



Impatto ambientale di un ciclo integrato per la gestione dei rifiuti

Simona Marinelli

in collaborazione con

Prof. B. Rimini, Ing. R. Gamberini (*Impianti industriali meccanici - DISMI*)

Prof. M. Milani, L. Montorsi (*HySyDe Research Group - DISMI*)



Il progetto Life-RELS

<http://www.life-rels.org/>



- Sviluppare e attuare politiche finalizzate a garantire una **gestione e un utilizzo sostenibili delle risorse naturali**, con un **approccio al ciclo di vita**, inclusi gli aspetti ambientali, sociali ed economici;
- contribuire all'effettiva attuazione della strategia tematica sulla **prevenzione e sul riciclaggio dei rifiuti**;
- promuovere la **prevenzione dei rifiuti** nonché il loro **recupero e riciclaggio** concentrando l'attenzione su un approccio al ciclo di vita, al design ecologico e allo sviluppo dei mercati del riciclaggio;
- contribuire all'**attuazione delle politiche comunitarie** e della legislazione comunitaria in materia di rifiuti, in particolare la direttiva 75/439/CEE



Obiettivo dello studio

Analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*)
del **trattamento di rifiuti** provenienti da **parchi naturali**

con lo scopo di:

- **valutare l'impatto ambientale** dovuto allo smaltimento dei rifiuti
- **confrontare due diverse soluzioni**
di **gestione** dei rifiuti da raccolta differenziata



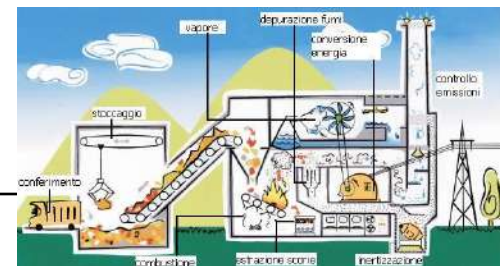


Obiettivo dello studio

Confronto di due diverse soluzioni:

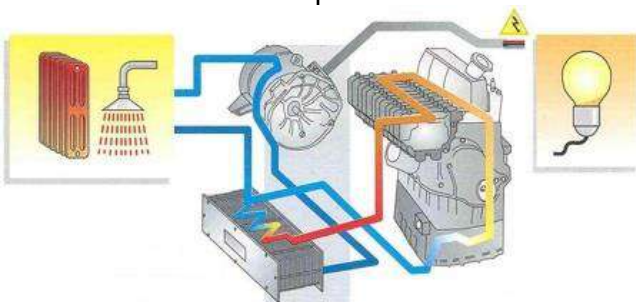
Opzione a

- ✓ Rifiuti recuperabili inviati al riciclo, all'interno di processi di recupero di materiali consolidati
- ✓ **Rifiuti non recuperabili** destinati all'**incenerimento**



Opzione b

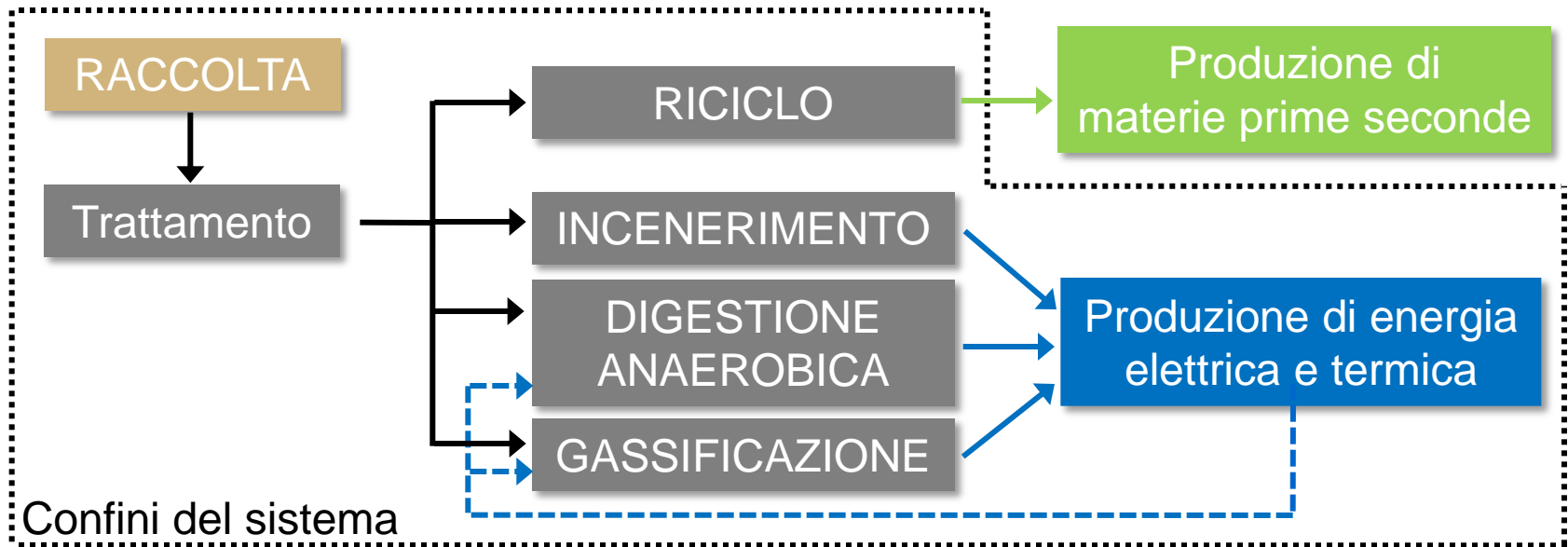
- ✓ Rifiuti recuperabili inviati al riciclo (come in *Opzione a*)
- ✓ **Rifiuti non recuperabili** trattati con un **impianto integrato** che include:
digestione anaerobica - gassificazione -
produzione di energia - recupero acque reflue





- **Funzione e confini del sistema**

Gestione dei rifiuti: dalla raccolta alla produzione di energia



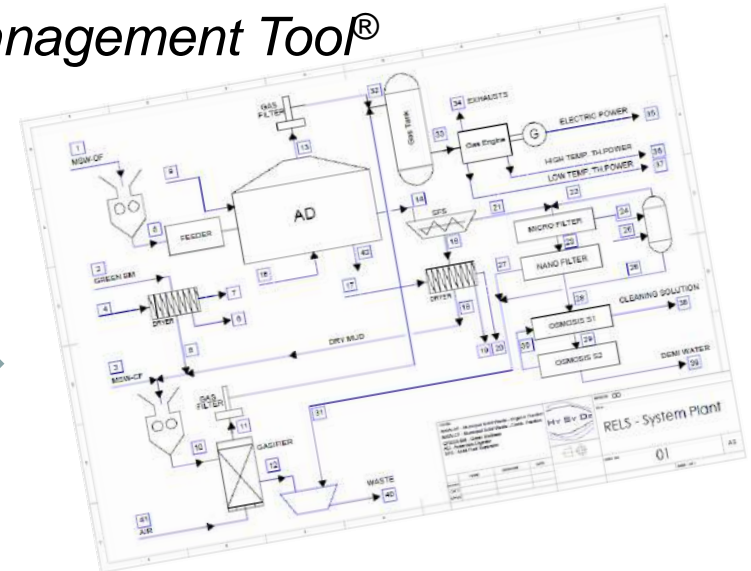
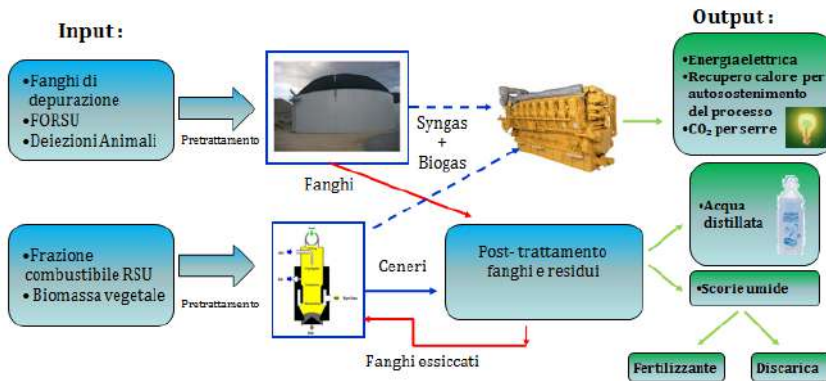
- **Unità funzionale**

Quantità annuale di rifiuti differenziati raccolti (UF[ton/a])



• **Qualità dei dati**

✓ Dati da elaborazione mediante *Biomass Management Tool*®



✓ Dati di letteratura

✓ Dati reali di raccolta dei comuni inseriti nei Parchi partner di Rels

✓ Dati da rilevazioni sperimentali di impianti pilota

✓ Banca dati di EcoInvent (Swiss Centre for Life-Cycle Inventories. Ecoinvent database V2.1. Dübendorf, Switzerland)

• **Metodo utilizzato**

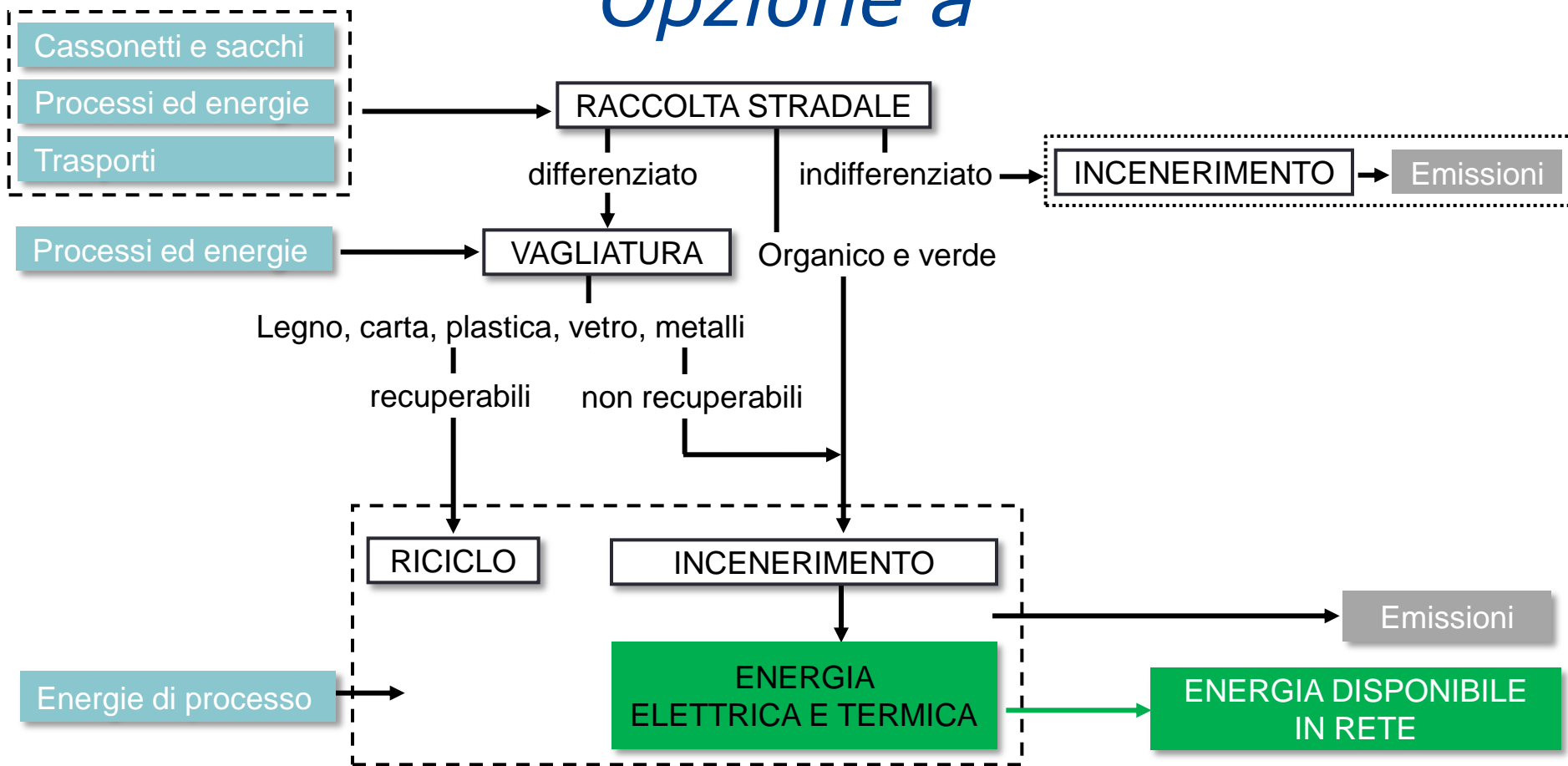
Impact 2002+ modificato

• **Software utilizzato**

SimaPro 7.2.4

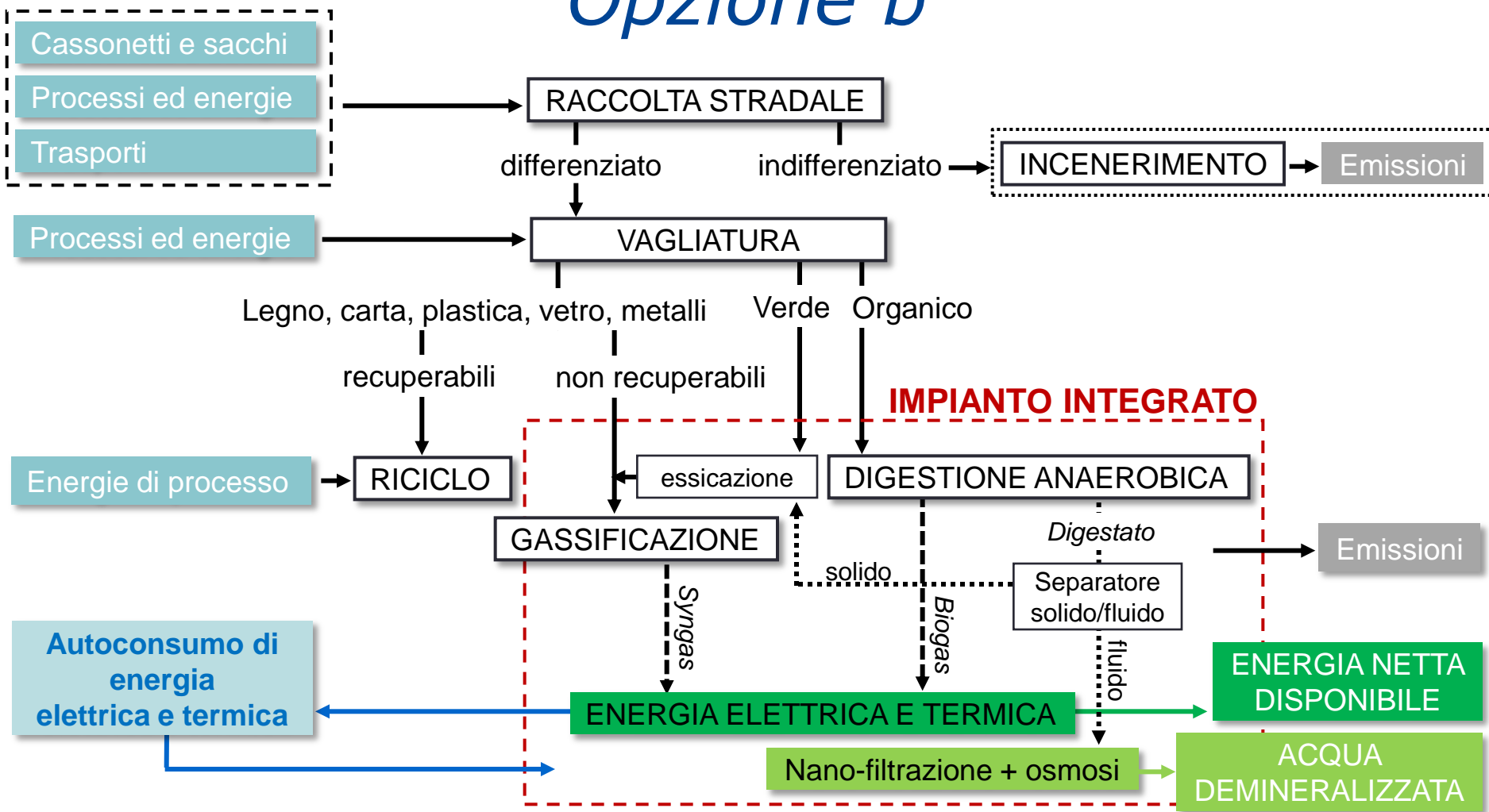


Opzione a





Opzione b





Assunzioni

1) Tipo di raccolta e trasporti

- **raccolta stradale** per frazione organica, plastica, vetro, metalli, carta e frazione indifferenziata
- **raccolta porta a porta** per il rifiuto verde e il legno
- **Trasporti** = $f.s.*d*q.c.*[n.c.*(n.c.-1)]/2$ [ton/km]

n.c. = numero cassonetti (tot) = $Q/(f.s.*c*p.s.*t.r.)$

Q = quantità totale del rifiuto [kg]

f.s. = frequenza di svuotamento [volte/settimana]

c = capacità del cassonetto [l]

p.s. = peso specifico del rifiuto [kg/l]

t.r. = tasso di riempimento [%]

q.c. = quantità di rifiuto per cassonetto [ton]

d = distanza tra due cassonetti [km]





Assunzioni

2) Prodotti evitati

- *Opzione a:*
 - ✓ **energia elettrica e termica da incenerimento dei rifiuti**

Energia prodotta da termovalorizzazione dei rifiuti

Frazione	En. elettrica [MJ/kg]	En. termica [MJ/kg]
organico/verde	0,49	2,77
carta	1,32	2,77
plastica	3,48	7,03
legno	1,3	2,74
impurità	1,01	2,16
indifferenziato	1,01	2,16

Fonte: Banca dati EcoInvent, report Biowaste

- *Opzione b:*
 - ✓ **energia elettrica e termica prodotta dall'impianto integrato**
 - ✓ **acqua demineralizzata prodotta**



Assunzioni

3) Prodotto, coprodotto, allocazione exergetica

- L'energia è allocata al **netto della perdita di calore** (*heat waste*) sulla base delle percentuali di energia elettrica ed energia termica usate, con fattori pari ad 1 per l'elettricità e pari a 0.17 per l'energia termica

Fonte: Banca dati EcolInvent, report Biowaste, tab. 13.19, pag. 258

- Processo di "*Produzione di energia elettrica da biogas e syngas*":

- ✓ energia elettrica = *prodotto*
allocazione $261.8 \cdot 1 / (261.8 \cdot 1 + 483.3 \cdot 0.17) = 76.11\%$
- ✓ energia termica = *coprodotto*
allocazione $483.3 \cdot 0.17 / (261.8 \cdot 1 + 483.3 \cdot 0.17) = 23,89\%$





Assunzioni

4) Studio delle emissioni

- Emissioni dell'**impianto integrato** ipotizzate sulla base di dati di letteratura e di processi di banca dati

Emissioni da digestione anaerobica dei rifiuti

Pollutant	Amount [mg/m ³]
methane, biogenic	0,02631
dinitrogen monoxide	0,00030788
hydrogen sulfide	0,00075582
carbon dioxide, biogenic	1,257199937
ammonia	0,00070493

Fonte: Swiss Centre for Life-Cycle Inventories. Ecoinvent database V2.1. Dübendorf, Switzerland

Emissioni da gassificazione dei rifiuti

Pollutant	Amount [mg/m ³]
particulates	10,1
hydrogen chloride	8,90
nitrogen dioxide	22,3
sulfur dioxide	15,6
mercury	0,0001
dioxins (unspec.)	0,032

Fonte: U. Arena, *Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. Waste management. 2012, 32, 625-639*





Assunzioni

4) Studio delle emissioni

- Emissioni dei processi di **incenerimento** sulla base di processi di banca dati

Emissioni da incenerimento della frazione organica

Disposal, biowaste, 60% H₂O, to municipal incineration, future, alloc. price/CH U

Pollutant	Amount [mg/kg]
methane, biogenic	2,2018
sulfur dioxide	2,2036
nitrogen oxides	43,905
carbon dioxide, biogenic	5,88560
ammonia	1,0934
dinitrogen monoxide	5,8274
hydrogen chloride	0,015322

Fonte: Swiss Centre for Life-Cycle Inventories. Ecoinvent database V2.1. Dübendorf, Switzerland



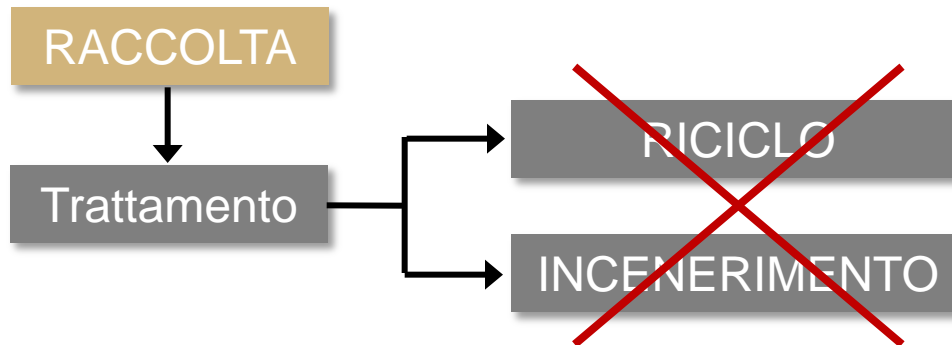


Assunzioni

5) Analisi del confronto

- Processi non differenziali esclusi dal confronto

(International Standard ISO 14040)



**Processi non differenziali
esclusi dal confronto!**



Scenari analizzati

- scenari sperimentali**

Scenario	Inhabitants	MSW produced [t/yr]	MSW produced per capita [t/inh.yr]	SC [%]	SC produced [t/yr]
1	130.000	65.650	0,505	0,38	24.947
2	110.000	55.550	0,505	0,38	21.109
3	90.000	45.450	0,505	0,38	17.271
4	70000	35.350	0,505	0,38	13.433
5	50000	25.250	0,505	0,38	9.595

Fonte:
Summary of Deliverable 3.2 - Design of energy recovery system from waste dedicated to natural parks

Percentuali merceologiche

Tipologia	Percentuale [%]
Frazione umida	21,98
Verde	14,58
Vetro	15,53
Plastica	5,66
Legno	6,04
Carta	26,74
Metalli	2,78
Tessili	0,7
RAEE	2,21
Altri ingombranti a recupero	2,76
Raccolta selettiva	0,33
Altro	0,69

Fonte:
ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2012), Rapporto rifiuti urbani 2012



Scenari analizzati

- **scenari reali** su dati di raccolta di rifiuti provenienti dai **comuni dei parchi partner di RELS**

✓ Parco delle Foreste Casentinesi



Comune	Abitanti serviti	Produzione totale [t/anno]	Produzione procapite [kg/(anno*ab)]	Raccolta differenziata [%]
Bagno di Romagna	6.212	3.532,5	568,6	30,1
Portico	801	513,8	641,5	26,5
Premilcuore	824	660,1	801,1	26,2
Santa Sofia	4.240	3.092,7	729,4	33,6
Tredozio	1.283	830	647	42,0
5 comuni del parco	13.360	8.629,2	645,9	32,0

Fonte

Summary of Deliverable 3.3, Agro energy Conversion system (prototype plant) in the territory of Provincia di Forlì Cesena



Province of Forlì - Cesena
Park of Foreste Casentinesi



Scenari analizzati

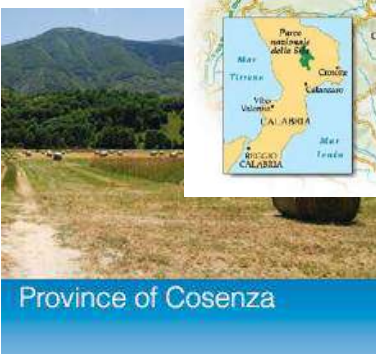
✓ Parco nazionale della Sila



Comune	Abitanti serviti	Produzione totale [t/anno]	Produzione procapite [kg/(anno*ab)]	Raccolta differenziata [%]
Acri	21.740,0	7.709,7	354,6	9,5
Aprigliano	2.766,0	1.143,2	413,3	25,2
Bocchigliero	1.615,0	143	88,5	41,4
Celico	3.200,0	1.176,2	367,6	30,1
Corigliano Calabro	39.373,0	20.905	530,9	9,8
Longobucco	3.909,0	1.312,7	335,8	11,5
Pedace	2.046,0	676,3	330,5	20,5
San Giovanni in Fiore	18.000,0	7.182	399,0	11,3
Serra Pedace	1.000,0	384,2	384,2	24,6
Spezzano della Sila	4.851,0	2.834,3	584,3	25,9
Spezzano Piccolo	4.851,0	990,9	204,3	30,5
11 comuni del parco	103.341	44.457,5	430,2	12,8

Fonte

Summary of Deliverable 3.4, Design of a energy recovering and recycling system for Provincia di Cosenza



Province of Cosenza



Analisi dei risultati

Scenari REALI

(confronto tra le due opzioni

considerando le attuali condizioni di raccolta)



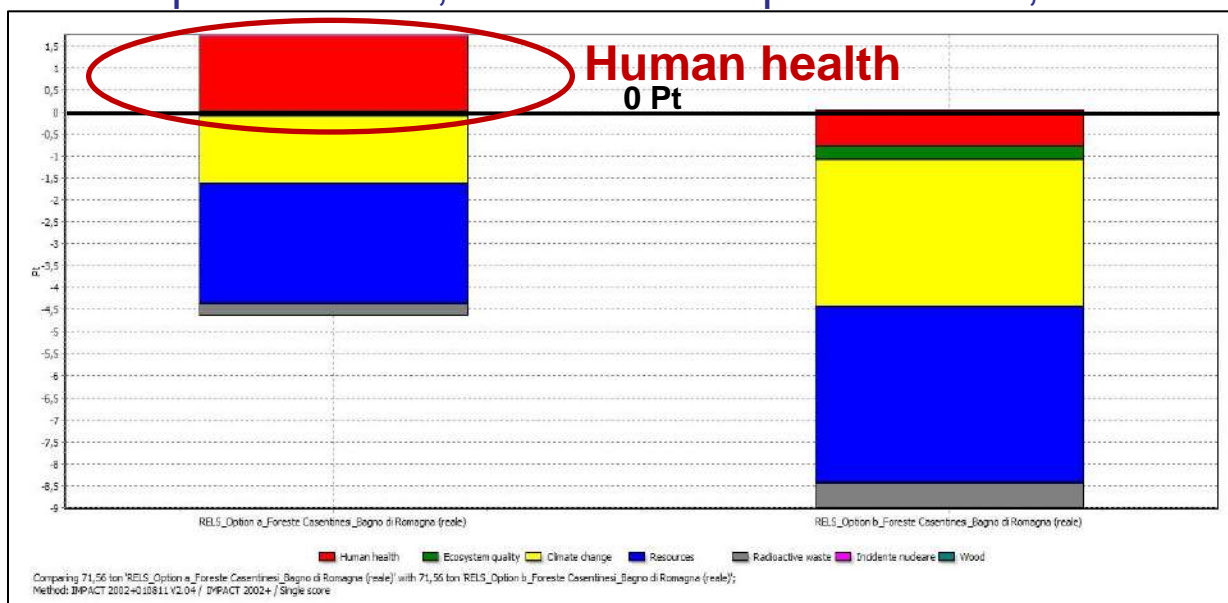
Analisi dei risultati

Parco delle Foreste Casentinesi

- Bagno di Romagna [UF: 71,56 ton/a]**

Opzione a : -2,891 Pt

Opzione b : -8,983 Pt



Analoghi risultati
per tutti i comuni del
Parco delle Foreste
Casentinesi

Damage category [Pt]	Opzione	
	a	b
Human health	1,731	-0,774
Ecosystem quality	-0,088	-0,310
Climate change	-1,531	-3,345
Resources	-2,732	-4,005



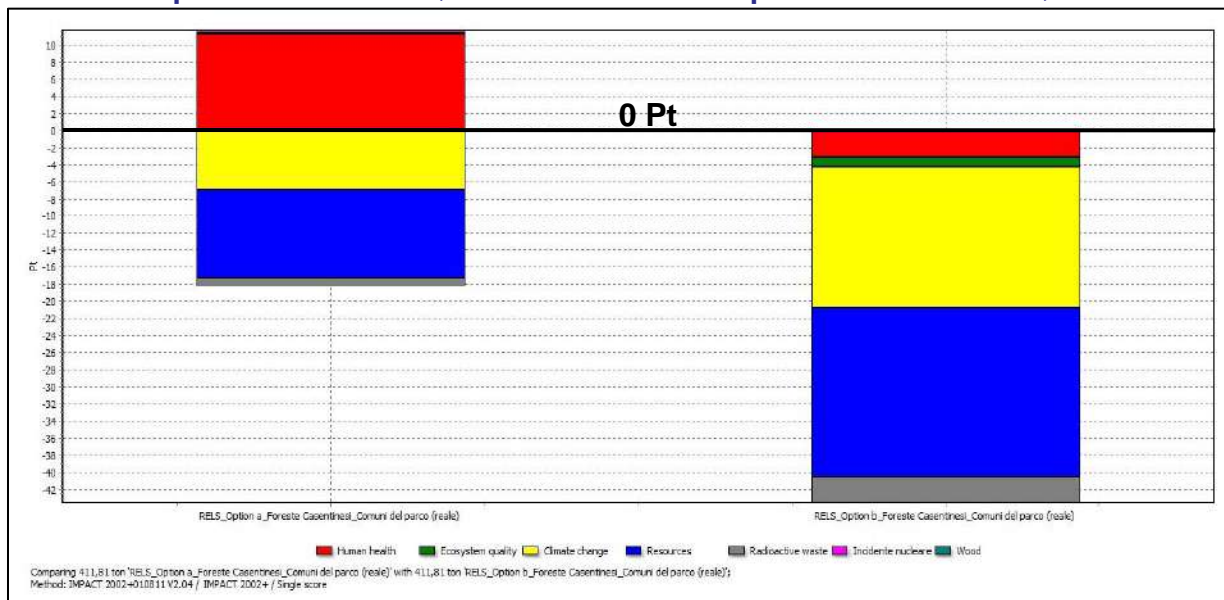
Analisi dei risultati

Parco delle Foreste Casentinesi

- Comuni del parco [UF: 411,81 ton/a]**

Opzione a : -6,387 Pt

Opzione b : -43,516 Pt



Damage category [Pt]	Opzione	
	a	b
Human health	11,296	-3,128
Ecosystem quality	0,338	-1,189
Climate change	-6,981	-16,371
Resources	-10,332	-19,880



Analisi dei risultati

Parco della Sila

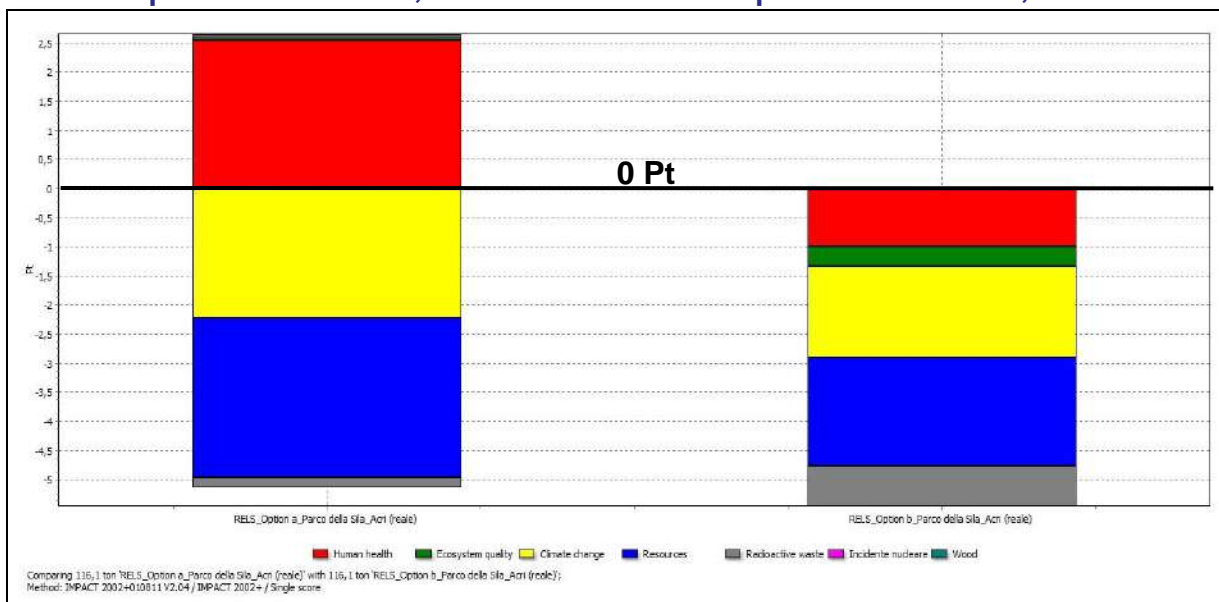
Analoghi risultati
per tutti i comuni del
Parco della Sila



• **Acri** [UF: 116,1 ton/a]

Opzione a : -2,484 Pt

Opzione b : -5,430 Pt



Damage category [Pt]	Opzione	
	a	b
Human health	2,552	-0,992
Ecosystem quality	0,0779	-0,344
Climate change	-2,228	-1,571
Resources	-2,737	-1,853



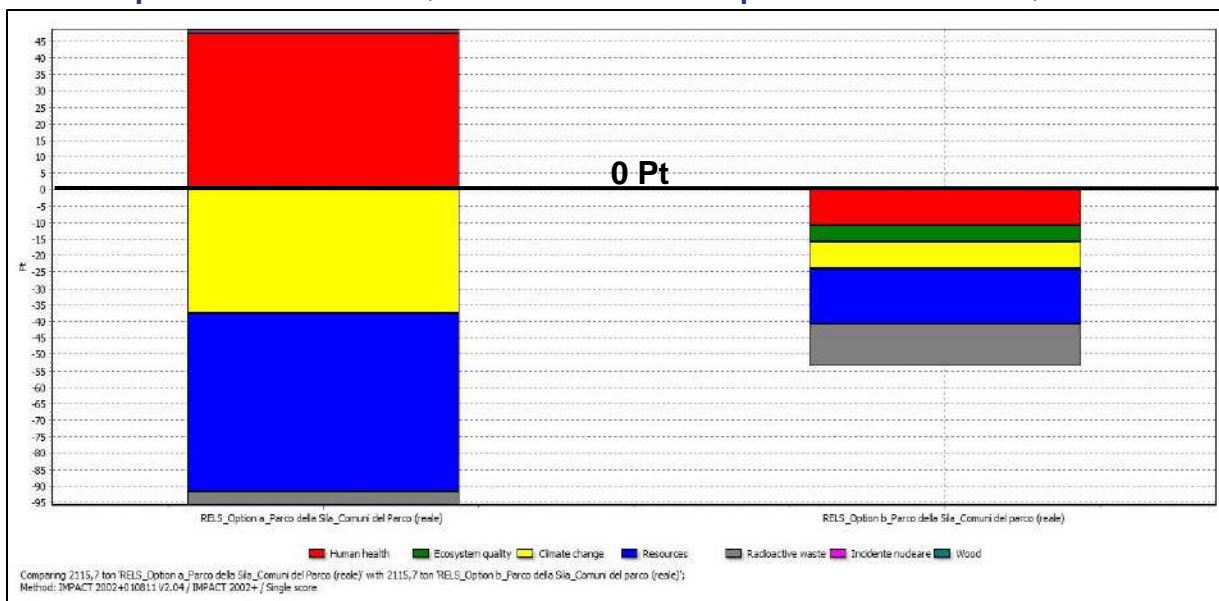
Analisi dei risultati

Parco della Sila

- Comuni del parco [UF: 2115,7 ton/a]

Opzione a : -47,136 Pt

Opzione b : -53,343 Pt



Damage category [Pt]	Opzione	
	a	b
Human health	47,229	-10,864
Ecosystem quality	0,944	-5,105
Climate change	-37,726	-8,164
Resources	-54,192	-16,702



Analisi dei risultati

Opzione b

Proiezioni al
40%, 50%, 60% di differenziata



Analisi dei risultati

Parco delle Foreste Casentinesi

- Bagno di Romagna**

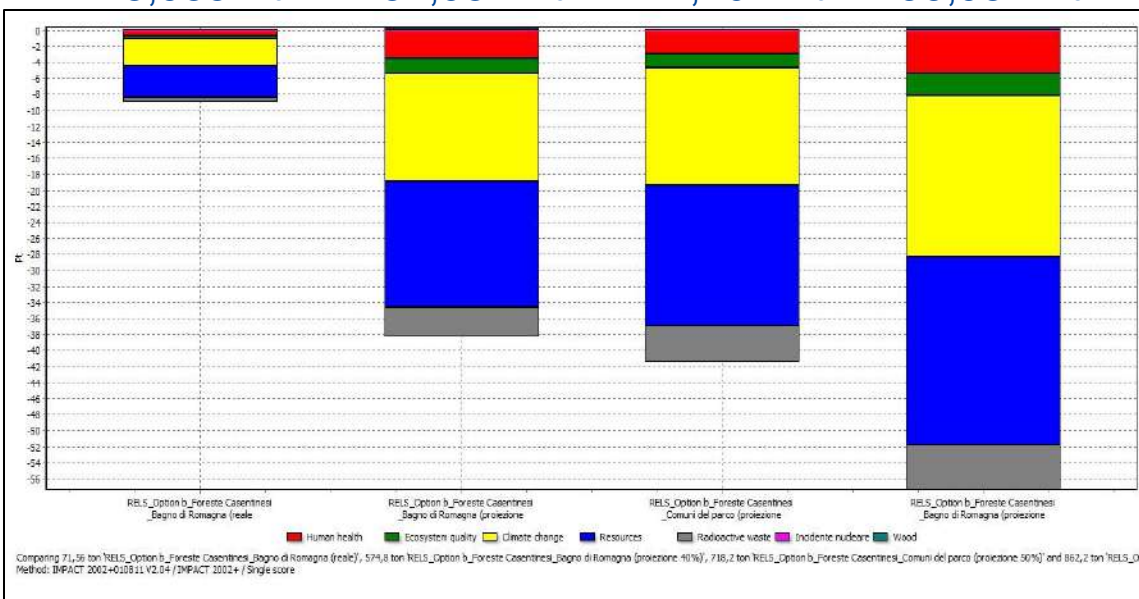
Analoghi risultati
per tutti i comuni del
Parco delle Foreste
Casentinesi

SC reale
-8,983 Pt

SC: 40%
-37,984 Pt

SC: 50%
-41,401 Pt

SC: 60%
-56,982 Pt



Damage category [Pt]	SC%			
	reale	40%	50%	60%
Human health	-0,774	-3,576	-2,994	-5,367
Ecosystem quality	-0,310	-1,842	-1,648	-2,763
Climate change	-3,345	-13,426	-14,699	-20,141
Resources	-4,005	-15,721	-17,561	-23,583

Comparing 71,36 ton 'RELS_Option_b_Foreste_Casentinesi_Bagno di Romagna (reale)', 574,8 ton 'RELS_Option_b_Foreste_Casentinesi_Bagno di Romagna (proiezione: 40%)', 738,2 ton 'RELS_Option_b_Foreste_Casentinesi_Comuni del parco (proiezione: 50%)' and 862,2 ton 'RELS_Option_b_Foreste_Casentinesi_Comuni del parco (proiezione: 60%)'. Method: IMPACT 2002+010511 V2.04 / IMPACT 2002+ / Single score

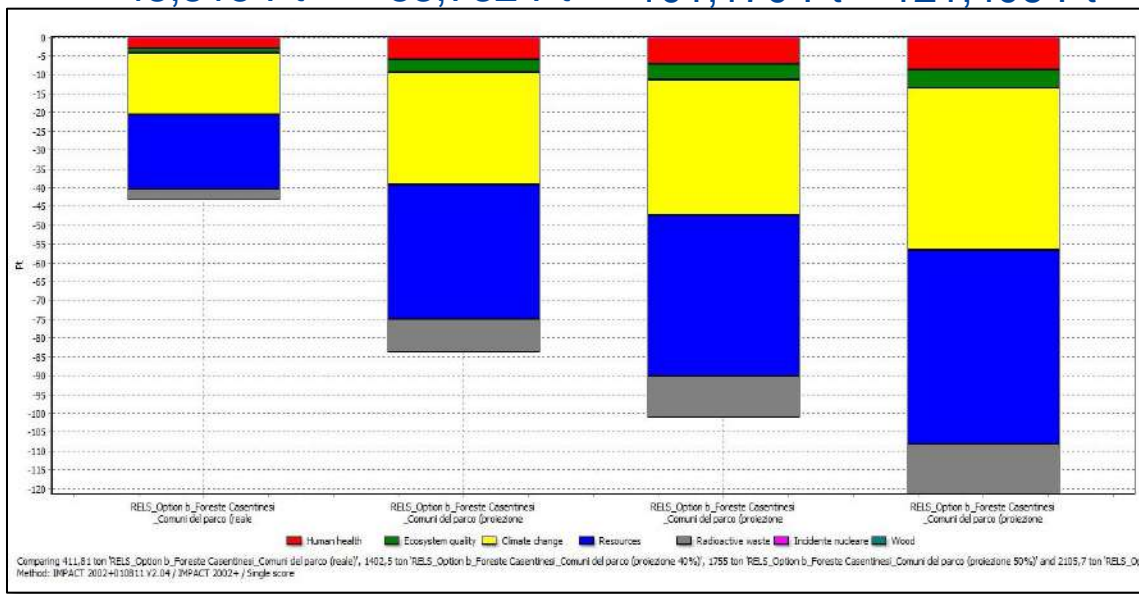


Analisi dei risultati

Parco delle Foreste Casentinesi

- Comuni del parco**

SC reale **SC: 40%** **SC: 50%** **SC: 60%**
 -43,515 Pt -83,782 Pt -101,170 Pt -121,406 Pt



Damage category [Pt]	SC%			
	reale	40%	50%	60%
Human health	-3,128	-6,057	-7,316	-8,779
Ecosystem quality	-1,189	-3,254	-4,028	-4,833
Climate change	-16,371	-29,883	-35,918	-43,102
Resources	-19,880	-35,749	-42,912	-51,496



Analisi dei risultati

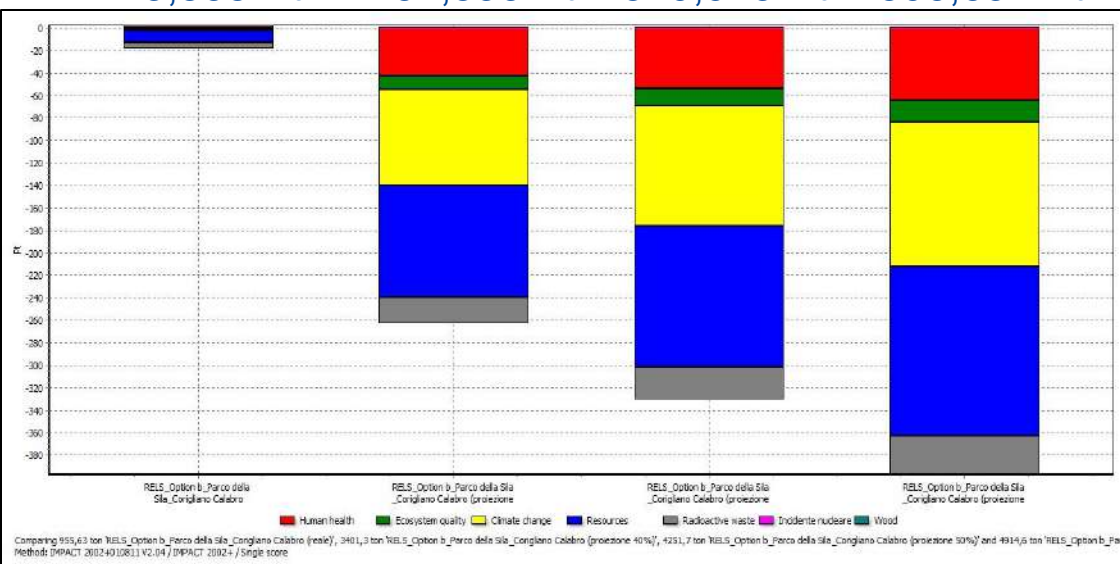
Parco della Sila

Analoghi risultati
per tutti i comuni del
Parco della Sila



Corigliano Calabro

SC reale **SC: 40%** **SC: 50%** **SC: 60%**
-15,868 Pt -262,356 Pt -329,975 Pt -396,651 Pt



Damage category [Pt]	SC%			
	reale	40%	50%	60%
Human health	-2,404	-42,422	-53,640	-64,631
Ecosystem quality	-0,687	-12,344	-15,530	-18,669
Climate change	-4,866	-85,369	-107,371	-129,082
Resources	-5,667	-99,855	-125,353	-150,544

Comparing 955,63 ton NRELS_Option b_Parco della Sila_Corigliano Calabro (reale), 3401,3 ton NRELS_Option b_Parco della Sila_Corigliano Calabro (proiezione 40%), 4231,7 ton NRELS_Option b_Parco della Sila_Corigliano Calabro (proiezione 50%) and 4914,6 ton NRELS_Option b_Parco della Sila_Corigliano Calabro (proiezione 60%)
Method: IMPACT 2002+ / IMPACT 2002+ / Single score

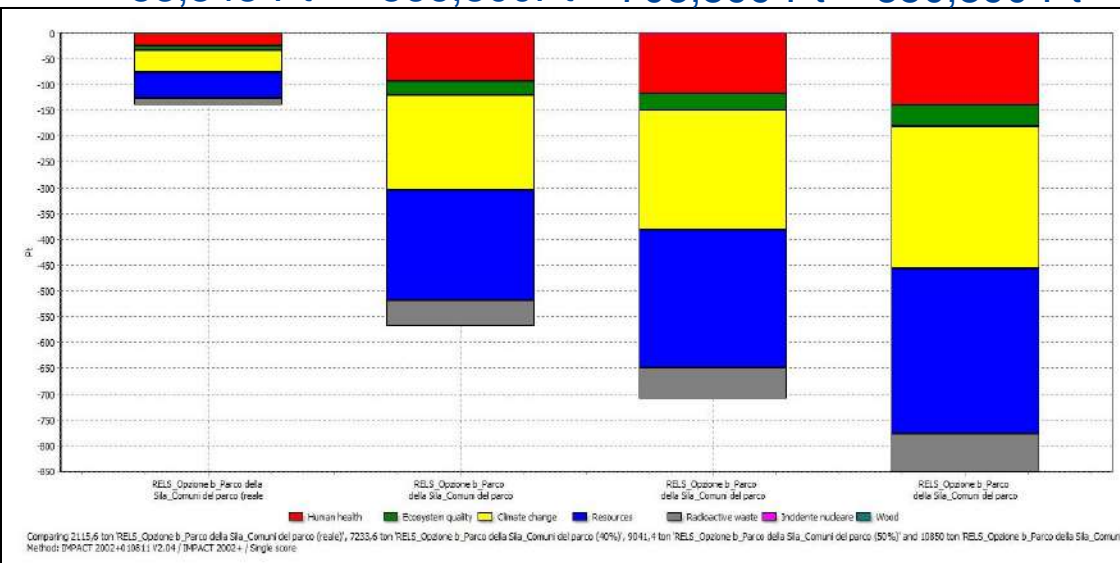


Analisi dei risultati

Parco della Sila

- Comuni del parco**

SC reale **SC: 40%** **SC: 50%** **SC: 60%**
 -53,343 Pt -566,800Pt -708,599 Pt -850,390 Pt



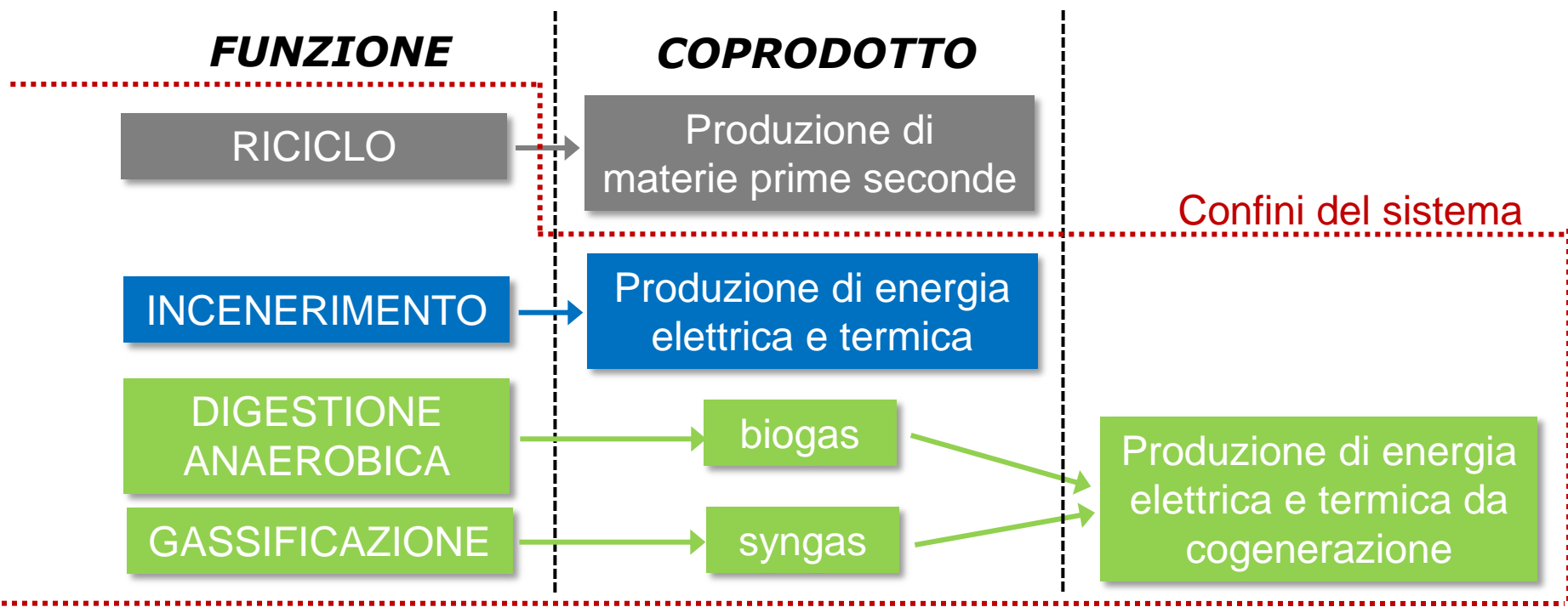
Damage category [Pt]	SC%			
	reale	40%	50%	60%
Human health	-10,864	-24,806	-93,324	-116,699
Ecosystem quality	-5,105	-7,367	-26,687	-33,363
Climate change	-8,164	-43,418	-184,577	-230,75
Resources	-16,702	-49,724	-214,228	-267,802

Comparing 2115,6 ton REIS_Optione b_Parco della Sila_Comuni del parco (reale), 7233,6 ton REIS_Optione b_Parco della Sila_Comuni del parco (40%), 9041,4 ton REIS_Optione b_Parco della Sila_Comuni del parco (50%) and 10850 ton REIS_Optione b_Parco della Sila_Comuni del parco (60%)
 Method: IMPACT 2002+ (3/18/11) (2.04) / IMPACT 2002+ / Single score



Conclusioni

- **Confini del sistema ampliati** alla produzione di energia da cogenerazione e adozione del **prodotto evitato**

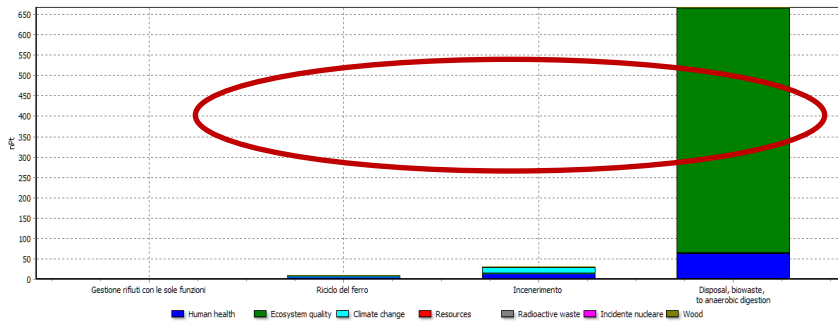




Conclusioni

- Risultati differenti** se si usa il metodo del prodotto evitato rispetto all'analisi ambientale delle sole funzioni

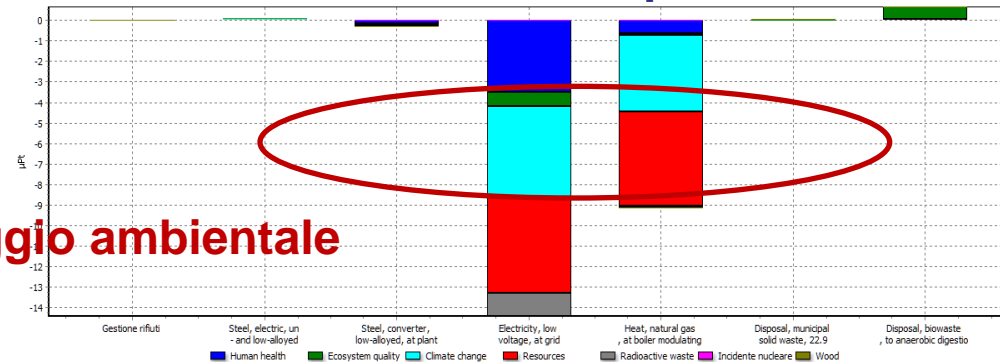
Gestione dei rifiuti con le sole funzioni



danno ambientale

Analyzing 1 kg 'Gestione rifiuti con le sole funzioni';
Method: IMPACT 2002+010811 V2.04 / IMPACT 2002+ / Single score

Gestione dei rifiuti con prodotto evitato



vantaggio ambientale

Analyzing 1 kg 'Gestione rifiuti';
Method: IMPACT 2002+010811 V2.04 / IMPACT 2002+ / Single score



Conclusioni

- confronto tra **due diverse soluzioni di gestione dei rifiuti** e di recupero di energia dal loro trattamento
- **l'impianto integrato** (digestore anaerobico + gassificatore) **garantisce minor impatto ambientale** per i singoli comuni e per l'intera area dei parchi in esame
- il **vantaggio ambientale aumenta** all'aumentare della percentuale di raccolta differenziata, ma risulta esistente anche in scenari analizzati con basso valore di raccolta differenziata

Grazie per l'attenzione