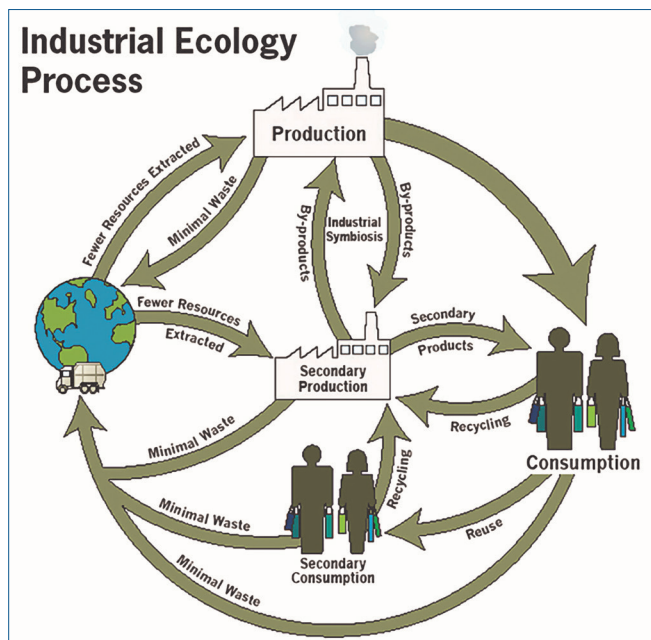




ECOLOGIA INDUSTRIALE: UN INDIRIZZO CONCRETO E VINCENTE VERSO LO SVILUPPO SOSTENIBILE

Lo sviluppo sostenibile non è solo un requisito ampiamente reclamato ma soprattutto un dovere morale che può e deve diventare un nuovo modo di concepire le attività umane. L'approccio deve avvenire su basi scientifiche, sia nella progettazione sia nella revisione di progetti, illuminato dal faro guida dell'ecologia industriale, mentre il Life Cycle Assessment fornisce l'opportunità di un'analisi completa e strutturata degli impatti.



Passato, presente e futuro

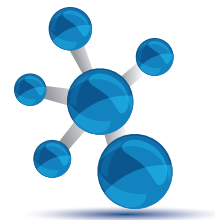
Decisamente lungimirante l'ornitologo, illustratore e pittore John James Audubon che oltre duecento anni or sono ammoniva sostenendo che «un vero fautore della tutela dell'ambiente è un uomo consapevole del fatto che il mondo non gli è stato consegnato dai suoi padri ma è stato preso in prestito dai

suoi figli». Queste lapidarie parole acquistano ancor più significato nella nostra epoca, purtroppo caratterizzata da noncuranza e da disastri ambientali senza precedenti. La nostra generazione ha l'onere e l'onore di affrancare la chimica e i processi industriali in genere, rimuovendo da essi gli attributi negativi che nel passato ne hanno pesantemente minato la reputazione.

In epoca contemporanea, l'economista Herman Daly [1] propone una visione di sviluppo sostenibile che non lascia spazio alle interpretazioni, affermando che è opportuno «svilupparsi entro la capacità di carico degli ecosistemi», dove il peso dell'impatto antropico nel prelevare risorse e nel conferire scarti non deve alterare gli equilibri della natura.

Una chimica quantomeno distratta lascia certamente dietro di sé un passato da correggere: dei milioni di tonnellate di composti non trattati rilasciati nell'ambiente vi sono tracce visibili ancora oggi. Valga su tutti il disastro di Bhopal [2] che può essere considerato lo spartiacque fra il prima e il dopo, fra l'inettitudine e l'inizio di una nuova saggezza.

Dagli anni Settanta si è verificata una decisa impena del numero di norme ambientali [3], risultato di una forte volontà di rimediare agli errori del passato, cui si sono successivamente affiancate le norme vo-



lontarie ISO 14000 [4], standard internazionali per la gestione ambientale delle organizzazioni, oggi allineati alla struttura di alto livello Annex SL [5] che ne prevede lo sviluppo sullo schema sinottico varato nel 2015 [6].

Conseguenza ne è stata che dal 1989 al 2015 si sono registrate riduzioni davvero consistenti delle emissioni in aria, (ossidi di azoto -91%, composti organici volatili -92%), delle emissioni in acqua (metalli pesanti -36% dal 1989 al 2011, azoto -62%, domanda chimica di O₂ -80%), della produzione di rifiuti industriali (-12% dal 2005 al 2011, con un incremento del 122% di quelli destinati al recupero), del consumo di acqua (-24% dal 2005 al 2011). Dal 2000 vi è anche evidenza di una rilevante diminuzione della frequenza degli infortuni sul lavoro (-55%) e la riduzione della loro gravità (-46%) [7]. Un impegno, questo, che porta oggi l'industria petrolifera a essere in Italia il primo settore manifatturiero per minor numero di incidenti sul lavoro, e la chimica farmaceutica il più sicuro per quanto riguarda le malattie professionali [8].

Considerate le proiezioni relative ai fabbisogni e ai consumi di un pianeta demograficamente in forte espansione [9], c'è ancora molto da fare, ma certamente la strada imboccata è quella giusta.

Al contrario non giova, anzi è fortemente controproducente, un atteggiamento di indifferenza, di immobilismo, o ancor peggio di ostruzionismo o di boicottaggio, soprattutto se dettati da idee preconcepite, magari in assenza delle necessarie competenze, peggio ancora se pilotati da interessi.

Una questione spinosa

La controversa vicenda della CO₂, acclamata a furor di popolo quale progenitrice di tutti i mali in ambito climatologico - e non solo - del nostro pianeta, non sembra mettere tutti d'accordo, e presenta qualche forzatura. L'aver identificato un capro espiatorio allontana da una disamina che meriterebbe essere più approfondita e articolata e richiederebbe maggiore capacità critica. La tematica è infatti molto complessa ed è pervasa da disinformazione.

Innanzitutto non si tratta di CO₂ ma di tCO₂e, ossia di tonnellate di CO₂ equivalente, per il gioco dei fattori di peso che riportano in proporzioni prestabilite tutti

i gas a un'unica unità di misura [10]. Il fisico irlandese John Tindall fu il primo a identificare nel 1863 il principale gas serra nel vapore acqueo [11]. Esso ne rappresenta circa il 95%, mentre la rimanente quantità è composta di tracce di CH₄ (0,1% da attività umane), N₂O e CFC e di circa il 5% di CO₂, della quale solo il 5% è derivato dalle attività umane, il che ne porta la percentuale assoluta a non oltre lo 0,3% [12]. Oltre cento anni prima, nel 1753, il chimico e medico scozzese Joseph Black rilevò in modo indiretto la presenza di CO₂ nell'atmosfera [13]. Nel 1827 il matematico e fisico Jean-Baptiste Fourier (noto soprattutto per la sua famosa «F-trasformata», applicazione risolutiva di calcoli complessi che si realizza attraverso il calcolo integrale) fu il primo a parlare di effetto serra, in assenza del quale il nostro pianeta registrerebbe temperature medie di 30 °C in meno rispetto a quelle attuali, che sono di circa +15 °C, risultando così invivibile in larga parte delle sue aree [14].

Occorre considerare che una nutrita porzione della comunità scientifica internazionale (decine di migliaia di scienziati di oltre cento Paesi, dei quali oltre settanta premi Nobel) ha manifestato serie perplessità circa il fatto di archiviare la questione in modo superficiale, con la messa alla gogna della CO₂, tramite la presentazione di pacati documenti ufficiali già a partire dall'Earth Summit di Rio del 1992 tramite lo Heidelberg Appeal [15] e dopo la pubblicazione del Protocollo di Kyoto [16] nel 1997 con la Oregon Petition [17]. Questo, come qualsiasi altro dato assunto in modo isolato, non presenta alcuna utilità se non parametrato a un prima e a un dopo, a uno scenario consuntivo e ad uno prospettivo che prendano in considerazione tutti gli elementi di pertinenza e le loro interazioni.

Quanto appena enunciato non vuole certo distrarre dalla questione ma piuttosto richiamare l'attenzione sull'importanza dell'epistemologia, senza seguire i criteri della quale la ricerca scientifica rischierebbe di prendere frequenti e colossali abbagli.

Non si può inoltre sottovalutare o peggio ancora ignorare la potenza dell'attività del Sole, nostra primaria fonte luce e di calore (e non solo: devastanti sono stati gli effetti delle terribili tempeste magnetiche solari del 1859 e del 1989), che ha un volume

di oltre 1,3 milioni di volte maggiore del nostro minuscolo pianeta: ogni cambiamento nella sua attività si ripercuote inevitabilmente su tutti i pianeti del nostro sistema planetario. Su Marte, ad esempio, si registrano cambiamenti «climatici» paralleli ai nostri, pur non essendo esso abitato da marziani distratti o indifferenti [18].

La storia della meteorologia insegna e non dovrebbe essere trascurata. I cicli dell'attività solare sono incredibilmente costanti e ogni volta che si registrano conseguenti grandi variazioni sul nostro pianeta l'uomo sembra dimenticarsene.

Il condottiero e navigatore normanno Erik Thorvaldsson, detto «Erik il Rosso», esiliato per omicidio, dovette mettersi in navigazione e nell'anno 985 approdò su una fantastica isola verde e rigogliosa, che deve a queste caratteristiche il suo nome, e non certo ai ghiacci che oggi la ricoprono quasi interamente: la Groenlandia. In quel tempo la popolazione mondiale era di poco più di duecentocinquanta milioni di unità contro i sette miliardi dei giorni nostri, e le prime attività industriali organizzate sarebbero arrivate soltanto settecento anni più tardi [19].

Fra i tanti citabili, un esempio opposto è quello del congelamento della laguna veneta (-17 °C a Venezia) registrato nell'anno 1709, che permise a carri e artiglieria di attraversarla su una continua superficie ghiacciata. Ciò accadde verso la fine del quarantennio 1675-1715, che fu caratterizzato da un'attività solare molto scarsa, ovvero da una situazione in cui il numero di macchie solari si ridusse al minimo storico (minimo di Maunder) e gli inverni europei registrano punte insolite di gelo [20].

Consapevolezza e responsabilità a prescindere

Ciò non esime chiunque abiti il nostro pianeta dal non lordarlo, soprattutto chi è titolare di progetti e di attività che possiedano un potenziale di impatto. Il rischio di concentrarsi sul singolo e isolato fattore impattante, il colpevole designato del momento, è quello di trascurare gli altri impatti riguardanti le attività umane, altrettanto necessari di attenzioni e di analisi. È quanto mai necessario non perdere la visione d'insieme, in modo da conferire alle generazioni future il prestito che abbiamo a nostra volta ottenuto, con interessi il più possibile attivi e lasciando in ere-

dità una cultura della consapevolezza e del rispetto più robusta di quella passata. Il singolo soggetto ha grandi responsabilità in quanto titolare di comportamenti che possono fare la differenza, tuttavia il ruolo di maggior peso è in carico alle istituzioni. Ad esse è attribuito il dovere di informazione, di orientamento, di supporto e di costruzione e gestione di adeguate infrastrutture che permettano di mettere in atto comportamenti virtuosi. A solo titolo d'esempio, in Italia il totale dei chilometri di strade ferrate è di oltre nove volte inferiore al totale dei chilometri di strade per il trasporto su gomma, contro un rapporto di uno a tre della Germania e di uno a cinque nell'Europa dei quindici. Il trasporto su acqua è anch'esso largamente trascurato, pur essendo la nostra penisola in gran parte circondata dal mare, oltre a presentare corsi d'acqua già navigabili o adattabili allo scopo. Se si considera che l'impatto del trasporto su strada (1 kg/1 km) è di cinque volte quello su binario e di sedici volte quello su acqua, risulta evidente che la carenza di adeguate infrastrutture non permette al singolo attore di contribuire a pieno per la parte che gli competerebbe [21].

In aggiunta, la sostenibilità è un principio di filiera: un concetto, questo, fondamentale e irrinunciabile. Un attore di filiera che trascura di mettere in opera la sua parte rischia seriamente di vanificare il lavoro degli altri attori virtuosi. Occorre poi non dimenticare che in coda ad ogni filiera è collocato il consumatore, anch'esso titolare di specifiche responsabilità.

La svolta

Il 1987 fu l'anno del proclama «Our Common Future» della politica norvegese Gro Harlem Brundtland, a seguito del quale le attività umane persero il loro baricentro antropocentrico [22].

Fino a quegli anni, la chimica verde era stata una materia che si occupava solo delle trasformazioni da fonti vegetali e delle biotecnologie. Oggi il concetto si è molto allargato e la chimica verde è una materia composta da chimica ed etica ed è caratterizzata da un insieme di criteri, priorità e obiettivi che riguardano la progettazione, la produzione e l'impiego di prodotti e processi chimici efficienti ed efficaci per favorire uno sviluppo sostenibile. Questo prevede la riduzione, se non l'eliminazione, di materiali, fonti

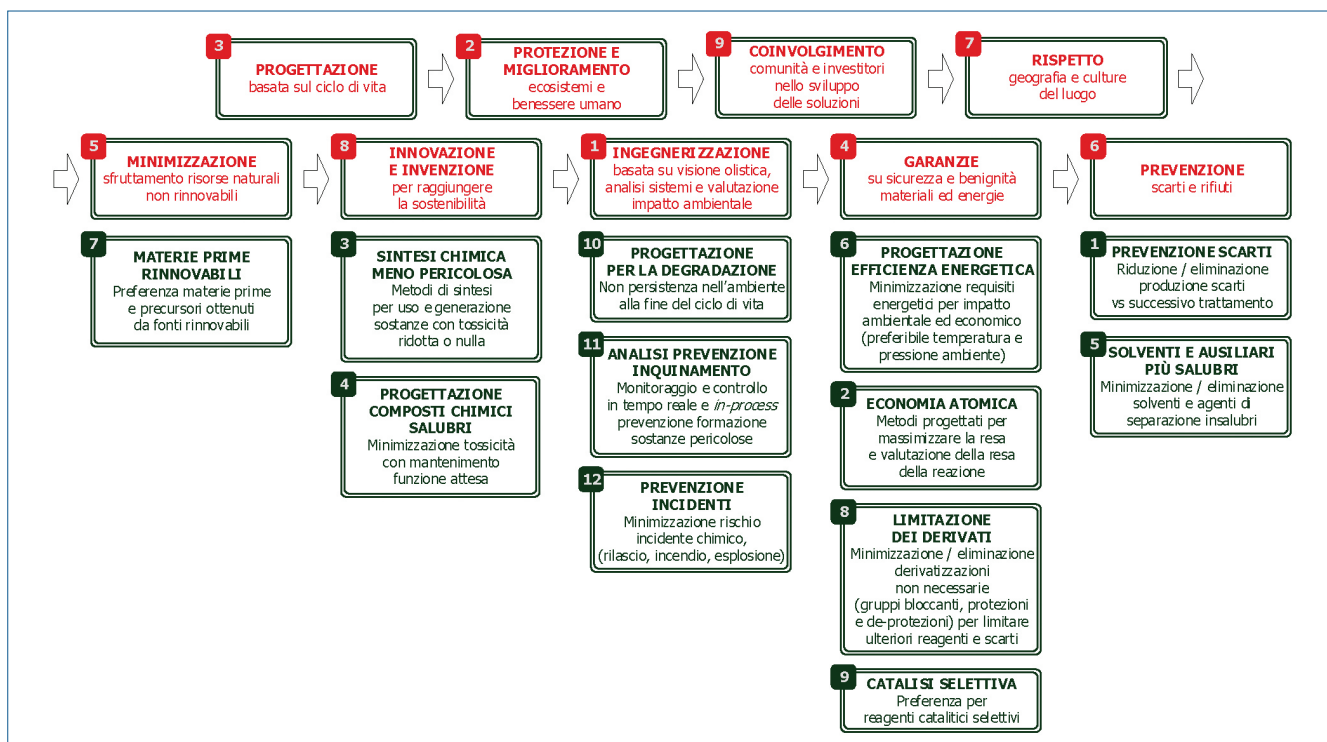


Fig. 1 - Diagramma di relazione tematica fra i nove principi dell'ingegneria verde e i dodici principi della chimica verde

non rinnovabili, energia, rifiuti ed esposizione al pericolo, ovvero del rischio.

La chimica verde ha tuttavia necessità di un supporto strutturale per essere applicata nelle attività su scala industriale. È così che in epoca più recente è stata affiancata da un'altra materia: l'ingegneria verde.

Mentre la chimica verde, che consta di dodici principi ufficialmente codificati, si occupa precipuamente delle trasformazioni chimiche, preoccupandosi di considerare l'uso efficiente delle risorse, la riduzione della pericolosità, dell'insalubrità e dell'impatto ambientale, l'ingegneria verde, con i suoi nove principi (o dodici, a seconda delle classificazioni) [23], ne attua il completamento con la progettazione di processi e sistemi efficienti e le analisi di sistema e di impatto, ma anche con la ricerca di soluzioni alternative compatibili per la progettazione di installazioni che siano sempre più rispettose dell'uomo e dell'ambiente.

Dall'unione di queste due materie nasce l'ecologia industriale, capace di abbracciare e condensare tutti questi concetti verso lo studio del contesto produttivo, ambientale e socio-culturale basato su

un approccio interdisciplinare per la pianificazione e la gestione di sistemi produttivi efficienti ed eco-sostenibili.

Con l'applicazione di questo binomio vincente oggi Bhopal sarebbe solo un elemento di interesse geografico, probabilmente sconosciuto ai più.

Nel diagramma originale riportato alla Fig. 1, è posta in evidenza la stretta correlazione fra i principi della chimica verde e quelli dell'ingegneria verde, con il fine di orientare verso l'immediata comprensione dei contenuti.

È ora facile comprendere che trattandosi di un approccio metodologico complesso e articolato, di una guida seria verso un futuro prossimo più consapevole e responsabile, è insensata e irresponsabile l'appropriazione di questi concetti per fini meramente commerciali, fino a sfociare nel *greenwashing*, ossia la pratica dell'inganno ai danni del consumatore mediante il vanto di benefici ambientali inesistenti per come proposti.

Gli stessi dodici più nove (o dodici) principi dell'ecologia industriale non possono e non devono diventare una *checklist* a punteggio, banalizzando il

Chimica	Ingegneria Chimica	Produzione	Sicurezza, Salute, Ambiente	Gestione
Scelta materiali e fonti	Diagramma di flusso dei processi	Operatività	Emissioni	Costi produzione e processo
Resa e Purezza	Trasferimenti massa/calore	Opportunità modifiche	Trattamento reflui gas-liquidi-solidi	Costi di smaltimento
Selettività	Efficienza energetica	Sicurezza operatori	Rispetto requisiti cogenti	Confezionamento e condizionamento
Identificazione sottoprodotti	Scelta attrezzature	Manipolazione materiali	Sicurezza sito produttivo	Garanzie prodotto
Chimica Fisica	Analisi sistema e impatto	Flussi dei materiali	Prevenzione incidenti	Qualità sistema e prodotto

Fig. 2 - Ecologia industriale: esempio di *team* di sviluppo

lavoro di *team* multidisciplinari di sviluppo che con coscienza e competenza studiano e lavorano per il raggiungimento di obiettivi seri, concreti e stabili. Trattandosi di materia complessa, l'approccio richiesto è appunto multidisciplinare, pertanto le competenze necessarie alla progettazione, allo sviluppo e alla messa in opera sono specifiche e specializzate (Fig. 2).

La risposta dell'industria non si è fatta attendere. Oggi sono numerosi gli esempi di processi moderni e virtuosi ispirati dall'ecologia industriale e quindi ad impatto complessivo estremamente ridotto: da quelli microonde-mediati, impiegati soprattutto per realizzare sintesi ed estrazioni, a quelli per conversione o per catalisi enzimatica, sostitutivi delle reazioni effettuate per via tradizionale, a quelli che prevedono l'impiego di fotobioreattori per la coltivazione di cellule vegetali. Con riferimento a quest'ultimo esempio, è stata oggetto di approfondimento la produzione di Echinacoside, un principio attivo antiossidante, immunostimolante, antinfiammatorio, vulnerario, antisettico, antivirale, antibatterico, destinato ai settori cosmetico, nutrizionale e farmaceutico, che, impiegando un metodo che prevede la coltura di cellule vegetali ottenute per callogenese, evita le problematiche legate alle coltivazioni tradizionali, quali l'impiego di agrofarmaci, la presenza di aflatossine e metalli pesanti e consente la rimarcabile riduzione di tempi, acqua, solventi e superfici di terreno destinate alla coltivazione [24]. L'impiego delle microonde ha invece permesso lo sviluppo di metodiche di sintesi

che presentano grandi vantaggi in termini di impatto ed economici, permettendo di ridurre drasticamente l'impiego di reattivi, temperature, tempi di reazione e dissipazione di energia, e al contempo di aumentare considerevolmente la velocità di reazione. Un esempio preso in esame è quello della sintesi di pigmenti inorganici destinati alla

cosmesi decorativa, ottenuti per sintesi idrotermale anziché tramite sintesi convenzionale [25].

Altrettanto complessa è la tematica dei rifiuti industriali, soprattutto per quanto riguarda le aree più nuove ed innovative, come la chimica farmaceutica e la chimica fine: facendo esse uso di una chimica più complessa e sofisticata, difficilmente riescono ad evitare la produzione di scarti non riciclabili, mentre le aree tradizionalmente ritenute più «sporche», come la petrolchimica e la chimica di base, risultano di norma le più pulite, in quanto i loro scarti diventano più facilmente intermedi di processo o prodotti da utilizzare come tali (Fig. 3) [26]. È da evidenziare che anche le aree più nuove e innovative presentano grandi miglioramenti ed un futuro sempre più roseo, proprio grazie alla messa a punto di metodiche alternative ispirate dai principi dell'ecologia industriale.

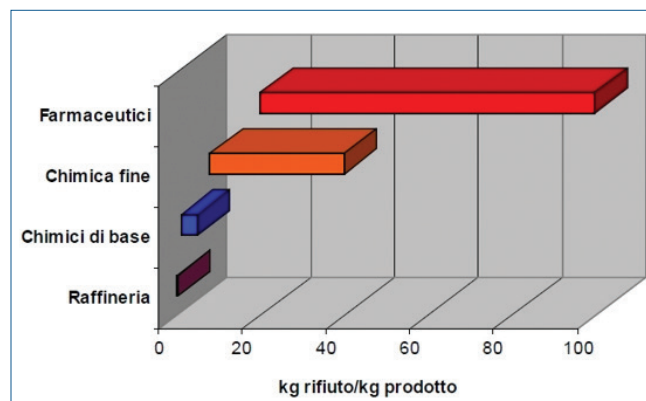
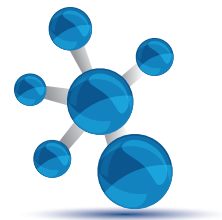


Fig. 3 - Kg di rifiuto per kg prodotto, in alcune delle principali aree di produzione chimica



I settori coinvolti sono quindi i più disparati, tuttavia sono quelli che generalmente richiedono processi chimici più complessi e selettivi, dal farmaceutico, al nutraceutico, al cosmetico, ad avanzare requisiti particolarmente restrittivi che spaziano dal piano progettuale al quello commerciale. Non è da trascurare il lato economico di tale approccio: tutto ha un costo e ciò va considerato e mediato fin dalle prime fasi di un progetto, in modo da non inibirne il successivo sviluppo.

Infine, è necessario tenere presente che non è sufficiente fare le cose bene, occorre anche comunicarle bene: la consapevolezza e il coinvolgimento richiedono una comunicazione genuina, strutturata su elementi attendibili e calibrata sul destinatario. Un buon progetto e una buona comunicazione possono inoltre diventare il volano per rilanciare un'attività e per attivare il processo di ritorno dell'investimento.

La necessità della verifica

Resta da individuare quale strumento analitico impiegare per condurre l'analisi più completa e rigorosa degli impatti delle attività umane. Il metodo oggi

universalmente riconosciuto è quello del *Life Cycle Assessment* (LCA) [27].

Si tratta di un procedimento analitico, obiettivo e sistematico di valutazione dei carichi energetici e ambientali associati all'intero ciclo di vita di un prodotto,

	Soybean	Oil palms (fresh fruit bunches) *	Rapeseed	Spring barley
Location	Argentina	Malaysia	Denmark	Denmark
Yields, tons/ha	2.63	18.80	2.83	4.90
Resource use				
Fertilizer (N), kg	0	90	167	123
Fertilizer (P), kg	16	12	24	21
Fertilizer (K), kg	0	134	77	62
Diesel, L	42	64	125	114
Lubricant oil, L	4	0	13	11
Electricity (natural gas), kWh	0	7	23	29
Emissions to water				
Nitrate, kg NO ₃	0	83	326	202
Phosphate, kg PO ₄	0	0.7	0.6	0.7
Emissions to air				
Ammonia, kg	0	0	12.2	10.5
Nitrous oxide, kg	4.7	6.5	6.7	4.8
Nitrogen dioxide, kg	0	1.7	0	0
Sulfur dioxide, kg	0	0.8	0	0

Fig. 4 - *Life Cycle Assessment*: inventari zionali per l'identificazione e la quantificazione di impiego di risorse, emissioni in acqua e in aria relativi alla coltivazione di fagioli di soia, olio di palma, colza e orzo primaverile

	Soybean mill	Palm oil mill	Palm kernel mill	Rapeseed mill
Location	Argentina	Malaysia	Malaysia	Denmark
Products	Soybean meal Soybean oil	Palm oil Palm kernels Pulp	Palm kernel oil Palm kernel meal	Rapeseed meal Rapeseed oil
Transport				
Transport to mill (28 t lorry)	500 km	0 km	150 km	150 km
Transport to mill (tractor)		22 MJ Diesel		
Resources				
Hexane	0.40 kg	0	1.99 kg	0
Diesel for machinery			32 MJ	
Electricity (natural gas)	12 kWh		68 kWh	50 kWh
Heat (oil)	145 MJ	-	335 MJ	340 MJ
Heat (gas)	282 MJ	-	-	
Emissions to air				
Methane		9,570 g		
Hexane	0.20 kg	-	1.99 kg	
Carbon monoxide	Energy related	50 g	Energy related	Energy related
Nitrogen oxides	Energy related	120 g	Energy related	Energy related
NM VOC, volatile organic compounds	Energy related	239 g	Energy related	Energy related
Sulfur dioxide	Energy related	435 g	Energy related	Energy related
Particles	Energy related	276 g	Energy related	Energy related
Emissions to water				
BOD5, Biological Oxygen Demand	17 mg			
COD, Chemical Oxygen Demand	61 mg			
Nitrate	4 mg	182 g		

Fig. 5 - *Life Cycle Assessment*: inventari zionali per l'identificazione e la quantificazione di trasporto, impiego di risorse, emissioni in aria e in acqua per l'ottenimento di farina e olio di soia, olio di palma e polpa di palmisto, olio e farina di palmisto, farina e olio di colza

processo o attività, effettuato tramite l'identificazione e la quantificazione di energia, materiali e rifiuti per valutarne l'impatto e verificare le opportunità di miglioramento [28].

Tale procedimento si articola in quattro passaggi fondamentali [29]:

- 1) definizione di obiettivi e scopi, che comprende l'identificazione dell'oggetto, del contesto e dei perimetri dell'analisi;
- 2) analisi degli inventari, seguendo specifiche tabelle o tramite specifici calcoli, ossia l'identificazione e la quantificazione di energia, acqua, materiali e rifiuti per ogni fase in analisi (Fig. 4 e 5) [30];
- 3) valutazione degli impatti, che consiste nel calcolo opportunamente parametrato degli effetti sull'uomo e sull'ambiente (Fig. 6) [30];
- 4) analisi di miglioramento, che si traduce nella valutazione delle opportunità di riduzione degli impatti come sopra identificati.

Come avviene per ogni analisi effettuata con criterio, il procedimento è infine sottoposto ad analisi di sensibilità, che contempla la verifica della coerenza della base di dati, l'attendibilità delle ipotesi e la rilevanza dell'incertezza, per valutare gli effetti sui risultati indotti da modifiche nei valori delle variabili in ingresso.

Tralasciando i dettagli dello sviluppo del *Life Cycle Assessment*, è importante evidenziare quali impatti sono da esso caratterizzati:

- a) energia primaria (trasformazione di combustibili in energia elettrica);
- b) emissioni in aria di sostanze che potrebbero essere responsabili dell'aumento dell'effetto serra (quantità in massa di specifiche sostanze rapportate al relativo specifico coefficiente di peso, CO_2);
- c) assottigliamento dello strato di ozono stratosferico (quantità in massa di specifiche sostanze rapportate al relativo specifico coefficiente di peso, CFC_3);
- d) acidificazione (emissione in aria di particolari sostanze acidificanti come gli ossidi di

	Unit	Soybean meal (PO)	Soybean meal (RSO)	Soybeans	Fresh fruit bunches	Rapeseeds	Spring barley
Delimitation		from Rotterdam		from farm gate			
Global warming	g CO_2 eq.	721	344	642	177	1,550	671
Ozone depletion	mg CFC11 eq.	0.27	0.20	0.08	0.02	0.23	0.12
Acidification	g SO_2 eq.	3.1	-1.2	0.8	1.6	11.8	5.8
Eutrophication	g NO_3 eq.	-2	-81	1	8	139	53
Photochemical smog	g ethane eq.	0.4	0.4	0.1	0.0	0.3	0.2

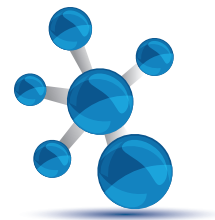
Fig. 6 - *Life Cycle Assessment* - Calcolo differenziato degli impatti per farina di soia, fagioli di soia, frutta fresca, colza e orzo primaverile

- e) eutrofizzazione (concentrazione delle sostanze nutritive in ambienti acquatici, come i composti dello zolfo, dell'azoto e del fosforo, SO_2 , NO_3 , PO_4);
- f) smog fotochimico (concentrazione delle sostanze organiche volatili che per reazione chimica catalizzata dalla luce portano alla formazione di ozono troposferico e altre sostanze tossiche, rapportate al relativo specifico coefficiente di peso, C_2H_4);
- g) rifiuti solidi (quantità prodotta o emessa in massa, in assenza di fattori di peso).

Va da sé che tutto ciò che si trova fuori dal perimetro dell'analisi in esame è a sua volta soggetto a un suo specifico LCA, tanto da realizzarsi un sistema di analisi concatenate che permettono alle attività confinanti la fruizione di dati certi, coerenti e attendibili (Fig. 7) [31].



Fig. 7 - *Life Cycle Assessment* di una T-shirt: esempio di perimetro di analisi



Affinare i processi

Nonostante l'accuratezza e la completezza di tale procedimento, si può presentare la necessità di un dettaglio ancora superiore. Un esempio che pare inquietante è dato dalle conseguenze della presenza in acqua di rifiuti inattesi da sostanze farmaceutiche, verificata con una vasta indagine condotta attraverso numerosi studi per oltre un decennio (oltre 170 referenze riferite ad oltre 180 composti, in oltre 20 Paesi). Nonostante i modernissimi sistemi di depurazione, è stata rinvenuta la presenza di micro-inquinanti, nell'ordine di parti per miliardo e ben lontani dai loro livelli di tossicità acuta, identificabili come le sostanze stesse, loro metaboliti o loro altri prodotti di trasformazione, nei bacini idrografici di riferimento, come anche nell'acqua potabile.

Un effetto riscontrato è stato il processo di femminilizzazione di pesci maschi, in particolare a carico della specie talvolta anadroma *Rutilus Rutilus*, con produzione di specie intersessuali e rinvenimento di estrogeni provenienti da contraccettivi [32].

È evidente che la questione non possa essere liquidata con la restrizione o l'eliminazione di talune sostanze farmaceutiche, sia per la necessità di trattamento soprattutto di pazienti portatori di patologie gravi, sia per motivi di rilevanza sociale come nel caso specifico in analisi.

Per molte sostanze chimiche (pesticidi, agrofarmaci, prodotti per la pulizia domestica e non) sono già attive linee guida per la loro identificazione, trattamento ed eliminazione, o almeno consistente riduzione, mentre per i farmaci veterinari è già in vigore la direttiva 2004/28/EC, che ne prevede la non autorizzazione quando il rischio ambientale sia ritenuto inaccettabile [33].

Rigore e affidabilità

Da tutto quanto sopra affrontato, emerge chiara la necessità di procedere con analisi e progetti strutturati e di spessore, rifiutando le forzature e le semplificazioni e operando secondo modelli e sistemi che oggi sono facilmente fruibili, consolidati e riconosciuti, quali i principi dell'ecologia industriale e il *Life Cycle Assessment*, e che offrono le più ampie garanzie di attendibilità essendo essi sviluppati sulle più recenti acquisizioni scientifiche.

Sviluppo sostenibile, progresso e scienza avanzano a braccetto, di pari passo. Ciascuno stimola gli altri verso soluzioni innovative, verso l'ottimizzazione delle risorse e del loro impiego, verso una sorta di quello che potrebbe diventare un moderno Eden. Il nostro pianeta presenta le condizioni per avere questo potenziale, come i suoi abitanti hanno il potenziale per sviluppare le competenze necessarie per realizzarlo.

Occorre tuttavia riconoscere e valorizzare il ruolo centrale della chimica e della fisica in questo processo, per comprendere a fondo quello che siamo, per arrivare a gestire in modo responsabile tutto quello che ci circonda, per ripianificare e aggiornare il nostro ruolo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] a. http://letterainternazionale.it/wp-content/uploads/2015/02/daly_92.pdf;
b. <https://www.publicpolicy.umd.edu/faculty/herman-daly>
- [2] a. <https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=edethicsinscience>; b. <https://www.ilpost.it/2014/12/03/disastro-bhopal/>
- [3] C. Jimenez-Gonzales, D. Constable, Green Chemistry and Engineering, J. Wiley & Sons, New York, 2011, pag. 19
- [4] <https://www.iso.org/news/2015/09/Ref1999.html>
- [5] <https://www.iso.org/news/2012/07/Ref1621.html>
- [6] <https://www.csqa.it/Sostenibilita/Focus/iso>
- [7] <https://www.federchimica.it/docs/default-source/dati-e-analisi/formula-della-crescita-navigabile-2016.pdf>, pag. 10, 12, 18.
- [8] https://federchimica.it/docs/default-source/responsible-care/rc_2018.pdf?sfvrsn=29317a93_23, pag. 22, 27.
- [9] a. <https://www.wri.org/publication/creating-sustainable-food-future>;
b. <https://www.wri.org/>
- [10] <http://www.odlt.org/dcd/ballast/tco2e.html>
- [11] <https://www.earthobservatory.nasa.gov/features/Tyndall>

- [12] a. <https://daltonsinima.wordpress.com/2009/03/18/quanta-parte-del-l%E2%80%99effetto-serra-e-di-origine-antropica/>; b. https://www.geocraft.com/WVFossils/greenhouse_data.html
- [13] a. J.B. West, *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.*, 2014, **306**, L1057; <https://doi.org/10.1152/ajplung.00020.2014>; b. <http://www.chem.gla.ac.uk/~alanc/dept/black.htm>
- [14] a. <http://maquinalectora.net/joseph-fourier/>; b. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Earth_Temperature_without_GHGs; c. <http://www.meteoweb.eu/2012/01/tutta-la-verita-sulleffetto-serra-cose-come-si-origina-e-cosa-comporta/110012/>
- [15] <https://americanpolicy.org/2002/03/29/the-heidelberg-appeal/>
- [16] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128060>
- [17] <http://www.petitionproject.org/>
- [18] I.B. Smith *et al.*, *Science*, 2016, **352**(6289), 1075; DOI [10.1126/science.aad6968](https://doi.org/10.1126/science.aad6968)
- [19] a. http://www.nationalgeographic.it/dal-giornale/2010/06/15/news/groenlandia-clima_vichingo-28988/?refresh_ce; b. N.E. Young *et al.*, *Science Advances*, 2015, **1**(11), e1500806; DOI: [10.1126/sciadv.1500806](https://doi.org/10.1126/sciadv.1500806); c. <http://www.notteconlestelle.it/terra/groenlandia-ghiacci-vichinghi-clima/>
- [20] a. D. Camuffo *et al.*, *Climatic Change*, 2010, **101**, 169; DOI [10.1007/s10584-010-9815-8](https://doi.org/10.1007/s10584-010-9815-8); b. D. Camuffo *et al.*, *Climatic Change*, 2017, **143**, **73**; DOI [10.1007/s10584-017-1991-3](https://doi.org/10.1007/s10584-017-1991-3); c. <https://www.meteogiornale.it/notizia/17128-1-gli-inverni-italiani-nel-minimo-di-maunder-durante-la-piccola-era-glaciale>
- [21] http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20120404_170436_2388_Deliverable_3_FINAL_VERSION.pdf, pag. 103, 104.
- [22] <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- [23] a. C. Jimenez-Gonzales, D. Constable, *Green Chemistry and Engineering*, J. Wiley & Sons, New York, 2011, pag. 18, 20, 28-32; b. P.T. Anastas, J.B. Zimmerman, *Env. Sci. and Tech.*, 2003, **37**, 96A.
- [24] a. <https://www.labworld.it/aziende/irb-istituto-ricerche-biotecnologiche/>; b. <http://www.bio.unipd.it/agroecology/download/pdf/seminars-for-students/2004/Dal-Toso-IRB-Presentation-2004.pdf>
- [25] C. Villa *et al.*, *Kosmetica*, 2014, **1**, 36.
- [26] R.A. Sheldon, *J. Chem. Tech. Biotechnology*, 1997, **68**, 381.
- [27] <http://www.openlca.org/>
- [28] Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) <https://www.setac.org/>
- [29] <https://www.csqa.it/CSQA/Norme/Sostenibilita-Ambientale/ISO-14040-LCA>
- [30] R. Dalgaard *et al.*, *Int. J. LCA*, 2008, **13**, 244, 245, 247 <https://link.springer.com/article/10.1065%2Fica2007.06.342>
- [31] https://www.e-education.psu.edu/egee401/content/p10_p3.html
- [32] C. Richman, *The Pharmaceutical Journal*, 22 march 2008, <https://www.pharmaceutical-journal.com/opinion/comment/impact-of-waste-pharmaceuticals-an-environmental-hazard-or-greenwash/10006281.article>
- [33] <http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/06193dl.htm>

Industrial Ecology: a Clear and Winning Direction towards Sustainable Development

The sustainable development is not only a largely claimed requirement but especially a moral obligation that can and must become a new means to conceive human activities. The approach must be science-based, both at design and at project reassessment phases, enlightened by the guiding light of the industrial ecology, whereas the Life Cycle Assessment provides for the opportunity of a complete and structured analysis of impacts.