



▶ POLITECNICO DI MILANO



Analisi ciclo di vita della filiera di produzione di CDR e suo utilizzo in co-combustione: confronto con le opzioni alternative

Venezia, 13 Maggio 2011

M. Grosso, L. Rigamonti

DIIAR – Sezione ambientale



1. Scenari analizzati e metodologia adottata
2. Produzione di CDR presso il Polo di Fusina
3. Co-combustione nella centrale ENEL
4. Analisi di inventario per i differenti scenari
5. Risultati e conclusioni



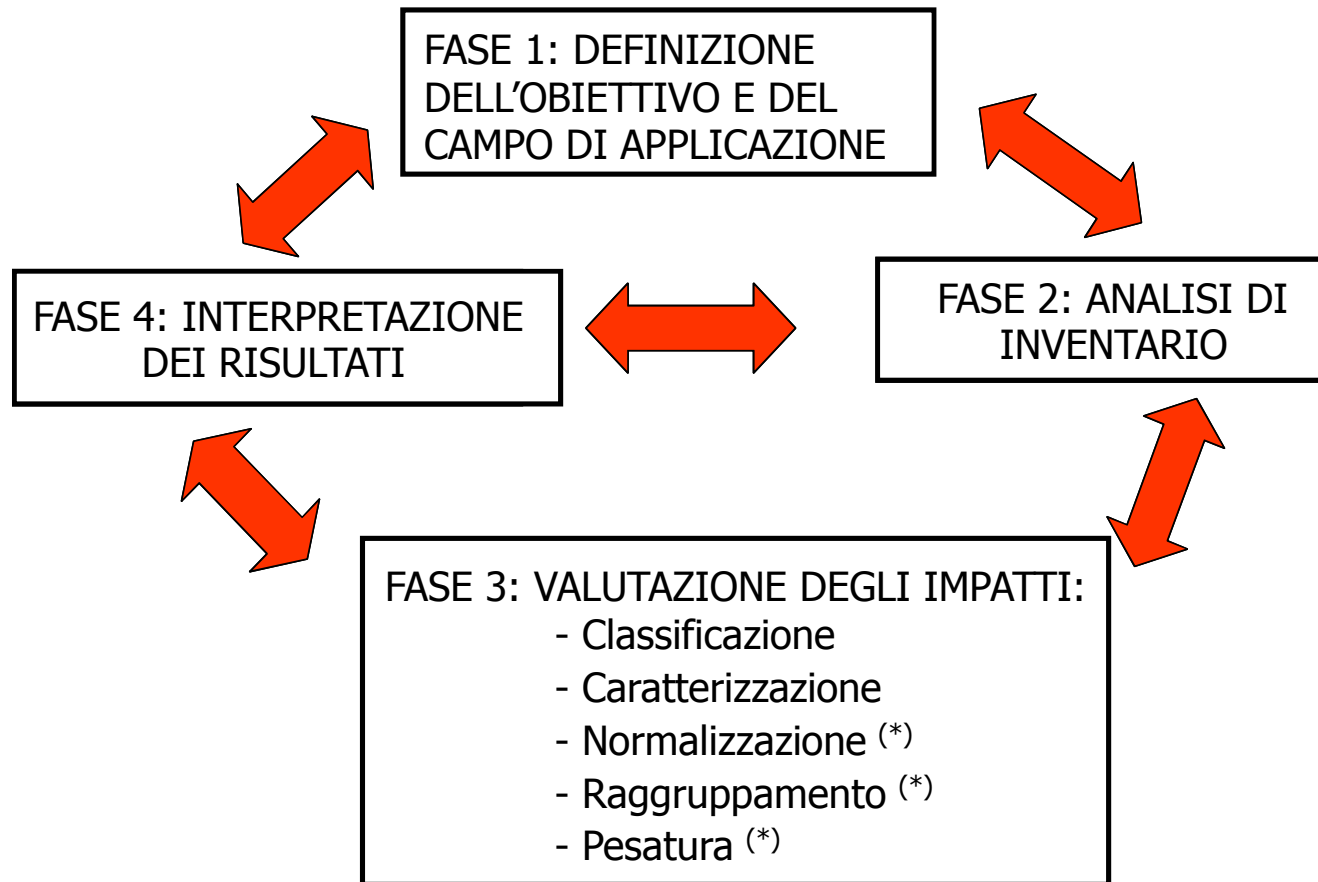
1. Scenari analizzati e metodologia adottata
2. Produzione di CDR presso il Polo di Fusina
3. Co-combustione nella centrale ENEL
4. Analisi di inventario per i differenti scenari
5. Risultati e conclusioni



1. Produzione di CDR e sua **co-combustione** in centrale ENEL (alimentazione a 9 t/h)
2. **Incenerimento diretto del RUR** in un impianto a griglia con prestazioni ambientali al meglio di quanto consentito oggi dalla tecnologia. Gli assetti di funzionamento sono:
 - 2a. produzione di sola energia elettrica
 - 2b. cogenerazione "all'italiana" (con turbina a spillamento e quindi ottimizzato per la produzione di energia elettrica rispetto al calore)
 - 2c. cogenerazione "alla danese" (con turbina a contropressione e quindi ottimizzato per la produzione di calore rispetto all'energia elettrica)
3. **Incenerimento del CDR** in un combustore dedicato a letto fluido. Per non amplificare ulteriormente il numero dei sottocasi, si studia come assetto di funzionamento solo quello che al punto 2 è risultato il migliore



Life Cycle Assessment (LCA)



La LCA valuta gli aspetti ambientali e i potenziali impatti ambientali relativi ad un processo o ad un'attività: la valutazione comprende l'intero ciclo di vita del processo o attività, incluso quindi l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale

(*): fasi definite dalle norme ISO (International Organization for Standardization) come opzionali e quindi non effettuate in questo studio



Metodologia LCA: Life Cycle Assessment

Metodo di caratterizzazione CML^(*) 2001 (adattato per questo studio)

- Riscaldamento globale GWP (kg di anidride carbonica CO₂ eq.)
- Tossicità umana HTP (kg 1,4-diclorobenzene DCB eq.), modificata con l'aggiunta del particolato secondario calcolato come $0,88 \text{ NO}_x + 0,54 \text{ SO}_2 + 0,64 \text{ NH}_3$ (De Leeuw, 2002)
- Acidificazione AP (kg di anidride solforosa SO₂ eq.)
- Formazione fotochimica di ozono POCP (kg di etilene C₂H₄ eq.), modificato aggiungendo un unico fattore di caratterizzazione per gli ossidi di azoto NO_x ed un unico fattore di caratterizzazione per i composti organici volatili COV non metanici.

(*): Centrum voor Milieukunde (Istituto di scienze ambientali, Leiden University, Paesi Bassi)



IMPATTI E SOSTANZE INQUINANTI CHE LI CAUSANO

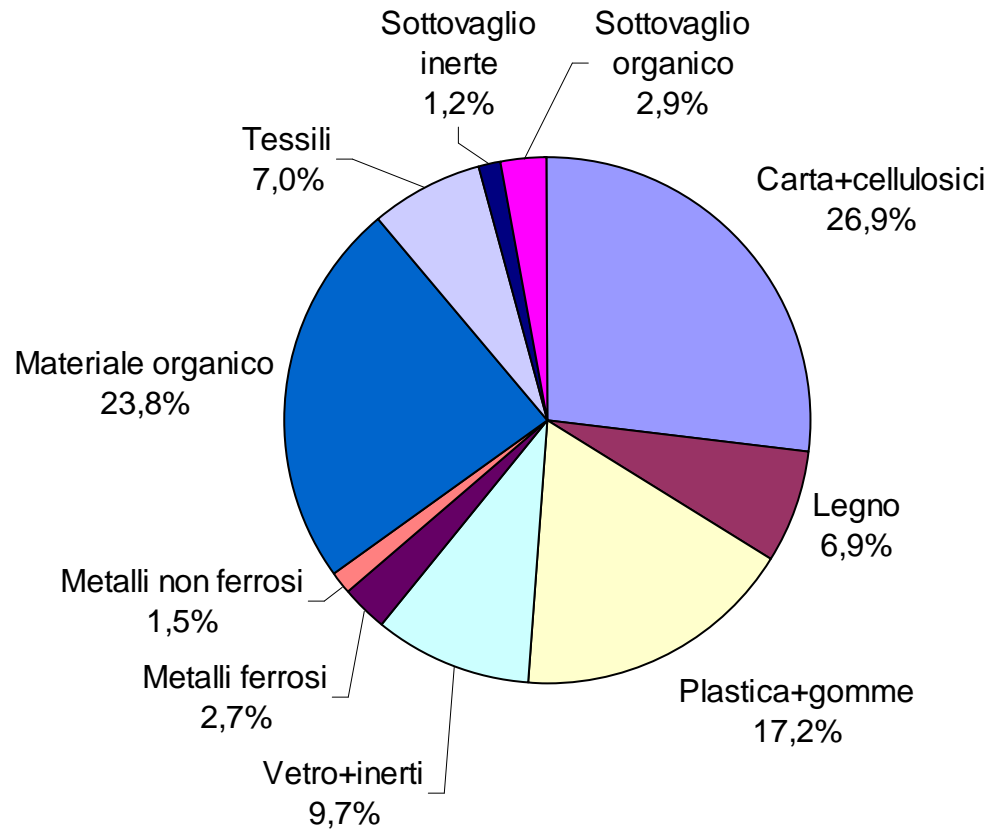
EMISSIONI GASSOSE	Riscaldamento globale	Tossicità umana	Formazione fotochimica di ozono	Acidificazione
Anidride carbonica CO ₂ (fossile)	x			
Ossidi di zolfo SO _x		x		x
Composti organici volatili non metanici			x	
Metano CH ₄	x		x	
Ossidi di azoto NO _x		x	x	x
Propano, butano, eptano			x	
Formaldeide			x	
Benzene		x	x	
Idrocarburi policiclici aromatici IPA		x		
Arsenico As		x		
Metalli Cr, Cu, Se, Cd, Hg, Zn, Pb, V, Co, Ni		x		
Diossine		x		
Etilene			x	
Acido fluoridrico HF		x		
Ammoniaca NH ₃		x		x
Acido cloridrico HCl		x		
Protossido d'azoto N ₂ O	x			
Polveri PM10		x		



1. Scenari analizzati e metodologia adottata
- 2. Produzione di CDR presso il Polo di Fusina**
3. Co-combustione nella centrale ENEL
4. Analisi di inventario per i differenti scenari
5. Risultati e conclusioni



RIFIUTO DI RIFERIMENTO (RUR)



Ricavata come media
delle analisi merceologiche

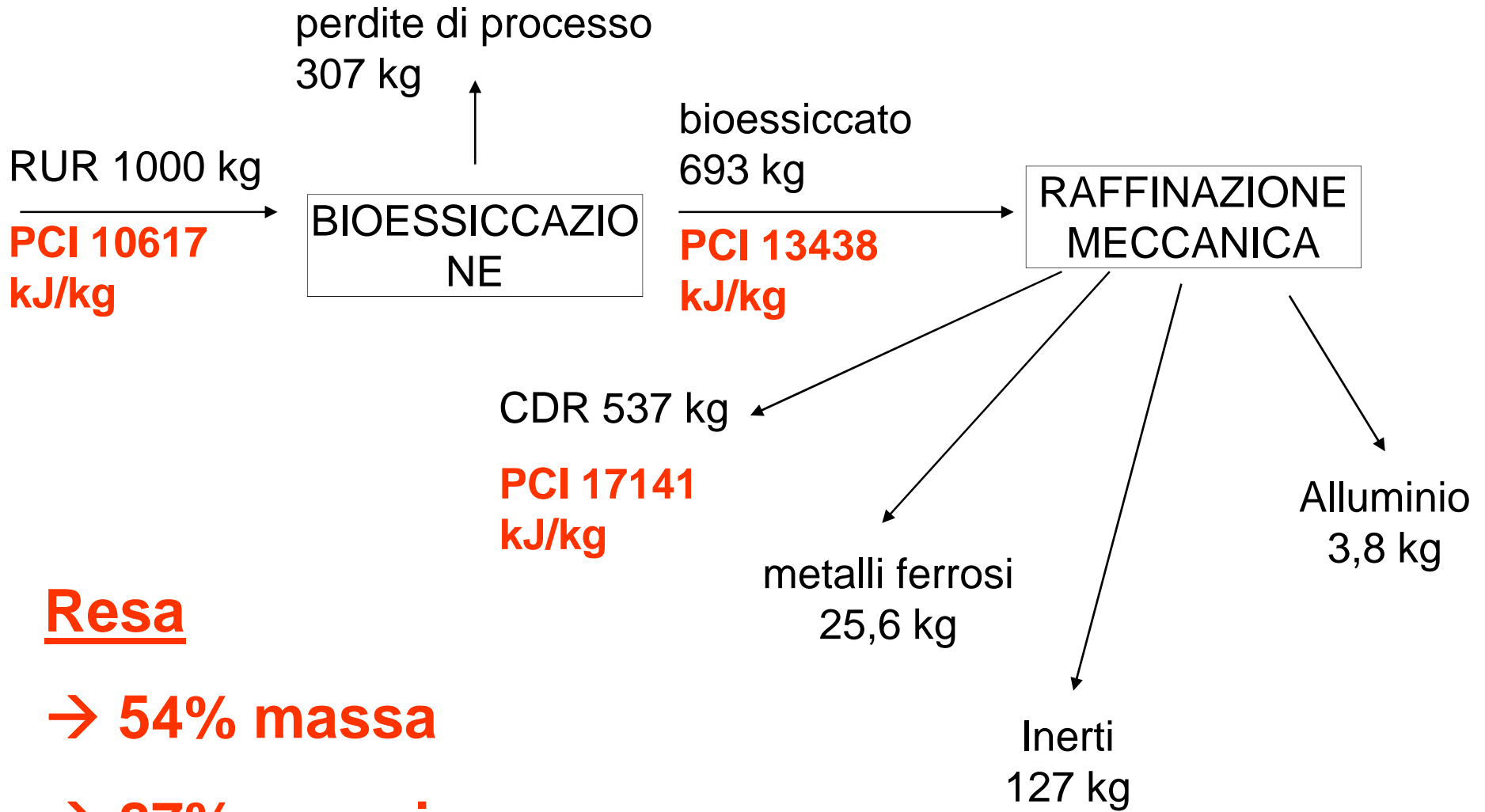
Caratteristiche calcolate

Umidità	28,4 %
Ceneri	17,4%
PCI	10617 kJ/kg
Carbonio totale	27,5%
Carbonio fossile	11,4%

Unità funzionale
dell'analisi LCA:
**1 t di RUR, prodotta in un
bacino di riferimento di
250.000 t/a**



PRODUZIONE DI CDR



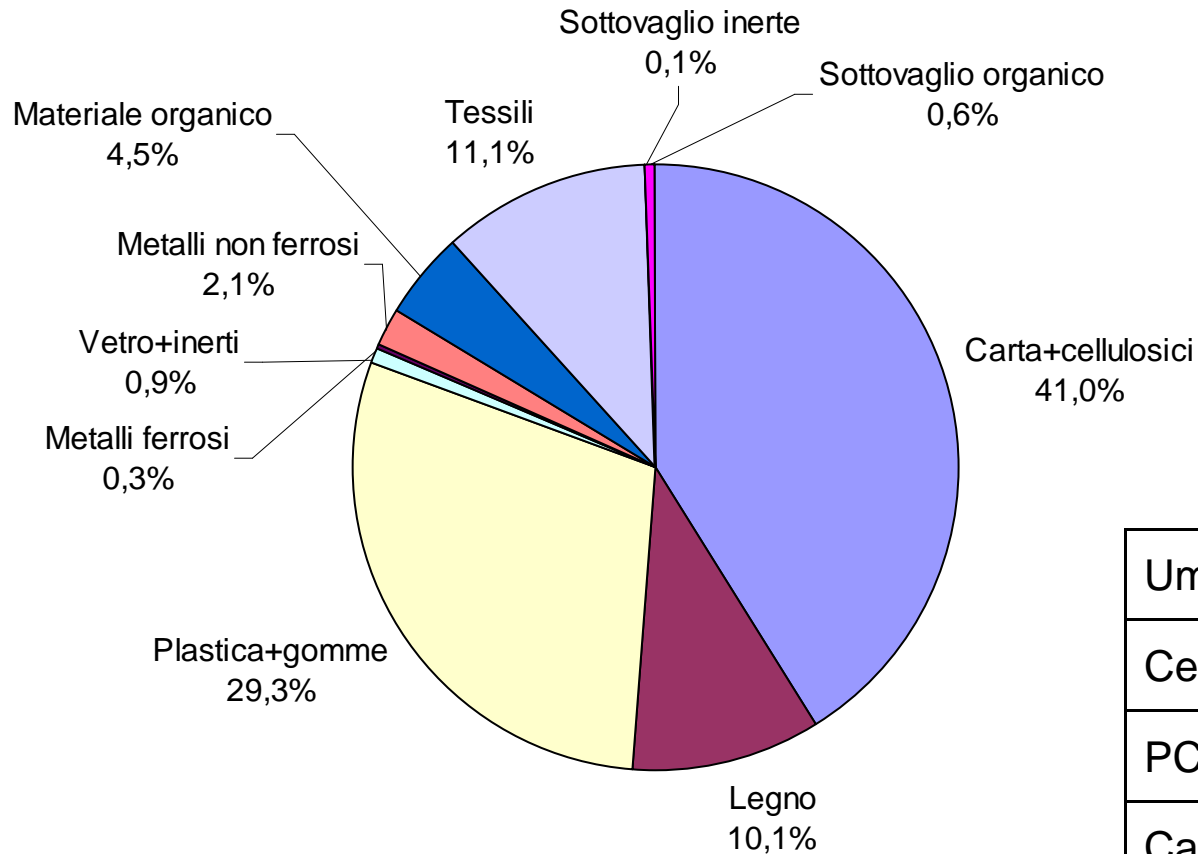
Resa

→ 54% massa

→ 87% energia



CARATTERISTICHE DEL CDR



Ottenute dalla modellizzazione del processo di produzione del CDR a partire dal RUR

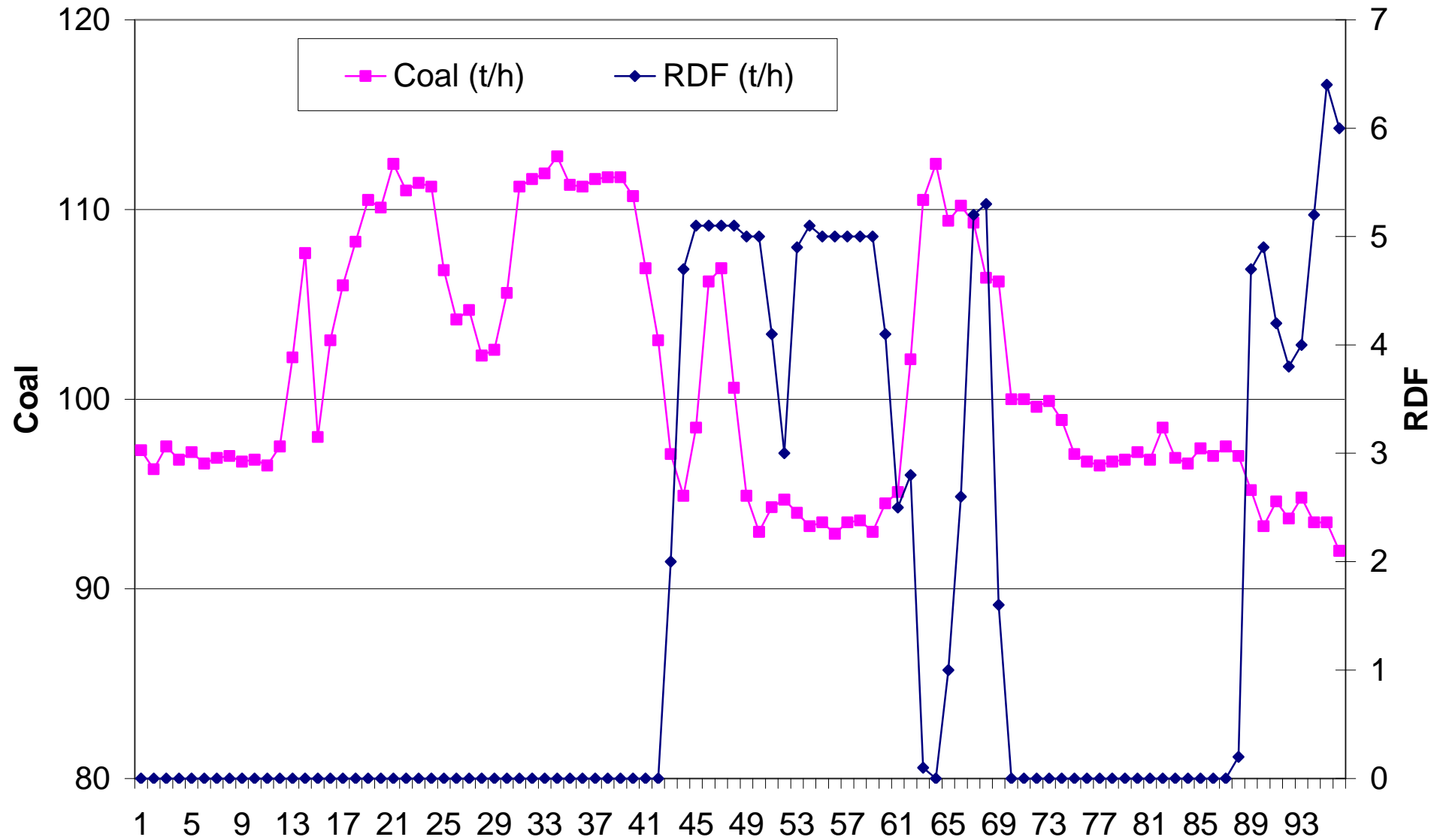
Umidità	7,5 %
Ceneri	10,2%
PCI	17141 kJ/kg
Carbonio totale	43,0%
Carbonio fossile	20,6%



1. Scenari analizzati e metodologia adottata
2. Produzione di CDR presso il Polo di Fusina
- 3. Co-combustione nella centrale ENEL**
4. Analisi di inventario per i differenti scenari
5. Risultati e conclusioni



CO-COMBUSTIONE: alimentazione di CDR e carbone





CO-COMBUSTIONE: UTILIZZO DI CDR E CARBONE E FUMI PRODOTTI

Co-combustione e bianco

Per avere la stessa produzione di energia elettrica (1 MWh):

341 kg_{CARBONE} + 31 kg_{CDR}
3.290 m³_n di fumi

362 kg_{CARBONE}
3.334 m³_n di fumi

1 kg_{CDR}



-0,67 kg_{CARBONE}



CO-COMBUSTIONE: concentrazioni inquinanti al camino della centrale ENEL

	Per m ³ di Fumi secchi 6% O ₂	BIANCO	CO-COMBUSTIONE
polveri totali	mg	5,17	1,94
HCl	mg	0,87	3,65
HF	mg		2,39
NH ₃	mg	0,03	0,23
Sb	µg		1,17
As	µg		1,17
Cd	µg		0,50
Co	µg		0,50
Cr	mg	0,003	0,007
Mn	mg	0,027	0,008
Hg	µg		1,93
Ni	mg	0,025	0,003
Pb	mg	0,003	0,004
Cu	µg		6,69
Sn	µg		1,33
Tl	µg		1,00
V	mg	0,003	0,001
Zn	mg		0,0270
PCDD/PCDF	I-TEQ pg		0,3063
IPA	ng		696,75
SO _x	mg	157	141
NO _x	mg		153,40
CO	mg	10,7	14,3
COT	ng		3,29
N ₂ O*	mg		5,87

* Da letteratura



CO-COMBUSTIONE: emissioni di CO₂ fossile

Carbone:

contenuto di carbonio fossile = 65% → 2383 kgCO₂ fossile/t_{CARBONE}

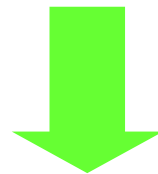
CDR:

contenuto di carbonio fossile = 20,6% → 757 kgCO₂ fossile/t_{CDR}



In bianco (11,744 t_{CARBONE}): 27990 kg CO₂ fossile

In co-combustione (1 t_{CDR} + 11,066 t_{CARBONE}): 27131 kg CO₂ fossile



- 859 kg CO₂ fossile in co-combustione



CO-COMBUSTIONE: produzione di ceneri nella centrale

Produzione di ceneri:

- in bianco ($11,744 t_{\text{CARBONE}}$): 1,309 t
- in co-combustione ($1 t_{\text{CDR}} + 11,066 t_{\text{CARBONE}}$): 1,406 t



in co-combustione: + 97 kg di ceneri trasportate a 50 km di distanza per lo smaltimento (cementificio)



1. Scenari analizzati e metodologia adottata
2. Produzione di CDR presso il Polo di Fusina
3. Co-combustione nella centrale ENEL
- 4. Analisi di inventario per i differenti scenari**
5. Risultati e conclusioni



PROCESSI CONSIDERATI NEI TRE SCENARI – impatti sull'ambiente

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Produzione CDR	consumo di energia elettrica	X	X
	emissioni dalla bioessiccazione	X	X
	materiali per costruzione impianto	X	X
	trasporto residui (metalli e inerti)	X	X
	smaltimento inerti	X	X
Co-comb CDR	emissioni dalla co-combustione	X	
	consumo di carbone	X	
	trasporto residui	X	
Termovalorizzazione	emissioni camino	X	X
	consumo di reagenti	X	X
	consumo di combustibili ausiliari	X	X
	materiali per costruzione impianto	X	X
	trasporto dei residui	X	X
	smaltimento residui	X	X



PROCESSI CONSIDERATI NEI TRE SCENARI – impatti evitati

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	
Recupero materiali	metalli ferrosi da produzione CDR	X	X	
	metalli non ferrosi da produzione CDR	X	X	
	metalli ferrosi dal scorie di combustione		X	X ¹
	metalli non ferrosi da scorie di combustione		X	X ¹
Comb. in bianco	consumo di carbone	X		
	trasporto residui	X		
Produzione EE/ET	energia elettrica evitata		X	X
	energia termica evitata		X ²	X

1: valutato anche scenario senza tale recupero

2: tranne che in 2a



SCENARIO 1 – CO-COMBUSTIONE: PROCESSI CONSIDERATI NELLA PRODUZIONE DI CDR

Produzione di CDR:

Processo	Valori per 1 t di RUR
energia elettrica	103 kWh (75 kWh per bioessiccazione+raffinazione meccanica e 28 kWh per la bricchettatrice)
gas naturale	2 m ³ _n
costruzione impianto	2,7 kg di calcestruzzo 0,5 kg di acciaio
trasporto	25,6 kg di metalli ferrosi a 100 km 3,8 kg di alluminio a 100 km 127 kg di inerti a 50 km
smaltimento inerti	127 kg di inerti a discarica per materiali inerti
riciclo	25,6 kg di metalli ferrosi a riciclo (rendimento fonderia 90,5%) 3,8 kg di alluminio a riciclo (rendimento pretrattamento 95% e rendimento fonderia 83,5%)



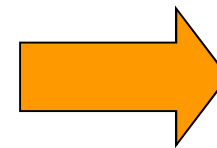
SCENARIO 1 – CO-COMBUSTIONE: PROCESSI CONSIDERATI

IMPATTI NELL'AMBIENTE DA:

- Produzione di CDR
 - consumo di energia elettrica
 - emissioni dalla bioessiccazione
 - consumo di gas naturale
 - materiali per costruzione impianto
 - trasporto residui (metalli e inerti)
 - smaltimento inerti
- Co-combustione di CDR
 - emissioni dalla co-combustione
 - consumo di carbone
 - trasporto residui

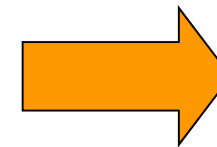
IMPATTI EVITATI DA:

- Recupero di materia (riciclo metalli ferrosi e non ferrosi separati durante produzione CDR)
- Combustione in bianco
 - emissioni
 - consumo di carbone



Segno POSITIVO

SVANTAGGIO per
l'ambiente



Segno NEGATIVO

VANTAGGIO per
l'ambiente

TOTALE



SCENARIO 1 – CO-COMBUSTIONE: PROCESSI CONSIDERATI NELLA PRODUZIONE DI CDR

Produzione di CDR: emissioni dalla bioessiccazione

Inquinante	Fattori di emissione per t di RUR		Nota
CO ₂ (fossile)	4,01	kg	calcolato da consumo metano
CO	15	g	calcolato da CO2 non fossile e consumo metano
NO _x (come NO ₂)	71,6	g	Lara
SO _x (come SO ₂)	0,15	g	Lara studio vecchio con Q nuova (3073 m ³ _n /t _{RUR})
COV NM	7,68	g	Lara
NH ₃	7,99	g	Lara
N ₂ O-N	5,5	g	Prin 2006
HCl	2	g	Anpa 2000
HF	200	mg	Anpa 2000
H ₂ SO ₄	0	mg	Anpa 2000
Benzene	0	mg	Anpa 2000
Cd	5	mg	Prin 2006
Hg	15	mg	Prin 2006
Pb	125	mg	Anpa 2000
Mn	5	mg	Anpa 2000
Ni	11	mg	Prin 2006
Cu	5	mg	Anpa 2000
Zn	75	mg	Anpa 2000
Diossine (I-TEQ)	5,53	ng	Lara
IPA	0	ng	Anpa 2000
Mercaptani	0,09	g	Lara studio vecchio con Q nuova (3073 m ³ _n /t _{RUR})
H ₂ S	0,14	g	Lara studio vecchio con Q nuova (3073 m ³ _n /t _{RUR})
PM ₁₀	1,23	g	Lara
CO ₂ (non fossile)	139	kg	calcolato da caratteristiche rifiuto



SCENARIO 2 – INCENERIMENTO DIRETTO: PROCESSI CONSIDERATI

IMPATTI NELL'AMBIENTE DA:

- emissioni camino
- consumo di reagenti
- consumo di combustibili ausiliari
- materiali per costruzione impianto
- trasporto dei residui
- smaltimento residui



Segno POSITIVO

SVANTAGGIO per
l'ambiente

IMPATTI EVITATI DA:

- produzione di energia
- recupero di materia dai residui



Segno NEGATIVO

VANTAGGIO per
l'ambiente

TOTALE



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Concentrazioni degli inquinanti al camino

INQUINANTI	CONCENTRAZIONI (11% O ₂ , fumi secchi)
	mg/m _n ³
NH ₃	0,71
CO	5,80
Polveri totali	0,09
HCl	1,90
HF	0,13
N ₂ O	0,96
COT	0,40
NO _x (come NO ₂)	39,6
SO _x (come SO ₂)	0,40
Zinco	0,018

INQUINANTI	CONCENTRAZIONI (11% O ₂ , fumi secchi)
	ngl-TEQ/m _n ³
Diossine	0,0018

INQUINANTI	CONCENTRAZIONI (11% O ₂ , fumi secchi)
	µg/m _n ³
Cadmio	1,10
Arsenico	0,50
Cobalto	0,50
Cromo	0,50
Rame	0,50
Manganese	0,60
Nichel	0,50
Piombo	0,60
Antimonio	0,50
Vanadio	0,65
Stagno	0,50
Mercurio	2,00
IPA	0,052



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Concentrazioni degli inquinanti al camino

Per determinare i fattori di emissione, le concentrazioni devono essere moltiplicate per la portata di fumi:

Portata fumi secchi 11%O₂ m³_n/t RUR	6700
---	-------------

Emissioni di CO₂ (calcolate sulla base del contenuto di carbonio del RUR):

kg CO₂ fossile per t RUR	420
kg CO₂ rinnovabile per t RUR	589



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Consumo di materiali/reagenti/combustibili espressi per t di RUR:

COSTRUZIONE IMPIANTO	
calcestruzzo	15 kg
acciaio	11 kg
REAGENTI LINEA FUMI	
bicarbonato di sodio	16,82 kg
urea	1,14 kg
carbone attivo	0,85 kg
COMBUSTIBILI	
gas metano per bruciatori	1,9 m _n ³
gasolio	0,13 l
TRATTAMENTO ACQUA CALDAIA	
HCl	0,117 kg
NaOH	0,120 kg



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Trattamento delle CENERI (21,65 kg per t di RUR):

- trasporto delle ceneri all'impianto di inertizzazione a 50 km
- inertizzazione delle ceneri utilizzando 70 g di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ per kg di cenere e 225 g di acqua per kg di cenere
- trasporto delle ceneri inertizzate (28,04 kg per t di RUR) a 50 km
- smaltimento delle ceneri inertizzate in discarica per materiali inerti

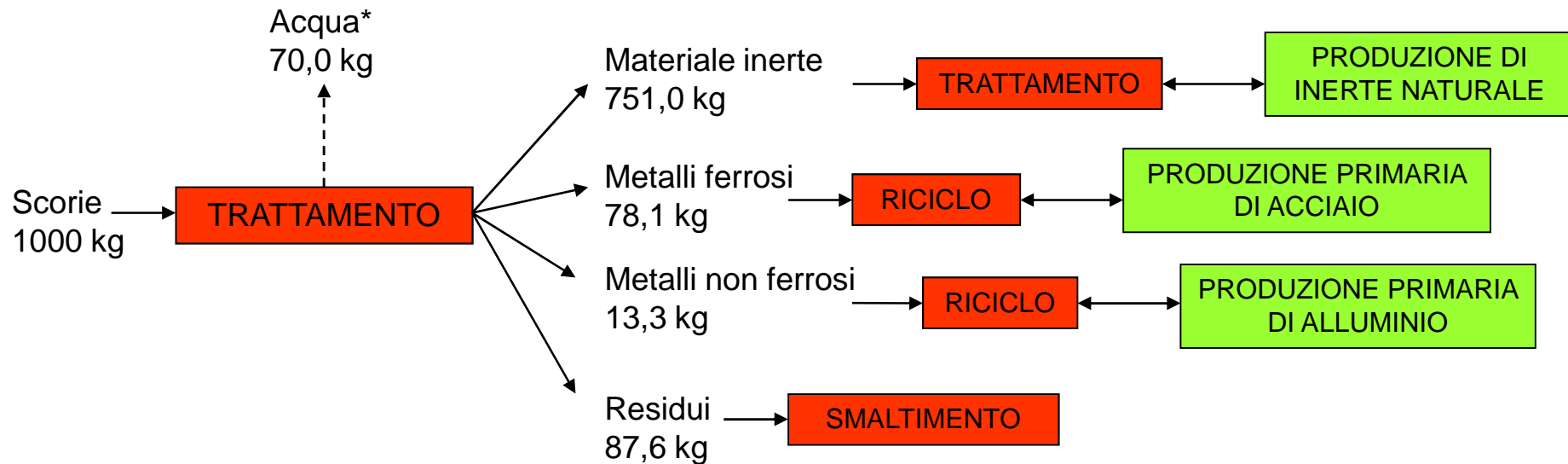
Trattamento dei PSR (prodotti sodici residui) (12,62 kg per t di RUR):

- trasporto dei PSR a Rosignano (distanza = 300 km)
- trattamento per il recupero del sale NaCl
- smaltimento dei residui ultimi in discarica



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Trattamento delle SCORIE: Bilancio di materia di riferimento

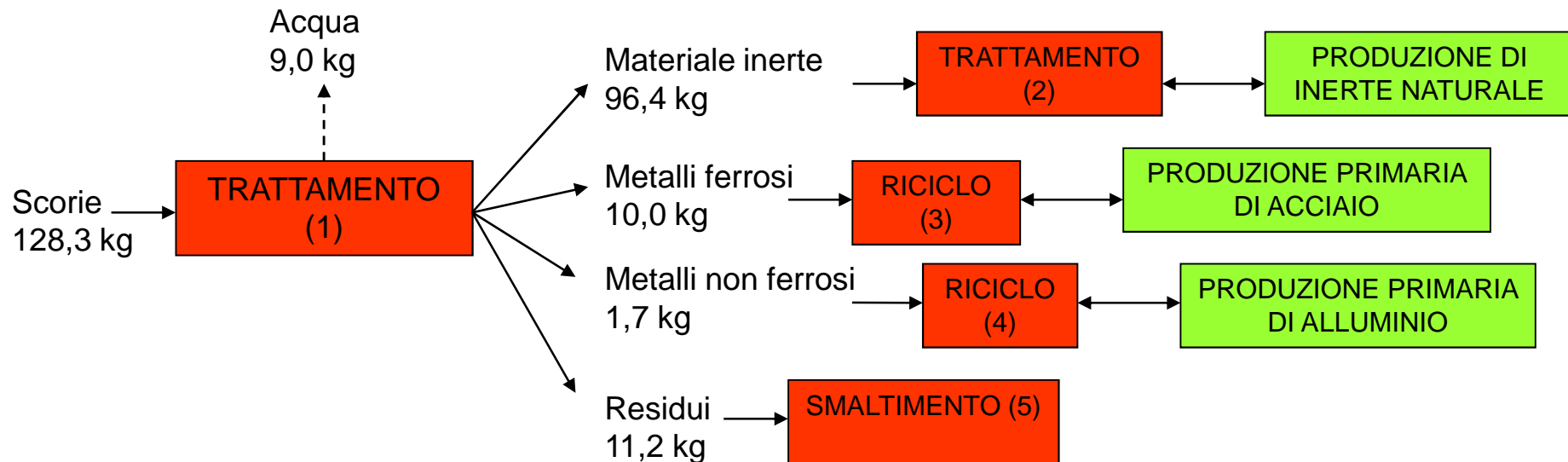


*si suppone che le scorie prima di essere trattate vengano lasciate a maturazione per un tempo tale da ridurre l'umidità dal 25% al 18% circa



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Per 1 t di RUR:



1. Consumo di energia elettrica
2. Il materiale viene inviato a cementificio (50 km) dove evita l'utilizzo di altri inerti naturali nella produzione della farina cruda (1 kg di scorie sostituisce 3,3 kg di marna ma necessita dell'aggiunta di 2,2 kg di calcare)
3. Distanza fonderia: 100 km; rendimento fonderia = 90,5%
4. Distanza fonderia: 100 km; rendimento fonderia = 78%
5. Lo smaltimento avviene in discarica per materiali inerti (distanza 50 km)



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Produzione di energia:

SCENARIO	RENDIMENTO ELETTRICO NETTO	RENDIMENTO TERMICO	PRODUZIONE NETTA DI ENERGIA ELETTRICA	PRODUZIONE DI CALORE
2a: produzione di sola energia elettrica	27%	-	796 kWh/t_{RUR}	0
2b: cogenerazione "all'italiana"	24%	18%	708 kWh/t_{RUR}	1911 MJ/t_{RUR}*
2c: cogenerazione "alla danese"	20,7%	74%	611 kWh/t_{RUR}	7857 MJ/t_{RUR}*

* Da tale valore vengono sottratte le perdite di rete e per lo scambiatore di calore, valutate essere in totale pari al 20% (da cui 1911 MJ diventa 1529 MJ di calore utile e 7857 MJ diventa 6286 MJ di calore utile)



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

SCENARIO	RENDIMENTI NETTI (elettrico/termico)	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA	PRODUZIONE DI CALORE
2a: solo elettrico	27 / 0 [%]	796 kWh/t _{RUR}	0
2b: cogenerazione "all'italiana"	24 / 14 [%]	708 kWh/t _{RUR}	1529 MJ/t _{RUR}
2c: cogenerazione "alla danese"	21 / 59 [%]	611 kWh/t _{RUR}	6286 MJ/t _{RUR}

- Energia elettrica sostituita → due casi estremi:
 - Centrale a carbone
 - Centrale a gas a ciclo combinato
- Calore sostituito:
 - Caldaie domestiche a gas naturale



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Centrale a carbone sostituita

Inquinanti principali		Per 1 t di carbone	Per 1 MJ di carbone
polveri totali	mg	47620	1,92
HCl	mg	8006	0,323
HF	mg	22028	0,888
NH3	mg	239	0,0096
Sb	mg	10,7	0,00043
As	mg	10,7	0,00043
Cd	mg	4,6	0,00019
Co	mg	4,6	0,00019
Cr	mg	27,6	0,0011
Mn	mg	246	0,0099
Hg	mg	17,8	0,0007
Ni	mg	231	0,0093
Pb	mg	24,6	0,00099
Cu	mg	61,7	0,0025
Sn	mg	12,3	0,0005
Tl	mg	9,2	0,0004
V	mg	29,9	0,0012
Zn	mg	249	0,010
PCDD/PCDF	I-TEQ pg	2821	0,114
IPA	ng	6417402	259
SOx	mg	1449478	58
NOx	mg	1412867	57
CO	mg	98182	3,96
PCB	ng	812	0,033
COT	mg	30289	1,22
CO2 fossile	kg	2383	0,096

Modulo del database Ecoinvent “Electricity, hard coal, at power plant” modificato di modo da avere lo stesso rendimento elettrico netto della centrale Enel di Fusina (36,63%) e gli stessi fattori di emissione. **Inoltre non si è considerata la costruzione della centrale, che si suppone già esistente.**



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Centrale a gas a ciclo combinato sostituita

Inquinanti		Per 1 MJ di gas
NOx	mg	25,5
CO	mg	2,2
CO2, fossile	g	56
SO2	mg	0,5
Polveri, < 2.5 um	mg	0,5
N2O	mg	1
Hg	µg	0,03
PCDD/PCDF	I-TEQ pg	0,029
Metano	mg	1
Acetaldeide	µg	0,8
Benzo(a)pirene	ng	0,529
Benzene	µg	0,926
Butano	mg	0,926
Acido acetico	mg	0,121
Formaldeide	mg	0,0331
IPA	mg	0,008
Pentano	mg	1,15
Propano	mg	0,705
Acido propionico	mg	0,016
Toluene	µg	1,5
Etano	mg	1,37
Esano	mg	0,793

Modulo del database
Ecoinvent “Electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology/RER”
modificato di modo da avere il rendimento elettrico netto medio annuo tipico delle centrali italiane (51,5%). Inoltre non si è considerata la costruzione della centrale, che si suppone già esistente.



SCENARIO 2: PROCESSI CONSIDERATI

Caldaia a gas sostituita

Inquinante		Per 1 MJ prodotto
CO ₂ (fossile)	g	63
CO		29
NO _x (come NO ₂)		57
SO _x (come SO ₂)		0,6
N ₂ O		1 (*)
Metano		46 (*)
Pentano		2 (*)
Propano		2 (*)
Butano	mg	2 (*)
Etano		3 (*)
Formaldeide		1 (*)
Benzene		0,46 (*)
Toluene		0,23 (*)
IPA		0,011 (*)
NM VOC		5,7
PM ₁₀		0,23
As		0,1
Cd		0,57
Cr		0,73
Cu	μg	0,45
Hg		0,14
Ni		1,1
Pb		0,26
Zn		15
Diossine (I-TEQ)	pg	2,3

(*): Valori da ANPA, 2000.

Modulo costruito ex-novo:
caldaia con rendimento
dell'87% ed emissioni come da
Bollettino Ufficiale della
Regione Lombardia (2004) e
database ANPA (2000)

SCENARIO 3 – INCENERIMENTO CDR: PROCESSI CONSIDERATI

IMPATTI NELL'AMBIENTE DA:

- **Produzione di CDR**

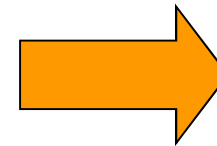
- consumo di energia elettrica
- emissioni dalla bioessiccazione
- consumo di gas naturale
- materiali per costruzione impianto
- trasporto residui (metalli e inerti)
- smaltimento inerti

- **Combustione di CDR**

- emissioni camino
- consumo di reagenti
- consumo di combustibili
- materiali per costruzione impianto
- trasporto dei residui
- smaltimento residui

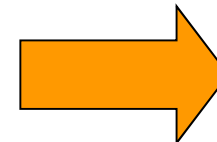
IMPATTI EVITATI DA:

- Recupero di materia
- Produzione di energia



Segno POSITIVO

SVANTAGGIO per
l'ambiente



Segno NEGATIVO

VANTAGGIO per
l'ambiente

TOTALE

POLITECNICO DI MILANO



SCENARIO 3: PROCESSI CONSIDERATI NELLA PRODUZIONE DI CDR

Produzione di CDR:

Analoga allo scenario 1, a meno del consumo di energia elettrica per la bricchettatrice, non prevista:

Produzione di CDR	Valori per 1 t di RUR
energia elettrica	75 kWh per bioessiccazione + raffinazione meccanica



SCENARIO 3: PROCESSI CONSIDERATI NELLA COMBUSTIONE DI CDR IN TERMOVALORIZZATORE

Combustione di CDR:

- Concentrazioni inquinanti al camino come nello scenario 2
- **Portata specifica di fumi diversa**
- **Diverso fattore di emissione per la CO₂**
- Consumo specifico di materiali/reagenti/combustibili come nello scenario 2
- Produzione e trattamento PSR come nello scenario 2
- **Produzione ceneri maggiore e nessuna inertizzazione (rifiuti non pericolosi)**
- **Produzione scorie minore e diversi quantitativi di metalli recuperati**
- Produzione di energia con gli stessi rendimenti dello scenario 2c cogenerativo danese
- Energia elettrica sostituita e calore sostituito come nello scenario 2



SCENARIO 3: PROCESSI CONSIDERATI

Per determinare i fattori di emissione, le concentrazioni devono essere moltiplicate per la portata di fumi:

	SCENARIO 2	SCENARIO 3
Portata fumi secchi 11%O ₂	6700 m ³ _n /t RUR	9600 m ³ _n /t CDR

Emissioni di CO₂ (calcolate sulla base del contenuto di carbonio del CDR):

	SCENARIO 2	SCENARIO 3
CO₂ fossile	420 kg per t RUR	757 kg per t CDR
CO₂ rinnovabile	589 kg per t RUR	819 kg per t CDR



SCORIE + CENERI:

- produzione ipotizzata uguale al contenuto di ceneri del CDR e quindi $102 \text{ kg/t}_{\text{CDR}}$
- scorie = 43% = $43,9 \text{ kg/t}_{\text{CDR}}$
- ceneri = 57% = $58,1 \text{ kg/t}_{\text{CDR}}$

CENERI:

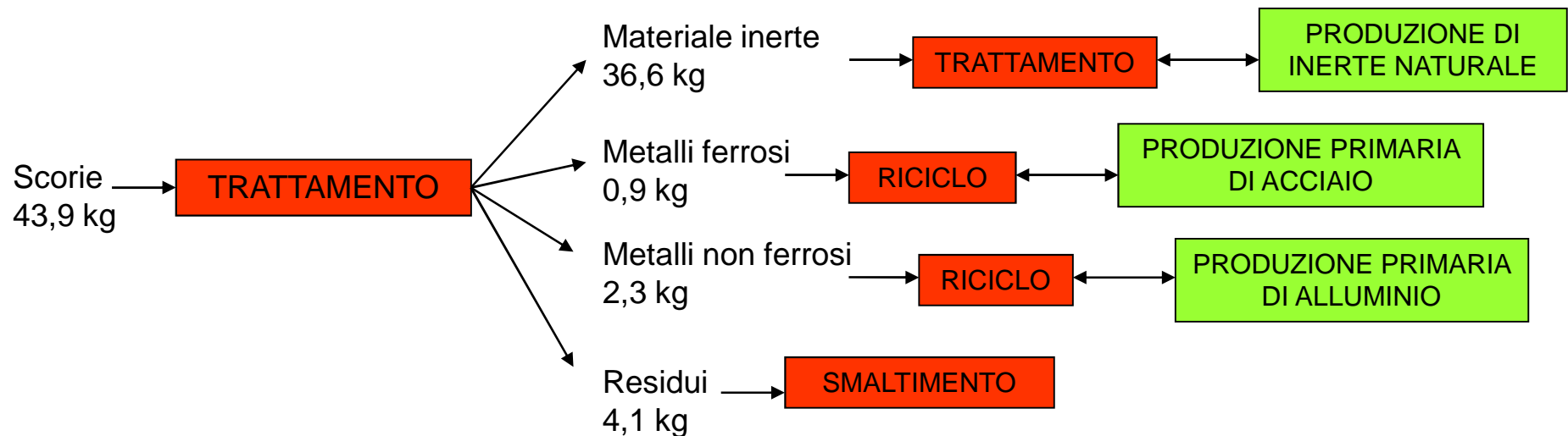
- smaltimento in discarica per inerti senza effettuare inertizzazione (rifiuto non pericoloso)



SCENARIO 3: PROCESSI CONSIDERATI

SCORIE:

- efficienza di recupero dei metalli ferrosi sui ferrosi in ingresso al forno 37%
- efficienza di recupero dei metalli non ferrosi sui metalli non ferrosi in ingresso al forno 11%





SCENARIO 3: PROCESSI CONSIDERATI

Produzione di energia:

SCENARIO	RENDIMENTO ELETTRICO NETTO	RENDIMENTO TERMICO	PRODUZIONE NETTA DI ENERGIA ELETTRICA	PRODUZIONE DI CALORE
2c: cogenerazione "alla danese"	20,7%	74%	986 kWh/t_{CDR}	12684 MJ/t_{CDR}*

* Da tale valore vengono sottratte le perdite di rete e per lo scambiatore di calore, valutate essere in totale pari al 20% (da cui 12684 MJ diventa 10148 MJ di calore utile)

- Come nello scenario 2, energia elettrica sostituita:
 - Centrale a carbone
 - Centrale a gas a ciclo combinato
- Come nello scenario 2, calore sostituito:
 - Caldaie domestiche a gas naturale

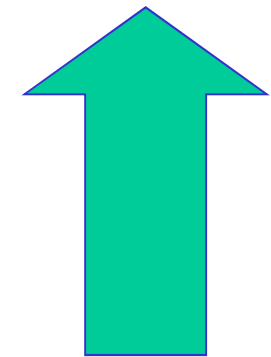


1. Scenari analizzati e metodologia adottata
2. Produzione di CDR presso il Polo di Fusina
3. Co-combustione nella centrale ENEL
4. Analisi di inventario per i differenti scenari
- 5. Risultati e conclusioni**



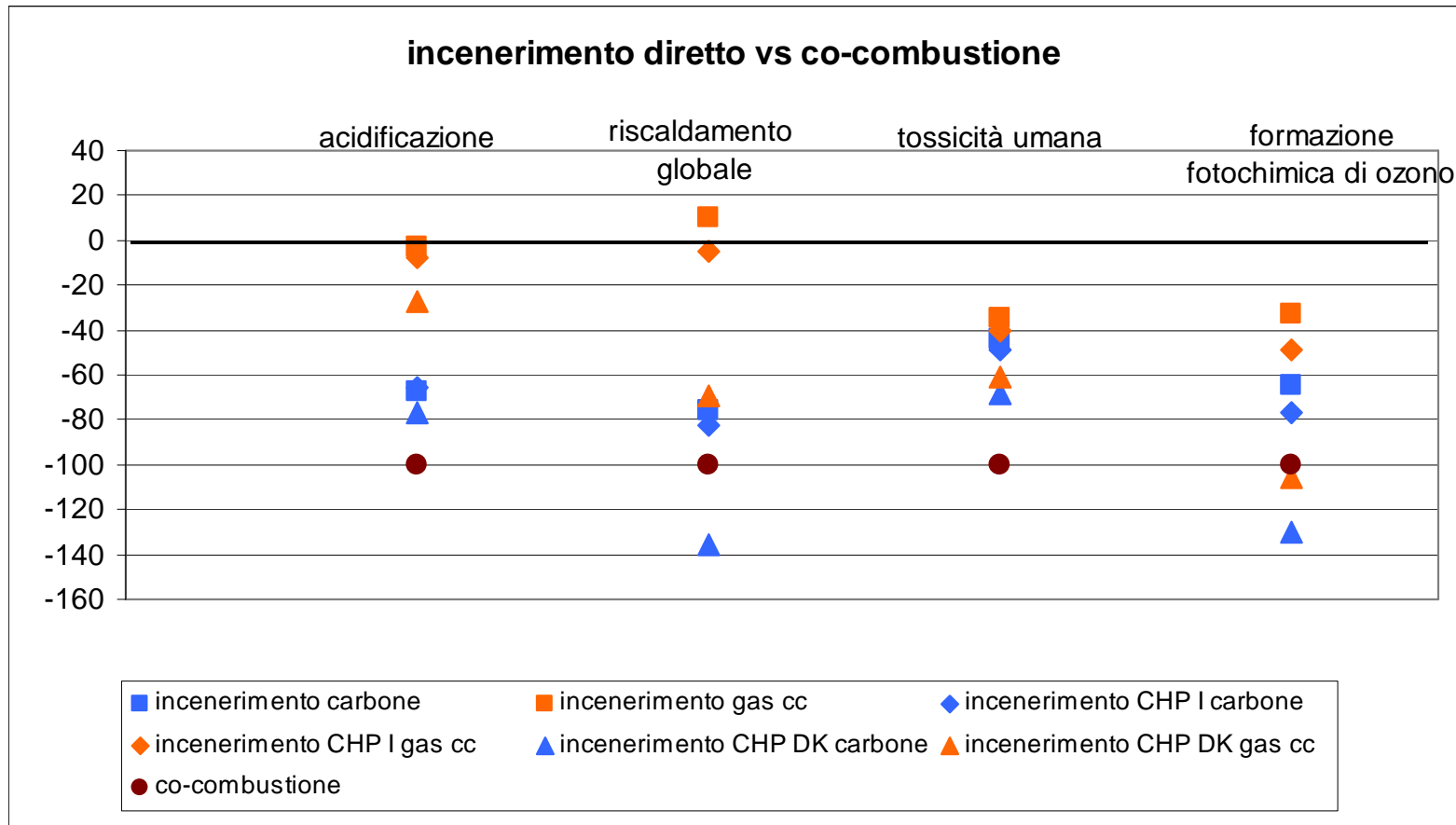
RISULTATI: CONFRONTO SCENARI 1 E 2

Categoria di impatto	Per 1 t di RUR	Incenerimento diretto						Co-combustione
		elettrico carbone	elettrico gas cc	CHP I carbone	CHP I gas cc	CHP DK carbone	CHP DK gas cc	
Riscaldamento globale	kg CO ₂ eq.	-412	56	-444	-28	-734	-375	-540
Tossicità umana	kg 1,4 DCB eq.	-82,2	-64,6	-90,5	-74,8	-126,2	-112,7	-185,4
Acidificazione	kg SO ₂ eq.	-1,654	-0,063	-1,607	-0,192	-1,879	-0,658	-2,453
Formazione fotochimica di ozono	kg C ₂ H ₄ eq.	-0,128	-0,064	-0,152	-0,096	-0,258	-0,210	-0,198





RISULTATI: CONFRONTO SCENARI 1 E 2



Gli indicatori di impatto per la co-combustione sono posti pari a -100 e quelli dell'incenerimento diretto riscalati di conseguenza



RISULTATI: CONTRIBUTI ALLO SCENARIO 1

Contributi agli impatti associati alla co-combustione

Per 1 t di RUR	produzione CDR				co-combustione CDR					totale
	emissioni bioessicc.	materiali/energia consumati	riciclo metalli	smaltimento inerti	emissioni co-combustione	carbone co-combustione	emissioni bianco	carbone bianco	altro	
Riscaldamento globale kg CO ₂ eq.	9	62	-57	4	14670	1568	-15132	-1664	1	-540
Tossicità umana kg 1,4-DCB eq.	1,5	9,0	-120,0	0,9	125,9	537,3	-169,8	-570,2	0,1	-185,4
Acidificazione kg SO ₂ eq.	0,049	0,301	-0,256	0,020	14,102	20,352	-15,427	-21,599	0,005	-2,453
Formazione fotochimica di ozono kg C ₂ H ₄ eq.	0,006	0,024	-0,074	0,004	0,734	1,750	-0,784	-1,857	0,001	-0,198



RISULTATI: CONTRIBUTI ALLO SCENARIO 2

INCENERIMENTO DIRETTO IMPIANTO SOLO ELETTRICO		camino	reagenti/ materiali/ combustibili	trattamento residui	elettricità carbone	totale elettrico carbone	elettricità gas cc	totale elettrico gas cc
Riscaldamento globale	kg CO ₂ eq.	422	31	-20	-845	-412	-377	56
Tossicità umana	kg 1,4-DCB eq.	3,5	13,7	-54,3	-45,1	-82,2	-27,5	-64,6
Acidificazione	kg SO ₂ eq.	0,143	0,174	-0,091	-1,880	-1,654	-0,290	-0,063
Formazione fotochimica di ozono	kg C ₂ H ₄ eq.	0,010	0,026	-0,028	-0,136	-0,128	-0,072	-0,064

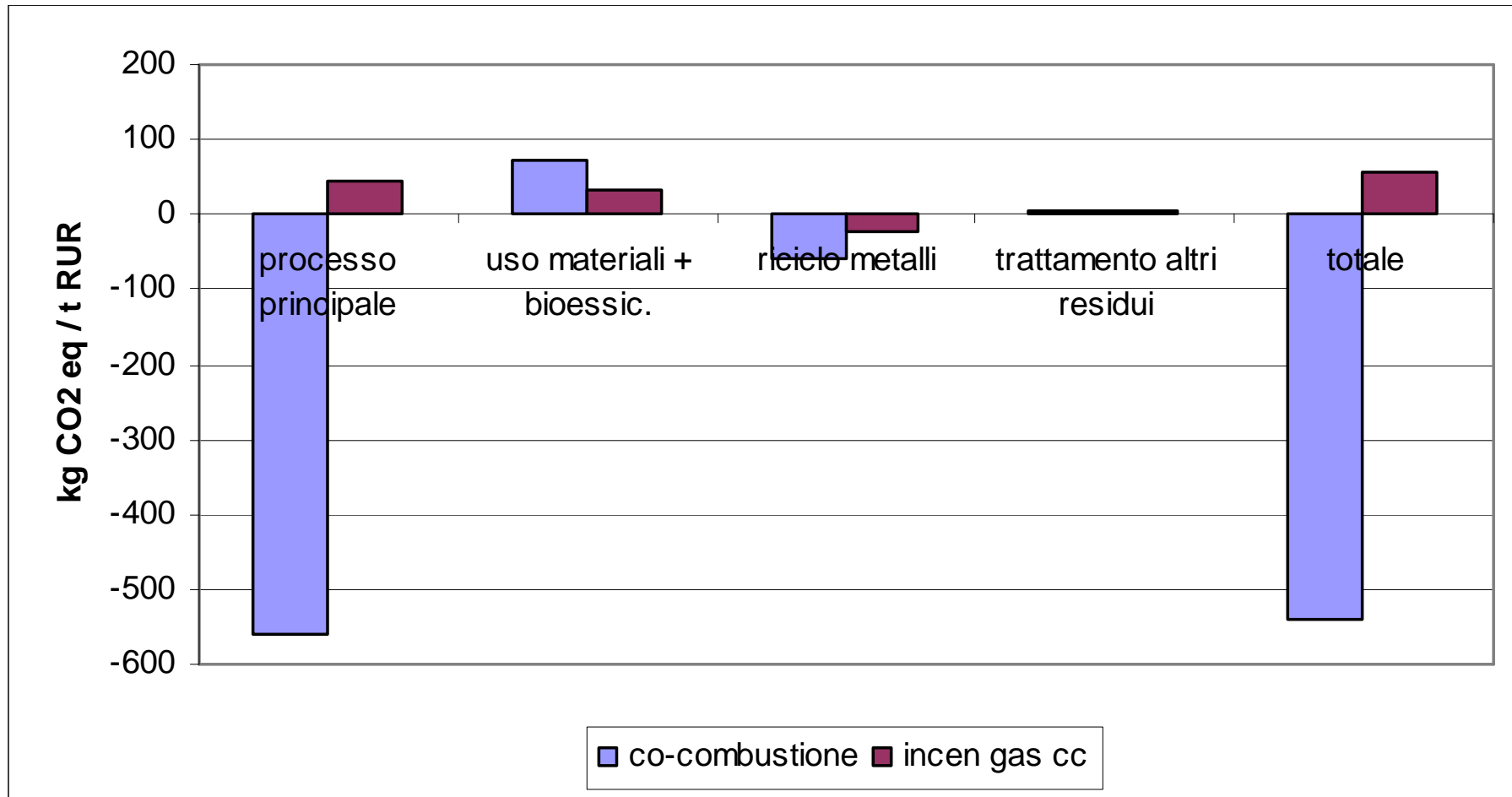
INCENERIMENTO DIRETTO IMPIANTO CHP I		camino	reagenti/ materiali/ combustibili	trattamento residui	CHP I carbone	totale CHP I carbone	CHP I gas cc	totale CHP I gas cc
Riscaldamento globale	kg CO ₂ eq.	422	31	-20	-878	-444	-462	-28
Tossicità umana	kg 1,4-DCB eq.	3,5	13,7	-54,3	-53,4	-90,5	-37,7	-74,8
Acidificazione	kg SO ₂ eq.	0,143	0,174	-0,091	-1,833	-1,607	-0,419	-0,192
Formazione fotochimica di ozono	kg C ₂ H ₄ eq.	0,010	0,026	-0,028	-0,160	-0,152	-0,104	-0,096

INCENERIMENTO DIRETTO IMPIANTO CHP DK		camino	reagenti/ materiali/ combustibili	trattamento residui	CHP DK carbone	totale CHP DK carbone	CHP DK gas cc	totale CHP DK gas cc
Riscaldamento globale	kg CO ₂ eq.	422	31	-20	-1167	-734	-808	-375
Tossicità umana	kg 1,4-DCB eq.	3,5	13,7	-54,3	-89,1	-126,2	-75,6	-112,7
Acidificazione	kg SO ₂ eq.	0,143	0,174	-0,091	-2,105	-1,879	-0,884	-0,658
Formazione fotochimica di ozono	kg C ₂ H ₄ eq.	0,010	0,026	-0,028	-0,266	-0,258	-0,218	-0,210



RISULTATI: CONFRONTO SCENARI 1 E 2

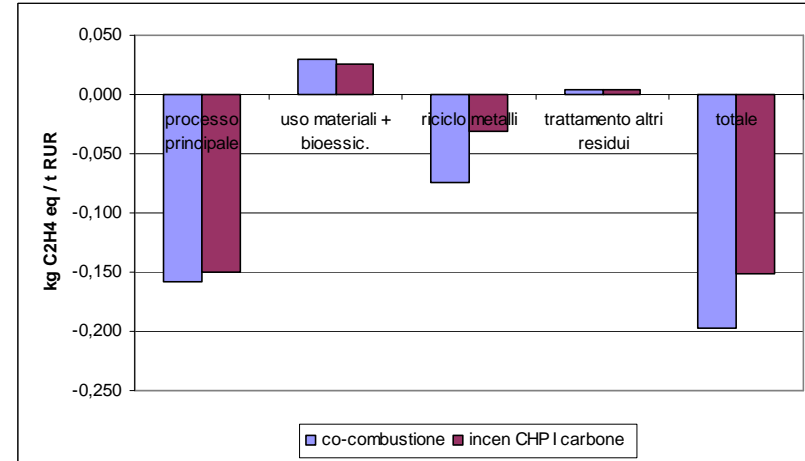
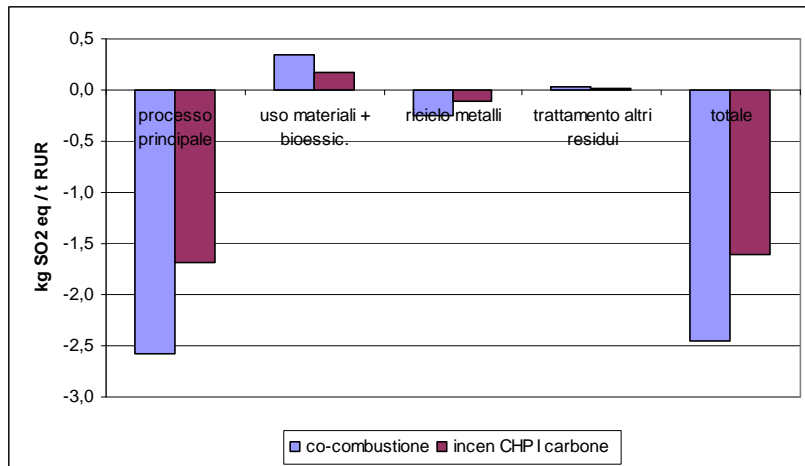
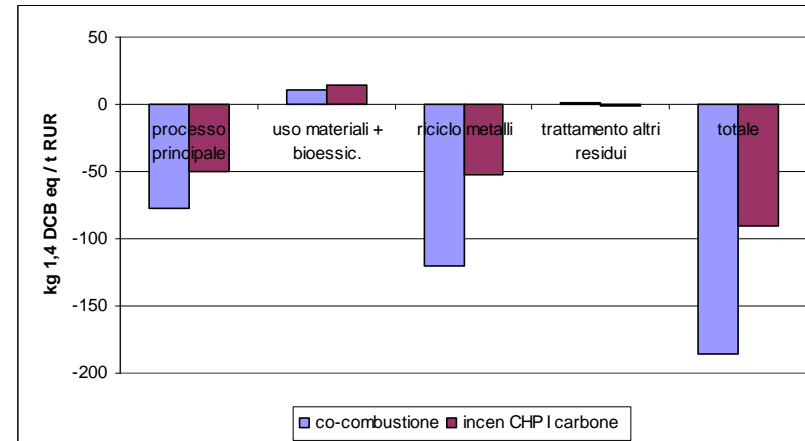
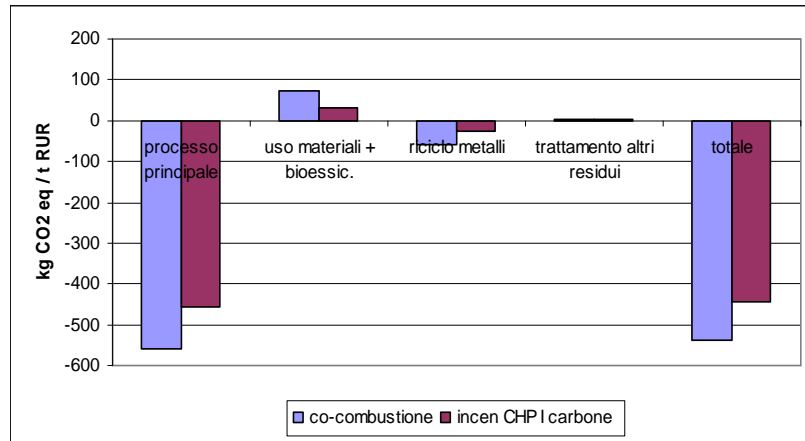
co-combustione vs incenerimento solo elettrico gas ciclo combinato





RISULTATI: CONFRONTO SCENARI 1 E 2

co-combustione vs incenerimento CHP I carbone: la co-combustione è meglio dell'incenerimento diretto grazie proprio al processo principale anche senza il contributo dato dal riciclo dei metalli

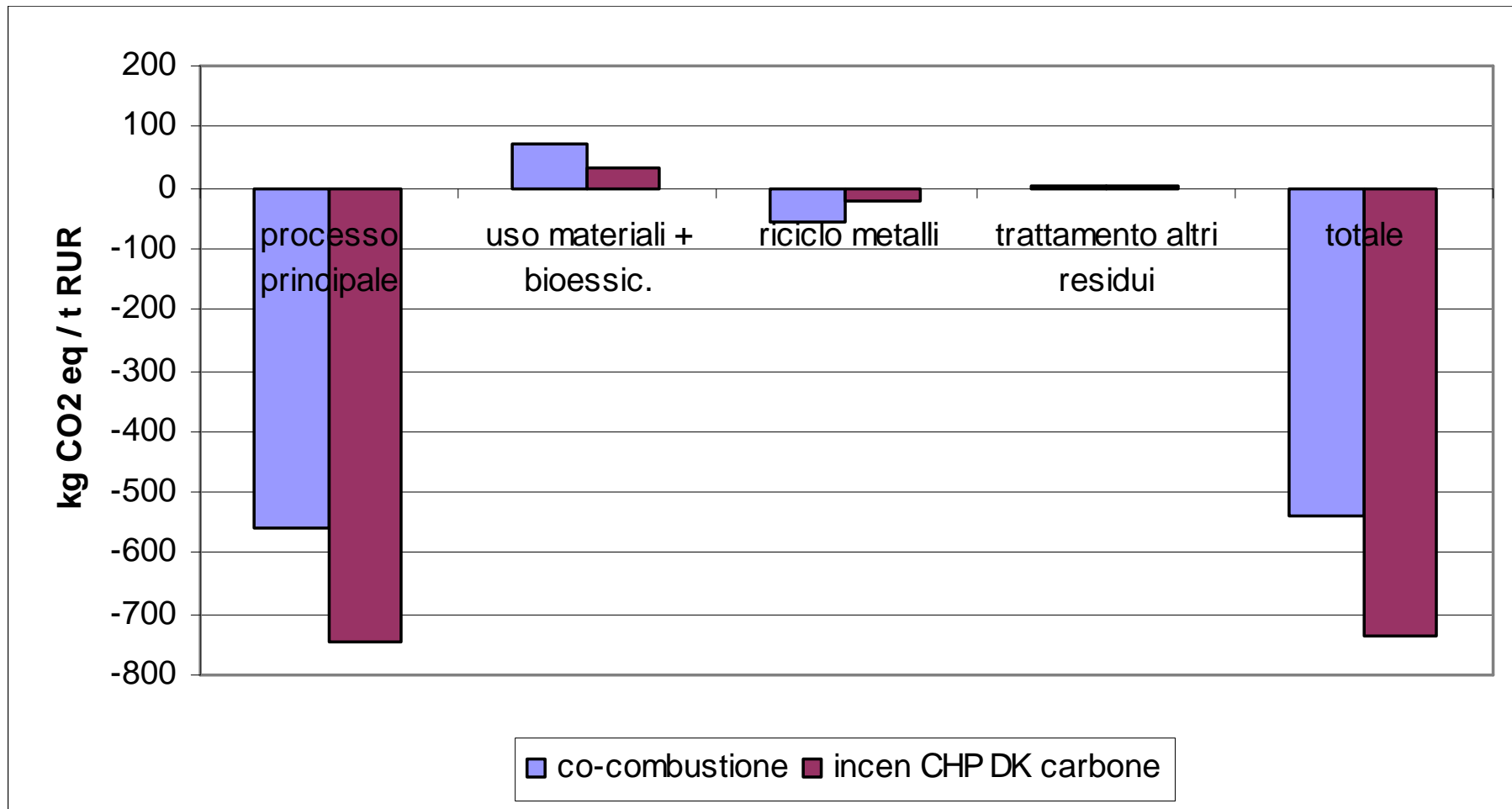


Processo principale: nella co-combustione emissioni camino e carbone in co-combustione meno emissioni camino e carbone in bianco; nell'incenerimento emissioni al camino meno produzione di energia



RISULTATI: CONFRONTO SCENARI 1 E 2

co-combustione vs incenerimento CHP DK carbone





RISULTATI: SCENARIO 3

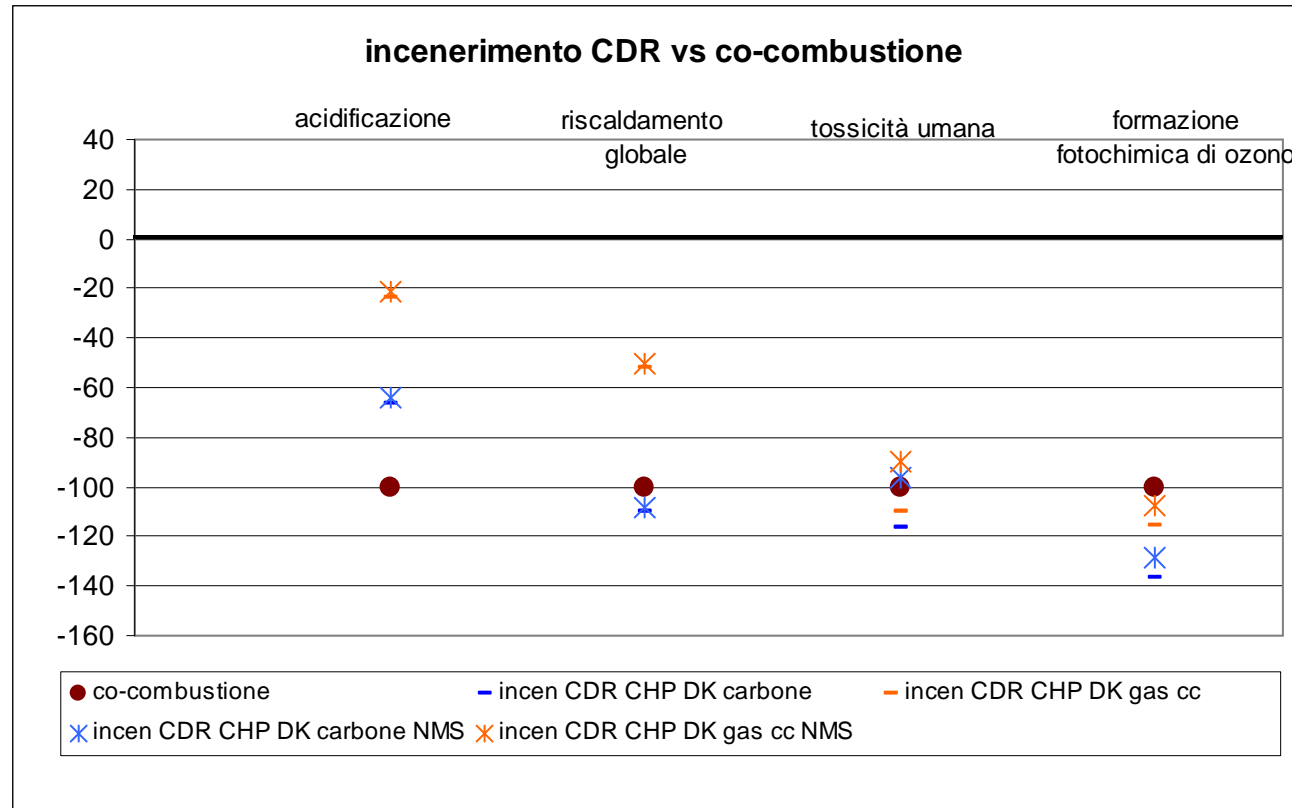
Centrale sostituita a carbone					
PER 1 t di RUR	produzione CDR	incenerimento CDR	totale	incenerimento CDR (no recupero metalli scorie)	totale (no recupero metalli scorie)
Acidificazione (kg SO ₂ eq.)	0,035	-1,668	-1,633	-1,613	-1,578
Riscaldamento globale (kg CO ₂ eq.)	1	-595	-594	-585	-584
Tossicità umana (kg 1,4-DCB eq.)	-110,9	-104,6	-215,6	-67,9	-178,9
Formazione fotochimica di ozono (kg C ₂ H ₄ eq.)	-0,047	-0,224	-0,271	-0,207	-0,254

	produzione CDR					incenerimento CDR					totale
	emissioni bioessicc.	materiali/energia consumati	riciclo metalli	smaltimento inerti	totale	camino	reagenti/materiali/combustibili	trattamento residui	CHP DK carbone	totale	
Acidificazione (kg SO ₂ eq.)	0,049	0,222	-0,256	0,020	0,035	0,110	0,094	-0,047	-1,825	-1,668	-1,633
Riscaldamento globale (kg CO ₂ eq.)	9	46	-57	4	1	408	17	-8	-1011	-595	-594
Tossicità umana (kg 1,4-DCB eq.)	1,5	6,7	-120,0	0,9	-110,9	2,7	7,4	-37,4	-77,3	-104,6	-215,6
Formazione fotochimica di ozono (kg C ₂ H ₄ eq.)	0,006	0,018	-0,074	0,004	-0,047	0,007	0,014	-0,015	-0,231	-0,224	-0,271

Centrale sostituita a gas ciclo combinato					
PER 1 t di RUR	produzione CDR	incenerimento CDR	totale	incenerimento CDR (no recupero metalli scorie)	totale (no recupero metalli scorie)
Acidificazione (kg SO ₂ eq.)	0,035	-0,610	-0,575	-0,555	-0,520
Riscaldamento globale (kg CO ₂ eq.)	1	-284	-283	-274	-273
Tossicità umana (kg 1,4-DCB eq.)	-110,9	-92,9	-203,9	-56,2	-167,1
Formazione fotochimica di ozono (kg C ₂ H ₄ eq.)	-0,047	-0,182	-0,229	-0,165	-0,213



RISULTATI: SCENARIO 3 A CONFRONTO CON SCENARIO 1

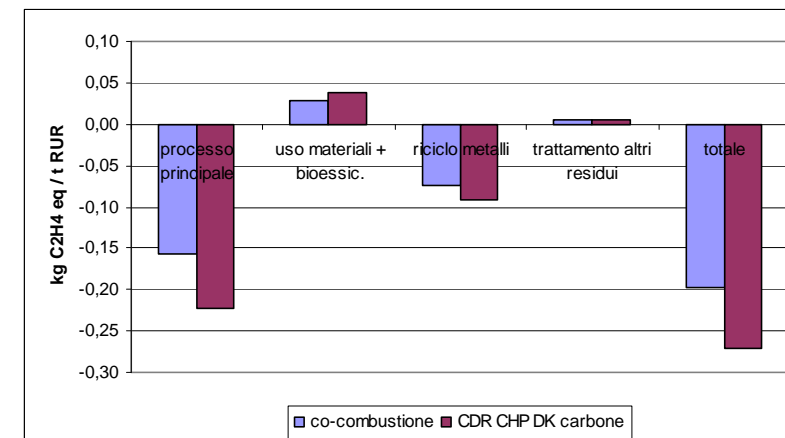
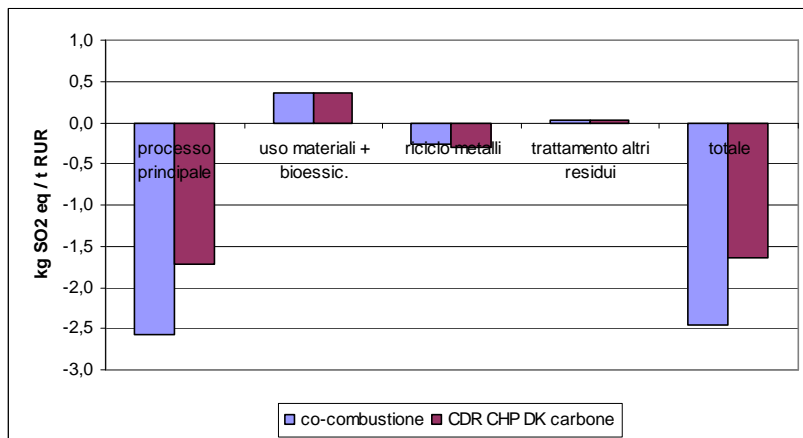
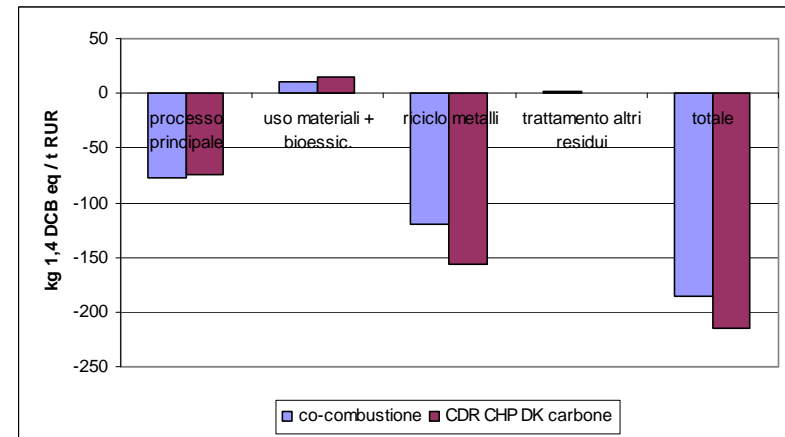
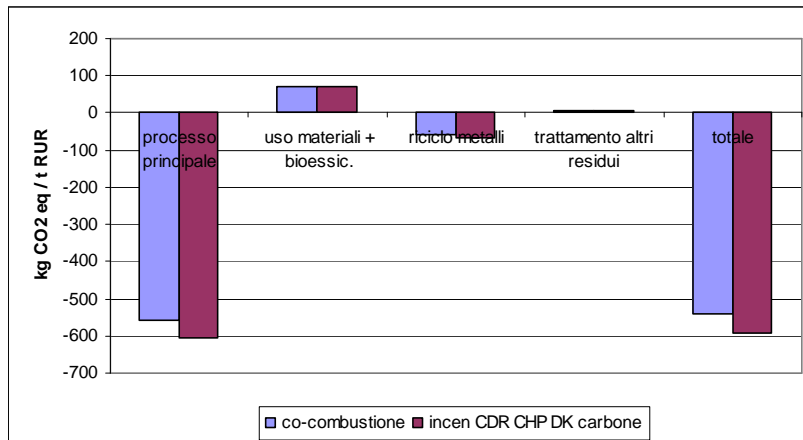


- Gli indicatori di impatto per la co-combustione sono stati posti pari a -100 e quelli dell'incenerimento di CDR riscaldati di conseguenza
- Scenari NMS (no metalli scorie): non si considerano i benefici derivanti dal riciclo dei metalli recuperati dalle scorie



RISULTATI: SCENARIO 3 A CONFRONTO CON SCENARIO 1

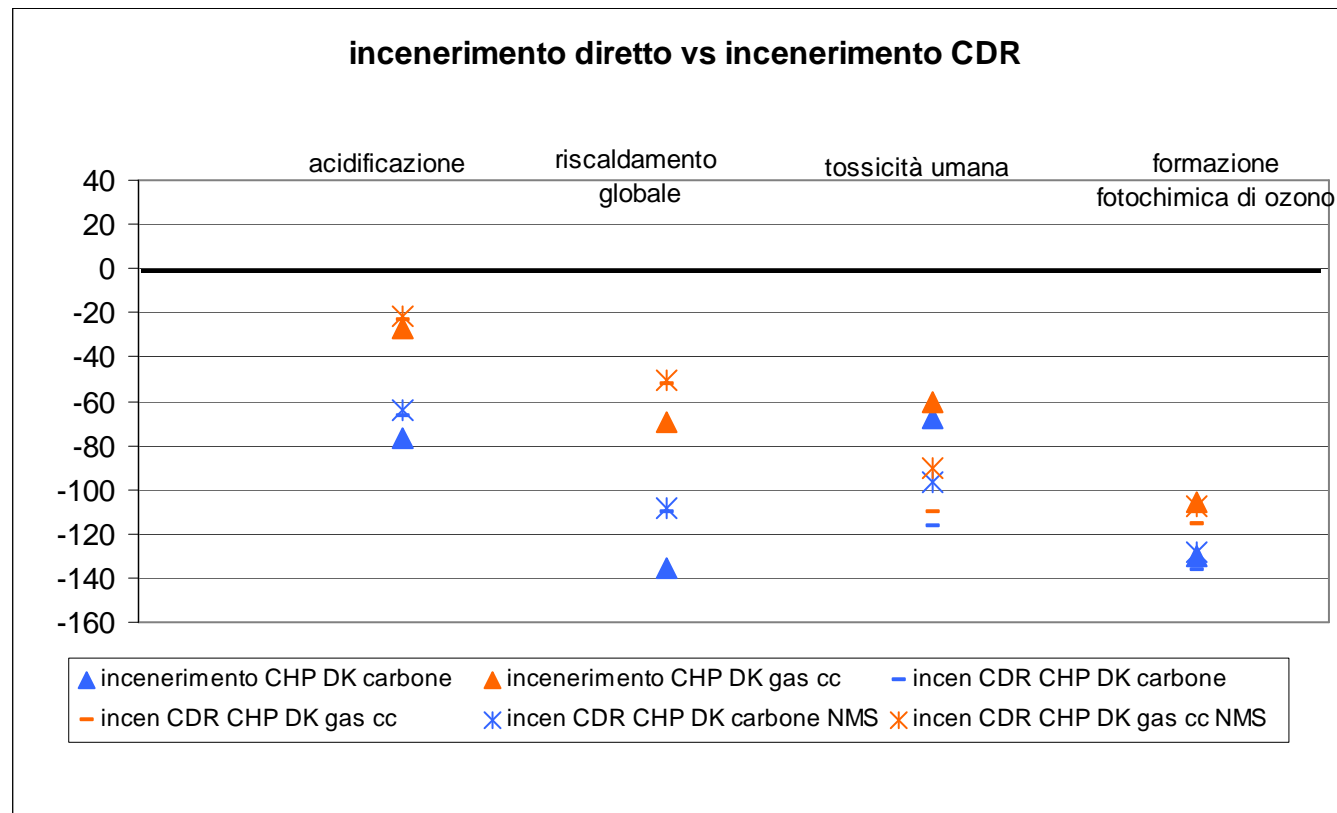
grafici per co-combustione vs incenerimento CDR CHP DK carbone: in acidificazione co-combustione meglio di incenerimento, nel riscaldamento globale e nella formazione fotochimica di ozono meglio incenerimento CDR di co-combustione, in tossicità umana meglio incenerimento CDR di co-combustione grazie al riciclo dei metalli



Processo principale: nella co-combustione emissioni camino e carbone in co-combustione meno emissioni camino e carbone in bianco; nell'incenerimento emissioni al camino meno produzione di energia



RISULTATI: SCENARIO 3 A CONFRONTO CON SCENARIO 2

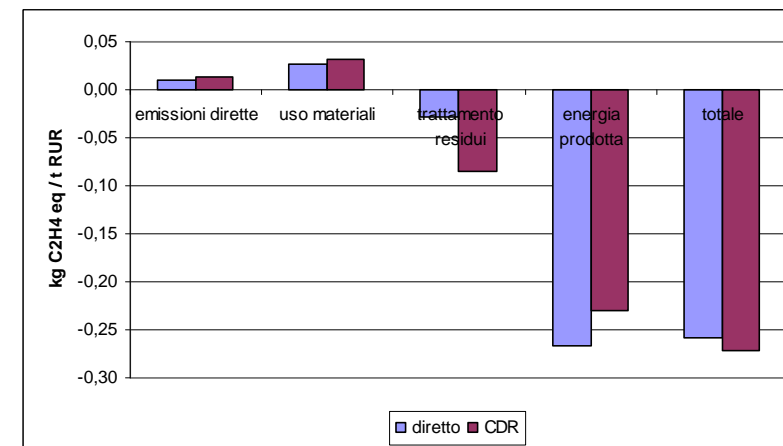
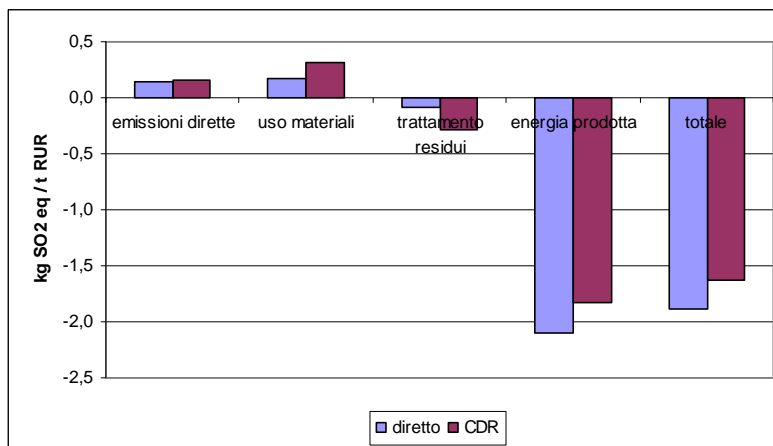
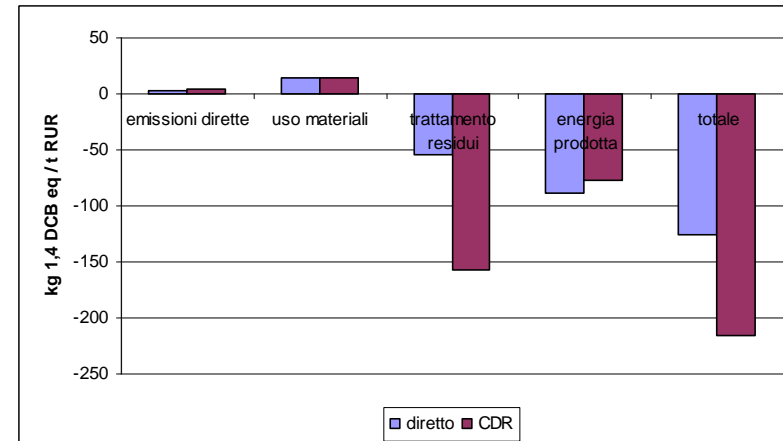
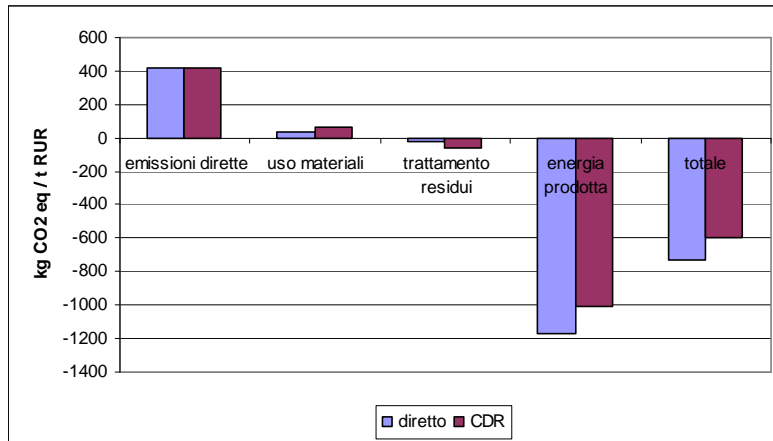


- Gli indicatori di impatto per la co-combustione (qua non riportata) sono stati posti pari a -100 e quelli dell'incenerimento diretto e di CDR riscaldati di conseguenza
- Scenari NMS (no metalli scorie): non si considerano i benefici derivanti dal riciclo dei metalli recuperati dalle scorie



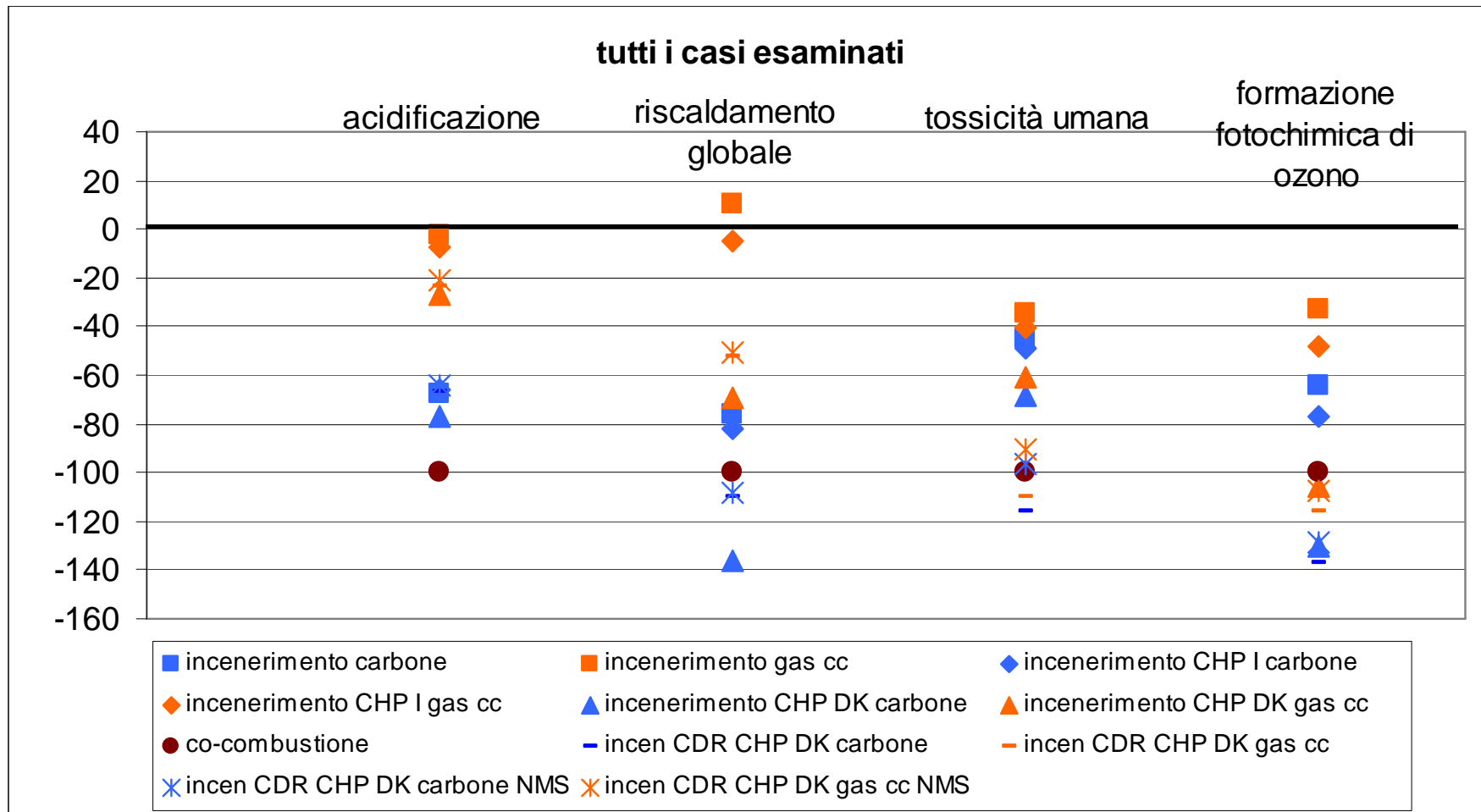
RISULTATI: SCENARIO 3 A CONFRONTO CON SCENARIO 2

grafici per incenerimento CHP DK carbone vs incenerimento CDR CHP DK carbone: nel riscaldamento globale e in acidificazione meglio incenerimento diretto per la maggiore energia prodotta, in tossicità umana e nella formazione fotochimica di ozono meglio incenerimento CDR grazie al riciclo dei metalli





RISULTATI: CONFRONTO TRA TUTTI I CASI ESAMINATI



- Gli indicatori di impatto per la co-combustione sono stati posti pari a -100 e quelli dell'incenerimento diretto e di CDR riscaldati di conseguenza

- Scenari NMS (no metalli scorie): non si considerano i benefici derivanti dal riciclo dei metalli recuperati dalle scorie



- La produzione di CDR nell'impianto di Fusina presenta una resa del 54% e dà luogo ad un materiale caratterizzato da umidità del 7,5%, contenuto di ceneri del 10% e PCI di 17000 kJ/kg circa
- Il consumo di energia elettrica è compreso tra 75 e 100 kWh per t di RUR (bricchettatura)
- In condizioni di co-combustione in centrale termoelettrica a carbone (9 t/h di CDR) si osserva:
 - una diminuzione della concentrazione al camino di polveri totali, Mn, Ni, V, SO_x, CO₂ fossile rispetto al funzionamento in bianco
 - un aumento della concentrazione al camino di HCl, NH₃, Cr, Pb, CO
 - i restanti inquinanti non mostrano variazioni sistematicamente ascrivibili alla presenza di CDR



- L'analisi del ciclo di vita applicata ai 3 scenari mostra risultati favorevoli per la filiera di co-combustione (Scenario 1), che risulta, quantomeno per la situazione italiana, sempre “vincente” rispetto alle altre due
- Il ricorso all'incenerimento diretto del RUR (Scenario 2) o alla combustione del CDR in impianto dedicato a letto fluido (Scenario 3) presenta risultati migliori rispetto alla co-combustione per alcuni indicatori, solo nell'ipotesi di elevati rendimenti di recupero energetico (scenari “danesi”), e generalmente nell'ipotesi di sostituzione di combustibile “sporco” (carbone)
- La co-combustione del CDR in centrale termoelettrica a carbone rappresenta dunque una opzione di grande interesse, la cui fattibilità va sicuramente esplorata laddove le condizioni locali lo consentono



- Ladurner (finanziamento dello studio), Ing. Simone Paoli
- ENEL (fornitura dati su co-combustione), dott. Franco Bertazzolo

Lo studio è stato dedicato alla memoria dell'ing. Gianni Teardo di Ecoprogetto Venezia



**GRAZIE PER LA VOSTRA
ATTENZIONE!**