante (sali e metalli residui) (figura 2).

Le prove di laboratorio mostrano le grandi potenzialità del trattamento, che sono così riassumibili:

- 1- aumento del peso specifico del rifiuto, da 0.3-0.5 Ton/mc a 1.0-1.2 ton/mc e quindi riduzione del volume occupato a parità di peso
- 2- aumento della superficie di scambio, derivante dalla riduzione dimensionale, che corrisponde ad un aumento cospicuo del potere calorifico (vedi tabella 2)
- 3- conversione delle frazioni plastiche contenenti cloro, con conseguente produzione di fasi polimeriche non clorurate mentre il cloro e altri alogeni vengono raccolti come fasi saline e separati per dissoluzione
- 4- riduzione a valori di un'ordine di grandezza in meno del contenuto di metalli nelle ceneri
- 5- riduzione del contenuto di ceneri residue
- 6- possibilità di impiego sia come combustibili che come materie prime

Figura 2: Flow Sheet del processo THOR finalizzato al recupero di materia

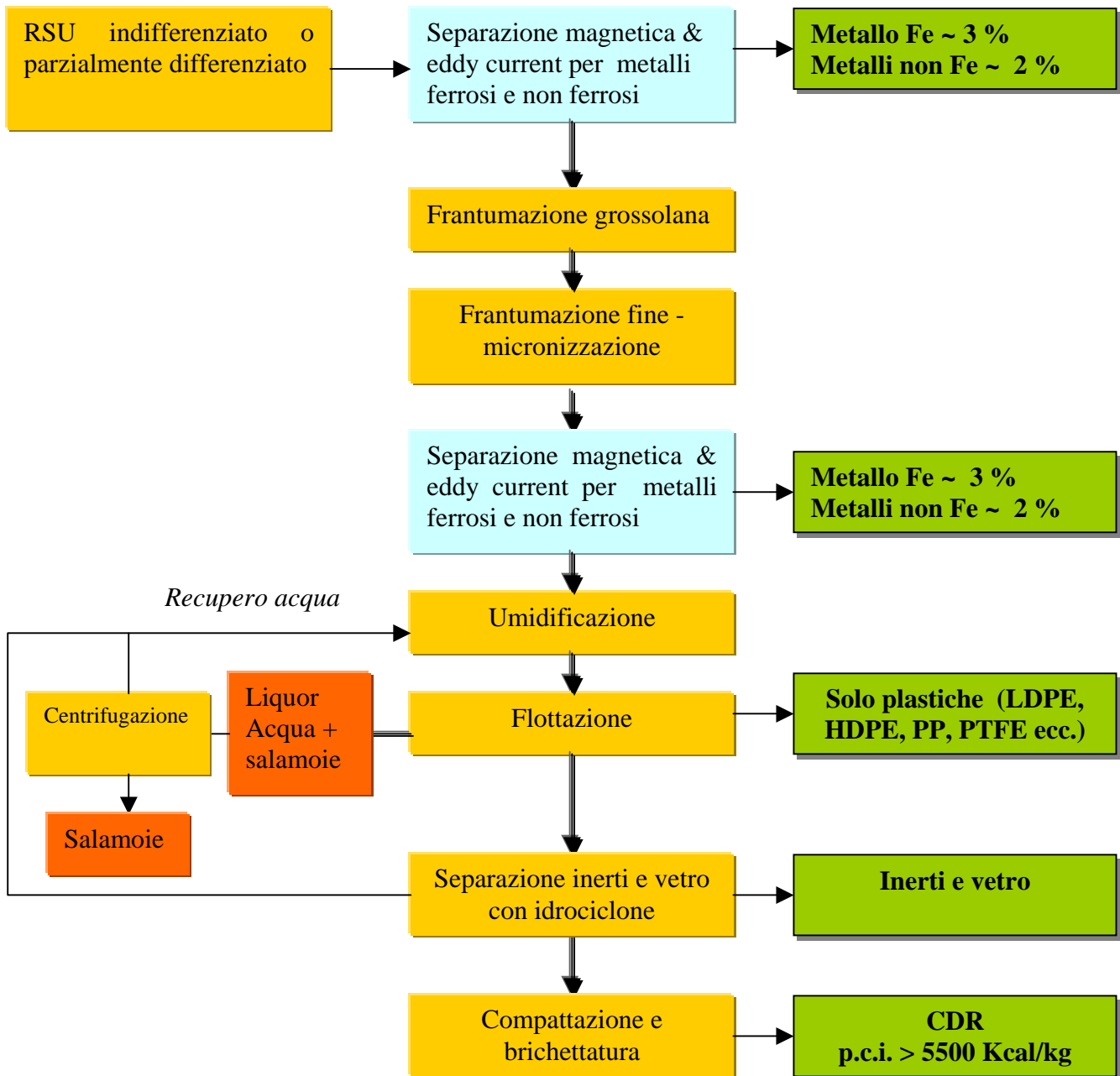




Figura 4: Tal quale macinato a 30 mm e dopo il trattamento meccanochimico di micronizzazione (microscopio ottico)

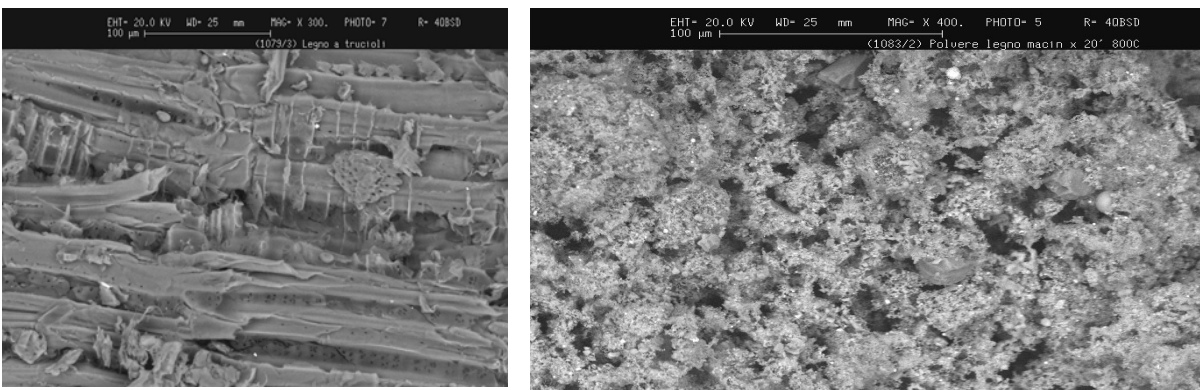


Figura 5: Legno tal quale e sottoposto a micronizzazione (microscopia elettronica a scansione)

**Tabella II: Rilevamento dei calori di combustione dei prodotti tal quali e sottoposti a trattamento**

<b>Prodotto</b>	<b>Calore di combustione sul Tal quale (Cal/g)</b>	<b>Calore di combustione sul trattato 10' (Cal/g)</b>	<b>Calore di combustione sul trattato 20' (Cal/g)</b>	<b>% di aumento a fine trattamento</b>
Carta	2376	3003	5134	108
Legno	3503	4154	4680	62
RSU + 20 % acqua	2750	-	5356	95
RSU + 45 % acqua + carta 5 %	2130	-	5122	120



Si evidenzia quindi come il trattamento di micronizzazione mecano-chimica permetta di aumentare, in taluni casi del 120 %, il calore di combustione del prodotto. Ciò deriva essenzialmente da due fattori: la granulometria minore del campione e la superficie specifica che aumenta. La diminuzione delle dimensioni delle particelle permette poi una agevole separazione delle componenti pericolose (metalli e sostanze clorurate) prima che arrivino alla combustione.

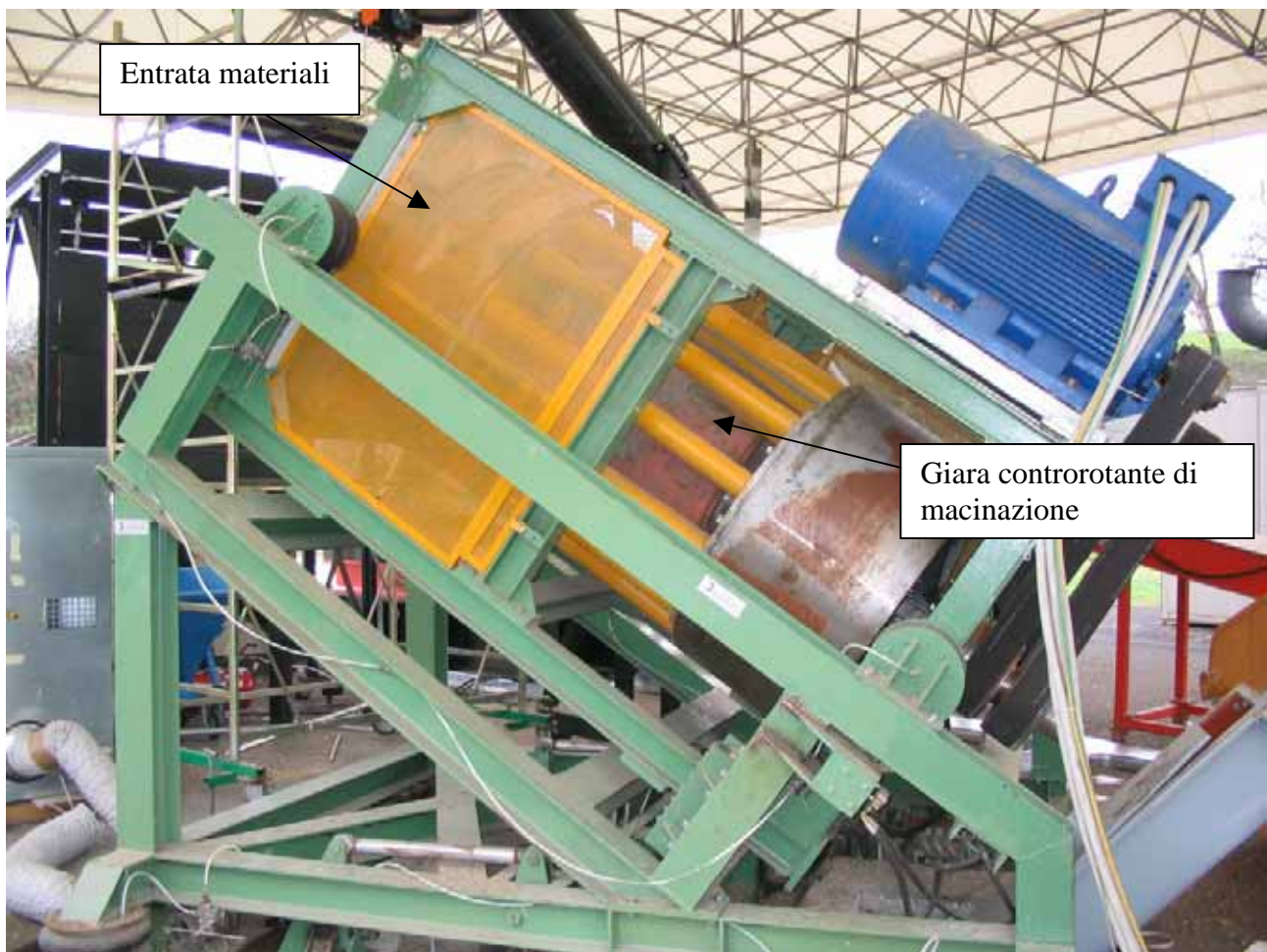
Dalla figura 4 si può osservare come il materiale, che in partenza era costituito dal 30 % di organico, 20 % di legno, 20 % di cellulosa, 20 % di plastica e 10 % di inerti (metallo, vetro e cemento), sia infine omogeneo, composto da particelle agglomerate tra loro. Il potere calorifico aumenta dal 62 al 120 %. La figura 5 mostra biomasse trattate (legno): risulta evidente come tali materiali seguano lo stesso destino, arrivando a formare una massa spugnosa ad elevata superficie specifica e avente un potere calorifico maggiore.

### Prove in impianti pilota

Le prove in impianti pilota, condotte dal 2003 al 2006 hanno consentito una determinazione dei vari parametri di funzionamento e in definitiva una validazione del processo. Il primo impianto è stato montato presso la Hicom Int. a Sidney (AU), dove peraltro è stato utilizzato uno schema di processo molto semplificato e costituito da una frantumazione grossolana, da una micronizzazione e infine una separazione con ciclonatura. Queste prime sperimentazioni riuscirono particolarmente bene e così si decise di proseguire nello sviluppo di una macchina italiana, di maggiore capacità rispetto al modello individuato. Nel 2004 è iniziata la vera e propria campagna di prove che hanno portato alla determinazione dei parametri necessari per l'impianto definitivo. L'esperimento, unico al mondo per dimensioni e per impegno finanziario, ci è stato consentito grazie alle risorse messe a disposizione dal Ministero Istruzione Università e Ricerca, nell'ambito del progetto THOR finanziato nel 2002. L'area, complessivamente di 500 mq, racchiusa da una tensostruttura, è stata attrezzata con una serie di macchine di preparazione e raffinamento adatte ad un impianto industriale per offrire una facilities ad una utenza potenziale di circa 20.000 abitanti. La linea di preparazione è costituita da una macchina per frantumazione monoalbero dotata di griglia da 30 mm, una serie di separatori magnetici per eliminare le porzioni metalliche ferrose del rifiuto grossolano e dall'“Ultramulino” THOR, studiato, progettato e realizzato dalla ASSING SpA, che utilizza il principio della nutazione per portare a micronizzazione il rifiuto. L'Ultramulino è stato realizzato con una capacità operativa di circa 1500 kg ora di RSU, con densità 0.3, oppure per un totale di 5 mc di materiale ogni ora. L'ultramulino porta la granulometria del materiale ai 30-50 micron necessari per le ulteriori fasi del raffinamento. Il prodotto micronizzato viene allontanato e raffinato da una separazione per ciclonatura ad aria e quindi insaccato in big bags.

*Tabella 3: Potere calorifico delle miscele utilizzate nei test di impianto*

Materiale	P.C.I (Kcal/kg) Tal quale	P.C.I. (Kcal/Kg) Trattato
Misto carta, legno, PET secco	4800	5356
Misto carta, legno, PET + 40 % organico (70% umidità)	3050	5122



*Figura 6: Immagine del mulino a nutazione nell'impianto pilota di Montelibretti (capacità di trattamento 2 ton/ora)*

### **Applicazioni del sistema THOR**

Il sistema di trattamento messo a punto può essere integrato facilmente con impianti GIA' ESISTENTI, ad esempio filiere costituite da sistemi di raccolta differenziata, compostaggio e termodistruzione. In questo caso il sistema THOR si pone dopo la separazione della frazione compostabile e prima della termodistruzione e permette di ottenere un altro prodotto, micronizzato e pulito, adatto alla termovalorizzazione ma anche all'impiego in industria chimica.

In definitiva, la rete di recupero dei rifiuti verrebbe integrata con la dislocazione sul territorio di piccoli impianti di raffinazione che occupano in media 400-600 mq ciascuno, che possono essere realizzabili anche in ambienti sotterranei e che possono gestire ciascuno i rifiuti di 30.000 abitanti e le scorie della termovalorizzazione.

Una città di 100.000 abitanti può essere servita da tre centri di raffinazione, chiamati SERVER, che potrebbero essere dislocati in ambienti interrati (gallerie, aree interrato) o in aree aperte di dimensioni limitate.

Dai centri SERVER il rifiuto tal quale viene inizialmente vagliato, separato delle sue componenti metalliche più grossolane (soprattutto parti grossolane di metalli ferrosi – ferro, ghisa- e non ferrosi- alluminio, rame, lastre zincate), quindi sminuzzato in una dimensione di circa 50 mm; segue una seconda separazione dei componenti con metalli non ferrosi di dimensioni medio piccole – lattine residue, contenitori, tappi). Il materiale viene quindi sottoposto ad un processo di schiacciamento in mulini a rulli che eseguono un'operazione di compattazione ed eliminazione

delle frazioni liquide, raccolte e separate). Il pulp così prodotto, con un tenore di acqua inferiore alla metà dell'iniziale, viene trasferito in una macchina di micronizzazione basata sulla trasformazione mecanochimica, che porta la granulometria del prodotto a dimensioni di alcune decine di micron. L'azione mecanochimica prodotta per attrito porta ad una destrutturazione dei polimeri delle plastiche, ad una riduzione delle molecole lunghe dei prodotti cellulosici e ciò permette un'aumento delle prestazioni energetiche di tali materiali.

Prodotti contenenti cloro vengono invece sottoposti a cracking, il cloro viene rimosso precipitando come sale, mentre il resto del polimero si omogenizza con il resto del materiale.

Le pressioni di urto sono tali (da 10000 a 15000 atmosfere) da eliminare qualsiasi carica batterica, rendendo così il prodotto, che chiameremo **HVS**, sterile. Altra particolarità di questo stadio di raffinazione è l'aumento del potere calorifico del mélange che si forma, passando dai normali 2400 kcal/kg a 5400-5600 kcal/kg.

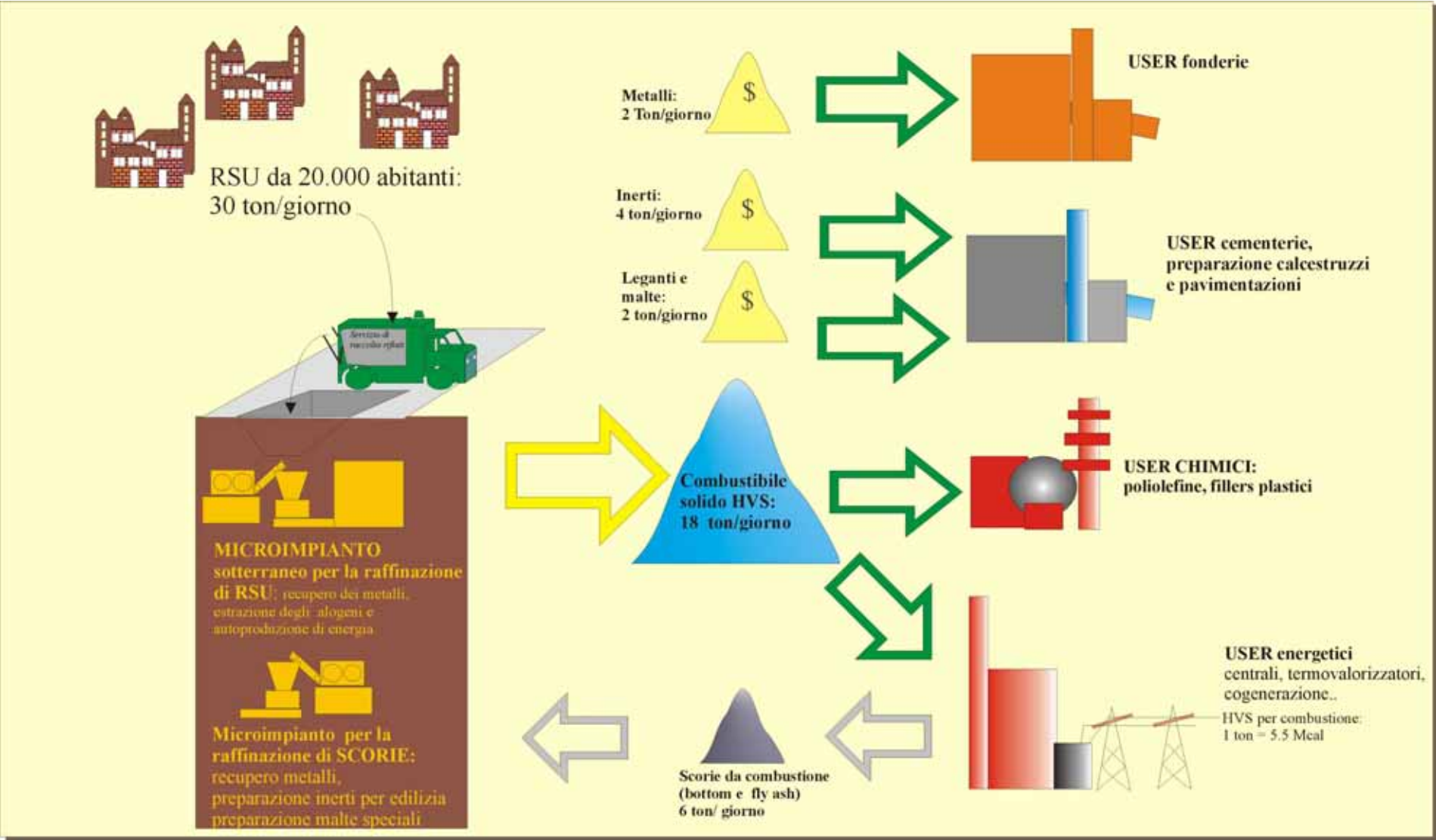
Il materiale HVS che esce dal ciclo di raffinazione può essere stoccato indefinitamente perché non presenta più problemi di emissioni odorose o gassose né da luogo a percolato.

Un'ultima fase di separazione dei metalli più finemente dispersi (cromo, alluminio, rame) rende il prodotto finale praticamente esente da metalli.

A questo punto il prodotto HVS risulta pulito, esente da alogeni e metalli e sostanze pesanti e viene "impacchettato" in diverse forme: esso può infatti essere bricchettato per un utilizzo come combustibile da riscaldamento o da caldaia, può essere insilato per il trasporto come sfuso oppure può essere emulsionato per essere trasportato liquido.

Una parte del prodotto viene ad alimentare un impianto di cogenerazione localizzato presso il SERVER stesso, che sfrutta la combustione del prodotto per generare calore ed elettricità attraverso una turbina a vapore. Il calore residuo viene poi recuperato per effettuare due trattamenti, il primo per l'evaporazione delle frazioni liquide di derivanti dal trattamento di compressione, il secondo per raffinare e trasformare le scorie pesanti e leggere prodotte dall'impianto di cogenerazione. Le minori porzioni di calore prodotto possono essere impiegate per altri impianti attigui di evaporazione di fanghi. I residui secchi vengono immessi anch'essi nel circuito di raffinazione.

Le ceneri volanti (fly ash) e le ceneri pesanti (bottom ash) vengono prelevate e sottoposte ad un processo di modificazione cristallochimica: infatti, tali scorie sono generalmente fasi vetrose silicoalluminate con porzioni incombuste di carbone. Tali ceneri vengono frantumate e immesse in vasche di maturazione a temperature di 60-80°C in presenza di soluzioni alcaline; in queste condizioni dalle frazioni vetrose si sviluppano fasi minerali altamente utili, quali le zeoliti; le scorie diventano così delle pozzolane sintetiche, materiale di elevato valore commerciale e utilizzabile nella preparazione delle malte pozzolaniche per l'industria edile.



Dai Centri SERVER il prodotto HVS non utilizzato in autoproduzione di energia verrebbe trasferito agli utilizzatori (USER):

- centrali termiche, come prodotto combustibile (sia iniettato in caldaia che sotto forma di pellets) in impianti di cogenerazione o negli attuali termodistruttori
- industrie chimiche, per ricavarne poliolefine e quindi idrocarburi per autotrazione o altri materiali plastici
- in industria manifatturiera, come filler ad es. produzione di pallets, pannelli termoacustici, rivestimenti

Nell'utilizzo come combustibile, il prodotto viene additivato da ossidi alcalini trattati per via meccanochimica che in fase di raffreddamento dei fumi tendono a segregare l'anidride carbonica prodotta, con formazione di semplici carbonati, che viene recuperata nelle scorie.

Un aspetto molto importante del circuito SERVER-USER è IL RECUPERO DELLE SCORIE:

è infatti noto che il 30 % del combustibile solido sottoposto a combustione ritorna come cenere, in parte volante (fly ash) e in parte di fondo caldaia (bottom ash).

Tali scorie risulterebbero NON PERICOLOSE, a differenza delle attuali scorie da CDR, in quanto le componenti pericolose vengono tolte in fase di raffinazione. Ne risultano scorie di tipo alluminosilicatico-calcico, che verrebbero riportate presso gli stessi centri SERVER o altri centri di RAFFINAZIONE SCORIE, dai quali si ottengono METALLI ( 30 %), leganti e malte (30 %) e inerti per calcestruzzo (60 %).

Agli USER il prodotto HVS potrebbe essere fornito a costo molto basso, sufficiente a coprire il solo costo di preparazione e trasporto, inferiore al costo del combustibile tradizionale. In compenso, i USER potrebbero smaltire presso i centri SERVER, a costi del solo trasporto, le scorie di caldaia e le fly ashes prodotte. SERVER, a sua volta smaltirebbe le scorie prodotte dal USER dopo raffinazione, come prodotti industriali di pregio, ricavandone un utile.

I SERVERs guadagnerebbero quindi dal recupero energetico e dalla rivendita dei metalli, mentre i clienti USER guadagnano risparmiando sul combustibile e sullo smaltimento delle scorie di combustione.

Il tutto a vantaggio della comunità, che avrebbe il costo di smaltimento degli RSU abbattuto di almeno due terzi e l'eliminazione delle emissioni cancerogene degli inceneritori e di VOC dalle discariche.

---

*Il progetto HVS è stato realizzato dal CNR ISMN in collaborazione con la ASSING SpA che ha realizzato l'impiantistica, nell'ambito del Progetto MUR "THOR" . Per informazioni, contattare il Dr. Paolo Plescia, [paolo.plescia@milib.cnr.it](mailto:paolo.plescia@milib.cnr.it)*