

Analisi degli input (Input analysis)

Sommario

L'analisi degli input è un metodo per individuare i punti deboli di prodotti e processi: essa è basata sulla normativa ISO 14040, che è intesa alla realizzazione degli eco-bilanci; rispetto a questi ultimi, tuttavia, l'analisi degli input non prevede alcuna valutazione dell'impatto ambientale. Questa procedura è basata sull'indagine dei flussi di materiale ed energia.

Di seguito, si riporta un esempio di analisi degli input, con lo scopo di presentare la procedura da seguire per realizzare questo genere di indagine: i risultati ottenuti vengono analizzati in un altro articolo (cfr. "Aspetti ambientali della somministrazione dell'energia a sistemi chimici", nella sezione "Tecniche" del sito).

Un esempio di analisi degli input

La reazione "Acetalizzazione della 3-nitrobenzaldeide al corrispondente 1,3-diossolano con etandiolo (glicol etilenico) via catalisi acida" è stata studiata con il metodo dell'analisi degli input: la variante classica del processo è stata quindi confrontata con quella che prevede l'impiego delle micro-onde; nel caso del metodo tradizionale, inoltre, sono state prese in considerazione due differenti modalità di somministrazione del calore, ovvero tramite bagno ad olio, oppure per mezzo di un mantello riscaldante. L'analisi in questione permette approcci diversi e svariati livelli d'indagine: nel primo, il cosiddetto livello "della reazione", si considerano esclusivamente i flussi di materiale ed energia, che sono direttamente connessi al processo. Il secondo livello (detto "della sintesi"), invece, valuta sia gli input della reazione, sia quelli del work up; esiste poi un terzo (e ultimo) livello, che cerca di analizzare la situazione nella sua completezza (e viene definito come "olistico"): con questo approccio il bilancio dei flussi in entrata viene eseguito andando ad esplorare l'intero percorso che porta dai materiali grezzi al prodotto finale (NB: lo smaltimento dei rifiuti e dei materiali residui non viene considerato, in quanto il trattamento ed il quantitativo dei rifiuti vengono considerati come delle costanti). In Figura 1 vengono schematizzate le aree analitiche appena descritte.

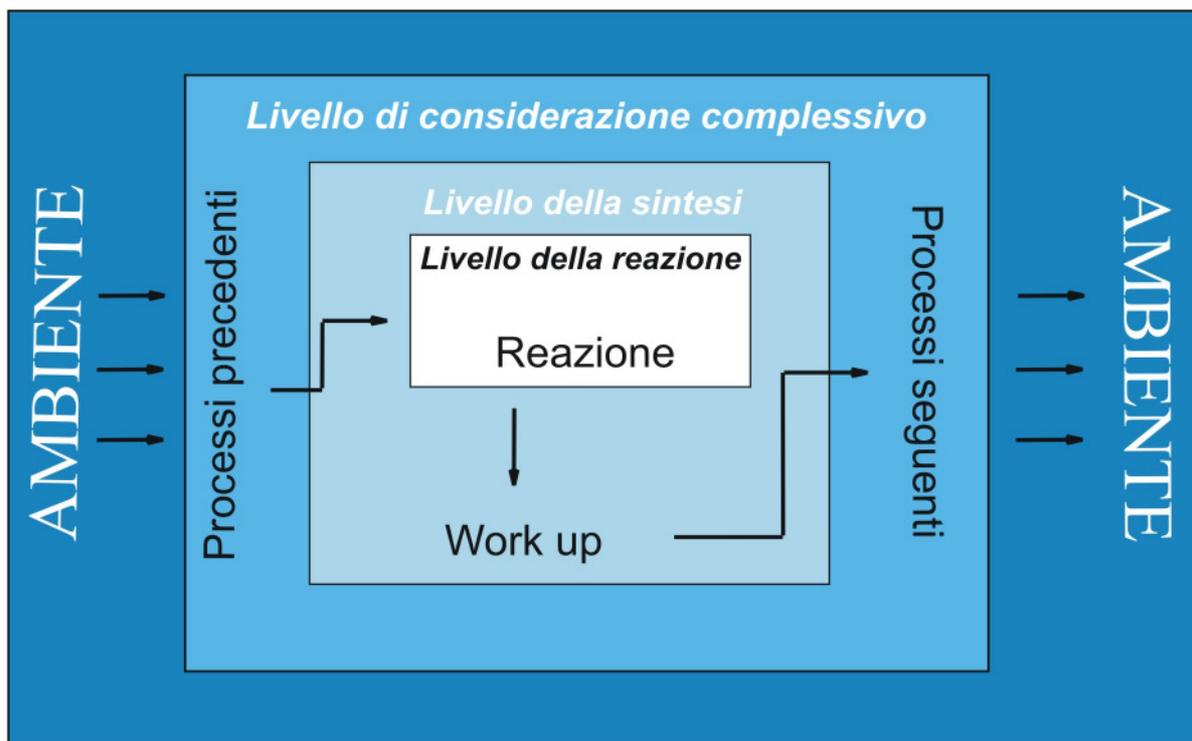


Figura 1: Differenti livelli d'indagine nell'analisi di un processo sintetico

L'analisi degli input registra il consumo dei materiali, considerandone di volta in volta la massa; i potenziali di tossicità dei vari composti non vengono tenuti in considerazione da questo metodo: non è quindi possibile trarre delle conclusioni di carattere generale circa l'inquinamento ambientale. Questa procedura permette comunque di individuare (con un costo limitato) gli eventuali punti deboli di un processo e contribuisce in maniera significativa alla loro ottimizzazione.

Dati registrati sulle reazioni

I flussi in entrata ed in uscita dei differenti livelli di considerazione descritti vengono registrati tramite opportuni rivelamenti ed è possibile trovarne un elenco di seguito. Le masse dei materiali impiegati sono state misurate come descritto nelle istruzioni; i dati circa il consumo energetico, invece, sono stati registrati ricorrendo ai normali contatori disponibili in commercio; per finire, è stato monitorato anche il consumo dell'acqua di raffreddamento.

Tabella 1: Flussi di materiale ed energia della reazione – Input

		Bagno ad olio	Mantello riscaldante	Micro-onde	[...]
Reagenti e sostanze ausiliarie	3-Nitrobenzaldeide	7.55	7.55	7.55	g
	Glicol etilenico	3.42	3.42	3.42	g
	Acido 4-toluensolfonico monoidrato	0.40	0.40	0.40	g
	Cicloesano	90.0	90.0	---	cm ³
	Acqua di raffreddamento	12.1	12.1	---	dm ³
Richiesta energetica	Energia termica fornita	1444	1008	180	kJ
	Agitazione	18	18	54	kJ
	Pompa ad olio / Criostato	43	43	43	kJ

Tabella 2: Flussi di materiale ed energia della sintesi (reazione e work up) – Input

		Bagno ad olio	Mantello riscaldante	Micro-onde	[...]
Reagenti e sostanze ausiliarie	3-Nitrobenzaldeide	7.55	7.55	7.55	g
	Glicol etilenico	3.42	3.42	3.42	g
	Acido 4-toluensolfonico monoidrato	0.40	0.40	0.40	g
	Cicloesano	90.0	90.0	---	cm ³
	Acqua di raffreddamento	12.8	12.5	0.4	dm ³
	Etere di petrolio (40-60 °C)	25.0	25.0	25.0	cm ³
	Dietil etere	25.0	25.0	25.0	cm ³
Richiesta energetica	Energia termica fornita	1627	1044	216	kJ
	Agitazione	18	18	54	kJ
	Pompa ad olio / Criostato	86	86	86	kJ

Tabella 3: Flussi di materiale ed energia della sintesi (reazione e work up) – Output

		Bagno ad olio	Mantello riscaldante	Micro-onde	[...]
	Rifiuti	108.16	108.16	47.31	g
	1,3-Diossolano	7.8	7.8	7.8	g
	Acqua di raffreddamento	12.8	12.5	0.4	dm ³

Gli input e output del processo ai livelli di “reazione” e “sintesi” sono relativamente facili da determinare, visto il numero limitato di flussi da prendere in considerazione; discorso diverso vale per l’approccio di tipo “complessivo”: in questo caso è necessario reperire informazioni da diverse banche dati, cercando di mettere in relazione tra loro i valori in gioco.

Flussi di materiale ed energia – Livello complessivo

I flussi di materiale ed energia da considerare nel livello “olistico” sono molto numerosi: per questo motivo, le tabelle relative sono state riportate nell’appendice di questo articolo.

Dopo aver terminato la determinazione dei flussi nelle diverse varianti proposte, si è passati al confronto e alla valutazione dei dati: in questo contesto sono stati presi in considerazione tutti i possibili livelli di indagine.

Valutazione

La valutazione delle diverse varianti dell’esperimento si divide in due sezioni parallele: in un caso, si analizzano i flussi di materiale, mentre nel secondo quelli energetici.

Consumo energetico

Dando uno sguardo alla tabella sotto riportata, è molto facile intuire come le micro-onde siano l’alternativa da preferire sotto il profilo energetico: in questo senso, gioca un ruolo molto importante il breve tempo di reazione. Limitando l’attenzione alle varianti classiche, invece, bisognerebbe scegliere quella che prevede l’impiego del mantello riscaldante; il vantaggio rispetto alla procedura con bagno ad olio consiste in un miglior isolamento complessivo dell’apparecchiatura. In Tabella 4 è possibile trovare i dati precisi circa i consumi energetici dei diversi procedimenti.

	Micro-onde	Bagno ad olio	Mantello riscaldante	[...]
Energia per la reazione	277	1505	1069	kJ
Energia per il work up	79	227	79	kJ
Energia totale	356	1732	1148	kJ

Tabella 4: Consumi energetici per le tre varianti sintetiche

È molto interessante confrontare la distribuzione (tra reazione e work up) del consumo energetico delle tre varianti sintetiche; un primo aspetto da sottolineare riguarda il fatto che in ciascuna delle tre metodiche, il consumo energetico a livello di work up è molto piccolo rispetto a quello richiesto per la sintesi vera e propria: per questo motivo, sarebbe opportuno focalizzare gli sforzi di ottimizzazione sulla prima fase del processo. In Figura 2, la porzione di energia attribuibile al work up viene rapportata a quella totale.

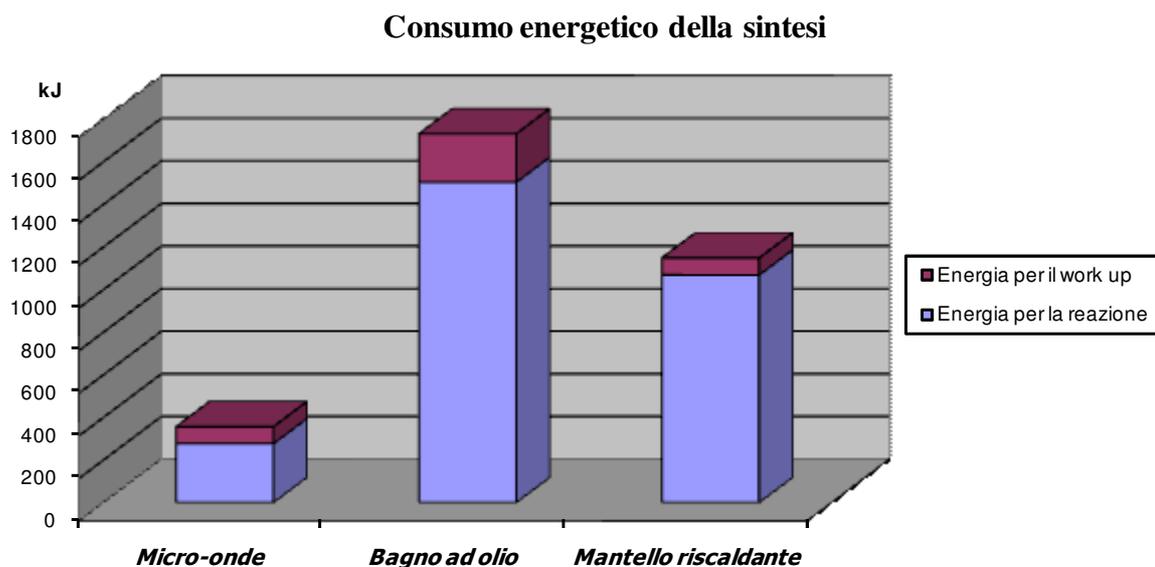


Figura 2: Consumo energetico della sintesi (reazione e work up)

Consumo di materiale

Anche confrontando le differenze esistenti a livello dei flussi di materiale, si riscontra che la variante da preferire rimane comunque quella non convenzionale, basata sull'impiego delle micro-onde: questa procedura, infatti, può essere realizzata impiegando lo stesso quantitativo di reagenti e catalizzatore utilizzati nelle varianti classiche, ma evitando di ricorrere all'acqua come fluido refrigerante. Se si vanno poi a considerare anche i processi preliminari (approccio di tipo olistico), il vantaggio della sintesi basata sulle micro-onde diventa ancora più chiaro: il fatto di non dover impiegare cicloesano, infatti, consente di abbattere l'inquinamento ambientale associato al prodotto della reazione. Da un punto di vista complessivo, inoltre, bisogna sottolineare come il minor consumo energetico richiesto dal procedimento con le micro-onde permetta di risparmiare un certo quantitativo delle (limitate e preziosissime) fonti primarie di energia, come il carbone, gli oli minerali o il gas naturale.

Appendice

I dati forniti nelle seguenti tabelle rappresentano gli input e gli output riconducibili alla reazione di acetalizzazione considerata. I materiali non direttamente riconducibili alla sintesi devono essere riferiti ai processi preliminari.

Esempio: Il carbone riportato tra gli input della reazione viene utilizzato per generare la corrente elettrica impiegata nel processo.

Tabella: Flussi di materiale ed energia a livello olistico – Input

	Mantello riscaldante		Micro-onde		Bagno ad olio	
Materiali chimici di base						
<i>Materiali chimici di base (inorganici)</i>						
Carbonato acido di sodio	5.39	g	5.39	g	5.39	g
Ossigeno	3.87	g	3.87	g	3.87	g
<i>Materiali chimici di base (organici)</i>						
Dietil etere	17.84	g	17.84	g	17.84	g
Etere di petrolio	16.60	g	16.60	g	16.60	g
tert-butil metil etere	79.81	g	79.81	g	79.81	g
Aria	1035.43	g	1035.43	g	1035.43	g
Reagenti chimici						
Acido 4-toluensolfonico monoidrato	400.00	mg	400.00	mg	400.00	mg
Domanda energetica cumulata (CED)	20368.13	kJ	13351.52	kJ	22362.69	kJ
Minerali						
Solfato di sodio	43142.86	mg	43142.86	mg	43142.86	mg
Materiali grezzi in deposito (Raw materials in deposits - RiD)						
<i>Fonte energetica (RiD)</i>						
Carbone (brown)	472.88	g	386.99	g	536.03	g
Gas naturale	98.38	g	42.36	g	101.62	g
Olio minerale	59.52	g	14.46	g	60.36	g
Legna	3.70	mg	3.70	mg	3.70	mg
Carbone (hard)	137.11	g	105.83	g	158.70	g
Uranio	7.07	mg	7.07	mg	7.07	mg
<i>Risorse energetiche non impiegate per produrre energia (RiD)</i>			0.05	kg	0.05	kg
Bauxite	32.89	mg	9.47	mg	32.89	mg
Bentonite	14.59	mg	2.23	mg	14.59	mg
Solfato di calcio	1.46	mg	0.22	mg	1.46	mg
Dolomite	0.61	mg	0.09	mg	0.61	mg
Ferro	55.86	mg	8.24	mg	55.86	mg
Calcare	15323.53	mg	14114.45	mg	16175.79	mg
Ghiaia	0.15	mg	0.02	mg	0.15	mg
<i>Minerali (RiD)</i>						
Fluoruro di calcio	0.09	mg	0.09	mg	0.09	mg
Cloruro di sodio	153.69	mg	95.43	mg	153.69	mg
Olivina	0.46	mg	0.07	mg	0.46	mg
Sabbia	277.08	mg	269.87	mg	277.08	mg
Ardesia	4.03	mg	0.65	mg	4.03	mg
Zolfo	35263.64	mg	35255.11	mg	35263.64	mg
Argilla	1.25	mg	0.14	mg	1.25	mg
Acqua	380.30	kg	305.82	kg	389.35	kg
kJ	20368.13	kJ	13351.52	kJ	22362.69	kJ
kg	382.32	kg	307.62	kg	391.46	kg

Tabella: Flussi di materiale ed energia a livello olistico – Output

	Mantello riscaldante		Bagno ad olio		Micro-onde	
Rifiuti (Wastes for disposal - WfD)						
<i>Rifiuti destinati al riciclo (WfD)</i>						
Rifiuti di combustione	108.12	g	108.12	g	38.01	g
Rifiuti assimilabili a quelli casalinghi	62.02	mg	62.02	mg	6.35	mg
<i>Altri rifiuti (WfD)</i>						
Liquidi (fognatura)	2.92	mg	3.57	mg	2.05	mg
Rifiuti, non specificati	213.75	mg	213.75	mg	153.60	mg
Detriti	3019.41	g	3019.41	g	3018.85	g
Scorie e ceneri	8696.78	mg	12917.99	mg	2843.89	mg
Metalli	0.48	mg	0.48	mg	0.09	mg
<i>Rifiuti radioattivi (altamente radioattivi)</i>						
Rifiuti pericolosi	2.89	mg	2.89	mg	2.89	mg
Rifiuti speciali	42.42	mg	47.90	mg	3.67	mg
Rifiuti da utilizzare (Wastes for exploitation - WfE)						
<i>Altri rifiuti (WfE)</i>						
Scorie e ceneri	4907.43	mg	7312.27	mg	1641.61	mg
Polvere nel filtro	2301.52	mg	2301.52	mg	2301.52	mg
Gesso (REA)	7946.59	mg	7946.59	mg	7946.59	mg
Ceneri grossolane	344.03	mg	344.03	mg	344.03	mg
Solfato di sodio	75.49	mg	75.49	mg	75.49	mg
Scarti dalle camere di fusione	2884.42	mg	2884.42	mg	2884.42	mg
Miscele potenzialmente riciclabili	10.41	mg	10.41	mg		
Ceneri dai letti fluidi	230.15	mg	230.15	mg	230.15	mg
Rifiuti non specificati	30.92	mg	41.83	mg	16.10	mg
Miscela nitrante con tracce di nitrato	1075.51	g	1075.51	g	1075.51	g
Materiali chimici di base						
<i>Materiali chimici di base (inorganici)</i>						
Carbonato acido di sodio	5.39	g	5.39	g	5.39	g
<i>Materiali chimici di base (organici)</i>						
Acido benzoico	2272.18	mg	2272.18	mg	2272.18	mg
Acido maleico	2272.18	mg	2272.18	mg	2272.18	mg
tert-butil metil etere	79.81	g	79.81	g	79.81	g
Emissioni (suolo)						
<i>Metalli (W)</i>						
Alluminio	1.63	mg	1.63	mg	0.59	mg
Piombo	0.30	mg	0.30	mg	0.30	mg
Manganese	0.58	mg	0.58	mg	0.58	mg
Metalli non specificati	21.92	mg	21.92	mg	5.35	mg
Molibdeno	0.07	mg	0.07	mg	0.07	mg
Sodio	14.84	mg	14.84	mg	3.12	mg
Uranio	0.10	mg	0.10	mg	0.10	mg

Continua ...	Mantello riscaldante		Bagno ad olio		Micro-onde	
Vanadio	0.06	mg	0.06	mg	0.06	mg
Emissioni (aria)						
Particelle	0.14	mg	0.14	mg	0.14	mg
Polvere	218.43	mg	291.38	mg	61.94	mg
Polvere (>PM10)	9.36	mg	9.36	mg	9.36	mg
Polvere (PM10)	21.87	mg	21.87	mg	21.87	mg
<i>Composti inorganici (L)</i>						
Ammoniaca	22.17	mg	22.83	mg	18.73	mg
Cloruro di idrogeno	61.60	mg	81.24	mg	33.74	mg
Protossido d'azoto	482.77	mg	483.55	mg	481.71	mg
Fluoruro di idrogeno	8.39	mg	11.10	mg	4.71	mg
Biossido di carbonio (L)	1.03	kg	1.15	kg	0.77	kg
Biossido di carbonio fossile	1031.75	g	1154.70	g	768.98	g
Monossido di carbonio	301.32	mg	315.80	mg	180.62	mg
<i>Metalli (L)</i>						
Metalli non specificati	0.16	mg	0.16	mg	0.02	mg
Nichel	0.09	mg	0.10	mg	0.08	mg
Selenio	0.09	mg	0.09	mg	0.09	mg
NO _x	1997.64	mg	2144.39	mg	1368.71	mg
Nuclidi radioattivi (L)	431.85	kBq	431.85	kBq	431.85	kBq
Nuclidi radioattivi, totale	431852	Bq	431852.39	Bq	431852.39	Bq
Biossido di zolfo	2729.63	mg	3253.10	mg	1706.05	mg
Solfuro di idrogeno	0.18	mg	0.18	mg	0.18	mg
Idrogeno	1.56	mg	1.56	mg	0.65	mg
<i>Composti organici volatili (L)</i> <i>(Volatile Organic Compounds – VOC)</i>						
Metano	2420.85	mg	2748.18	mg	1533.88	mg
<i>Composti organici volatili - non metano (L)</i> <i>(non-methane volatile organic compounds – NMVOC)</i>						
Benzene	0.13	mg	0.17	mg	0.08	mg
NMVOC, aromatici, non specificati	4.39	mg	4.39	mg	0.75	mg
Esano	0.12	mg	0.12	mg	0.12	mg
NMVOC, contenenti ossigeno (L)	0.00	kg	0.00	kg	0.00	kg
Formaldeide	0.08	mg	0.08	mg	0.08	mg
NMVOC, non specificati	175.02	mg	178.75	mg	169.95	mg
VOC (idrocarburi)	108.74	mg	108.74	mg		
Emissioni (Acqua)						
<i>Emissioni (W)</i>						
Carbonati	13.72	mg	13.72	mg	2.01	mg
Cloruri	120.24	mg	120.24	mg	67.86	mg
Solidi, sciolti	10.78	mg	10.78	mg	3.57	mg
Solidi, sospesi	15.98	mg	15.98	mg	3.21	mg
Fluoruri	0.13	mg	0.13	mg	0.13	mg
Acidi, come H ⁺	4.05	mg	4.05	mg	0.62	mg
Ammoniaca	0.29	mg	0.29	mg	0.29	mg

Continua ...	Mantello riscaldante		Bagno ad olio		Micro-onde	
Ammonio	1.42	mg	1.42	mg	1.16	mg
Nitrati	0.42	mg	0.42	mg	0.16	mg
Composti azotati, non specificati	0.49	mg	0.49	mg	0.17	mg
Solfati	628.11	mg	628.11	mg	609.93	mg
<i>Composti inorganici (W)</i>						
Cloro	0.87	mg	0.87	mg	0.87	mg
Oli detergenti	4.01	mg	4.01	mg	0.43	mg
<i>Idrocarburi (W)</i>						
Idrocarburi, non specificati	3.03	mg	3.03	mg	0.42	mg
Idrocarburi, non specificati	0.65	mg	0.65	mg	0.65	mg
Fenoli	0.07	mg	0.07	mg	0.00	mg
Composti organici, sciolti	1.17	mg	1.17	mg		
Composti organici, non specificati	0.13	mg	0.13	mg		
<i>Parametri indicatori</i>						
BSB-5	2.55	mg	2.55	mg	0.71	mg
CSB	15.76	mg	15.76	mg	4.03	mg
TOC	1.37	mg	1.37	mg	1.37	mg
<i>Reagenti chimici fini</i>						
1,3 - diossolano	7800.00	mg	7800.00	mg	7800.00	mg
<i>Minerali</i>						
Gesso (REA)	3125.44	mg	4666.75	mg	1032.30	mg
Solfato di sodio	43142.9	mg	43142.86	mg	43142.86	mg
Acqua	379.28	kg	388.15	kg	305.05	kg
kJ	20368.1	kJ	22362.69	kJ	13351.52	kJ
kg	382.32	kg	391.46	kg	307.62	kg