APPLICAZIONI DEL LCA ALL'ENERGIA

Un'analisi LCA individua e quantifica in modo sistematico ed oggettivo l'energia ed i materiali utilizzati nonché le sostanze rilasciate nel sistema ambiente e quantifica gli impatti potenziali attraverso l'intero ciclo di vita.

Le implicazioni ambientali riguardano tutti i tipi di impatto sull'ambiente, inclusi il consumo di risorse e l'emissione di sostanze dannose per l'uomo e l'ecosistema.

La metodologia ha ricevuto grande interesse ed attenzione da parte della comunità scientifica internazionale per le notevoli potenzialità nel misurare in modo rigoroso ed efficace le implicazioni ambientali di prodotti e processi a scala globale e regionale (consumo di risorse, effetto serra, buco nell'ozono, acidificazione, eutrofizzazione, ecc.).

Indicatori energetici ed ambientali

Poiché lo scopo di una LCA, è quello di rendere fruibili al meglio i risultati ottenuti dall'inventario, di apprezzarne a fondo il significato ambientale e di comunicarlo agli addetti ai lavori e al pubblico, devono essere individuate delle aree di interesse ambientale (categorie di impatto) e per ognuna di esse occorre selezionare opportuni indicatori.

Indicatori energetici

Per quanto riguarda il consumo/risparmio di risorse energetiche si possono considerare i seguenti indicatori:

- GER: Gross Energy Requirement definito come somma di tutti gli contributi energetici di ciclo vita (diretti, indiretti, capital energy e feedstock);
- Energy non renewable: quota del GER proveniente da fonti non rinnovabili;
- Energy renewable: quota del GER proveniente da fonti rinnovabili.

Indicatori relativi ai cambiamenti climatici

Per quanto riguarda l'emissione di gas serra, gli indicatori utilizzati sono i seguenti:

- GWP100 total: Global Warming Potential dato dalla somma pesata delle quantità dei gas serra emessi dal sistema;
- GWP100 fossil: quota del Global Warming Potential dato dalla somma pesata delle quantità dei gas serra ad esclusione dell'anidride carbonica di origine biogenica;
- GWP100 bio: quota del Global Warming Potential dato dal solo contributo dell'anidride carbonica di origine biogenica.

L'indicatore GWP100 fornisce un risultato in termini di impatti ambientali causati dall'emissionein atmosfera di gas clim-alteranti, valutati con orizzonte temporale di 100 anni.

Per ciascun gas serra, il valore del potenziale è espresso dal rapporto tra l'assorbimento di radiazione infrarossa causata dall'emissione di 1 kg di tale sostanza e quello causato da una stessa emissione di anidride carbonica, sostanza presa come riferimento.

Si noti che nella presente nota tecnica verrà utilizzato l'indicatore GWP100 total, fornendo tuttavia anche indicazioni sul contributo delle emissioni biogeniche.

Altri indicatori ambientali

Altri indicatori ambientali comunemente utilizzati in ambito LCA sono:

- Assottigliamento della fascia d'ozono (ODP);

- Acidificazione (AP);
- Eutrofizzazione (EP);
- Formazione di smog foto-chimico (POCP).

LCA e tecnologie per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile

Con il procedimento LCA, si sono sottoposte a valutazione le tecnologie rinnovabili di possibile attuazione:

- Idroelettrico,
- Fotovoltaico,
- Eolico.

Lca applicata alle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia

L'impiego delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia è considerato nevralgico per affrontare le emergenze ambientali innescate dai cambiamenti climatici indotti dal massiccio impiego di fonti fossili di energia. La valutazione delle prestazioni delle tecnologie e la definizione di opportune strategie energetiche future deve fondarsi su adeguate informazioni scientifiche sul ciclo di vita degli impianti. Il presente articolo analizza alcune delle peculiarità degli studi di LCA applicati alle tecnologie rinnovabili e descrive i risultati di alcuni casi studio sviluppati dagli autori o tratti dalla letteratura scientifica.
Nei seguenti paragrafi sono presentati i risultati di vari studi relativi alle prestazioni di ciclo di vita delle principali tecnologie per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabili:

Collettori solari termici

L'utilizzo termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da far divenire i collettori solari una tecnologia economica e largamente usata per il riscaldamento dell'acqua sanitaria. Il rendimento dei pannelli è aumentato di molto nell'ultimo decennio, rendendo commercialmente competitive varie applicazioni nell'edilizia e nell'agricoltura.

I collettori solari termici possono inoltre essere integrati a sistemi innovativi di Solar Cooling, per il trattamento e condizionamento dell'aria. Anche in questo caso i risultati sono confortanti, con tempi di payback stimati pari a circa 3 anni.

I risultati di alcuni studi di LCA sono presentati in Tab. 1. La Fig. 1 mostra un dettaglio di uno studio applicato ad un collettore solare termico integrato a circolazione naturale. Le ricerche citate confermano il giudizio positivo inerente a questa tecnologia, con elevati benefici energetici ed ambientali cui si affiancano tempi di payback compresi tra uno e due anni. Dagli studi emerge che la maggior parte degli impatti sono imputabili alla produzione delle materie prime impiegate nella manifattura.

Inoltre, fasi spesso trascurate, come la manutenzione, comportano impatti significativi (connessi principalmente alla sostituzione di elementi di ricambio). I collettori solari sono comunque caratterizzati da ampi margini di miglioramento connessi sia alla "dematerializzazione" dei manufatti (riduzione delle masse complessivamente impiegate ed eliminazione o sostituzione delle componenti con impatti maggiori) sia all'ottimizzazione della fase d'uso.

Autore	Caratteristiche degli impianti solari		Superficie [m²]	Massa [kg]	Embodied energy [GJ_{Prim}]	Energy Payback [anni]	Emissioni [$kg_{CO2\ eq}$]	CO_2 Payback [anni]
[11]	A.1	Collettori piani con accumulo separato	6,15	132,19	10,37	1,7 – 3,1	401	0,9 – 1,2
	A.2		5,76	109,31	5,63	1,3 2,4	250	0,7 1,0
	A.3	Collettore a tubi vuoti con accumulo separato	5	120,16	3,022	1,2 – 2,1	174	0,7 – 1
	Altre componenti	Accumulo, tubi, pompa, scambiatore calore ecc.	-	286,54	6,6	-	259	-
[12]	Impianto a circolazione naturale con collettori piani e serbatoio integrato		2,13	187	11,5	2	721	2
[13]	Collettore solare con accumulo di 150 l		1,8	86,04	-	-	381	< 1
[14]	Analisi energetica basata su un modello Input Output ibrido		-	-	-	0,5 2	-	-
[15]	Vari collettori a circolazione naturale		2 – 6	-	-	-	-	1,6 – 5
[16]	Confronto tra 12 tipologie differenti di impianti con collettori solari.		3,2 – 5,5	-	10 – 18	1,4 – 2,4	-	-

Tab. 1 Risultati di studi di LCA applicati a varie tipologie di impianti solari

Tab. 1 - Risultati di studi di LCA applicati a varie tipologie di impianti solari

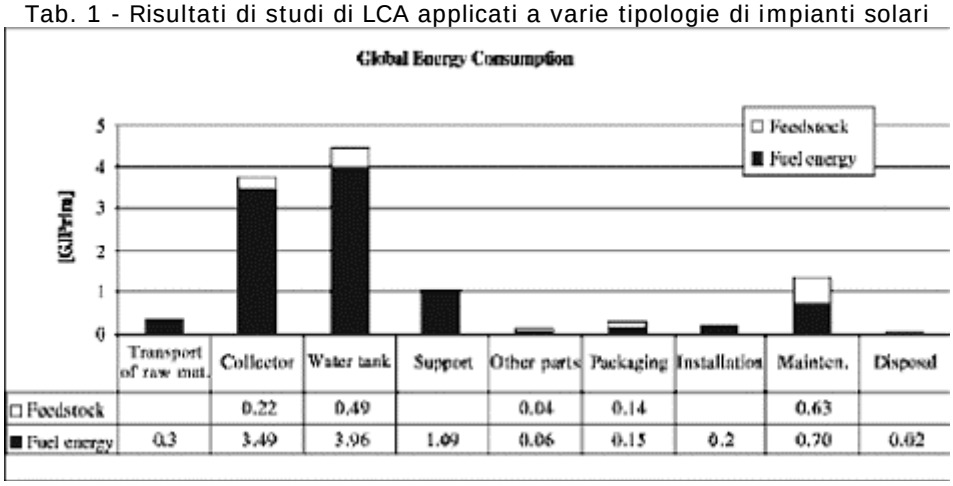

Fig. 10 – GER – "Global Energy Consumption". Dettaglio delle fasi della LCA

Collettori solari fotovoltaici

L'utilizzo dei collettori fotovoltaici (PV) per la produzione di elettricità è una tecnologia matura ma ancora caratterizzata da bassi valori di efficienza degli impianti ed elevati costi di produzione. A questi costi devono anche essere sommati i "costi energetici ed ambientali", che rendono questa tecnologia meno competitiva rispetto ad altri impianti per le RES.

Sono analizzate quattro tipologie differenti di collettori PV (wafer in silicio monocristallino e multicristallino, PV in nastri, e moduli in CdTe). Dal confronto emerge che le emissioni specifiche di ciclo di vita dei collettori PV variano significativamente in base al tipo di tecnologia, al mix energetico del paese di produzione, ed inoltre al livello di insolazione della località di installazione.

Ad esempio i wafer monocristallini hanno prestazioni specifiche che variano da 39 gCO2/kWh a 49 gCO2/kWh, mentre i moduli in CdTe hanno emissioni specifiche che variano da 15 gCO2/kWh a 21 gCO2/kWh. Ciò testimonia le grandi prospettive di sviluppo e diffusione di questi collettori che, sebbene siano caratterizzati da un'efficienza molto bassa e non superiore al 9%, hanno complessivamente prestazioni ambientali migliori.

Le tecnologie fotovoltaiche sono inoltre caratterizzate da elevati margini di miglioramento, con un'intensa attività di ricerca finalizzata soprattutto alla diminuzione dello spessore dei wafer ed all'aumento dell'efficienza dei moduli. Si prospetta di arrivare a dimezzare gli spessori dei wafer in silicio multicristallino nei prossimi 5 anni, e di incrementare entro il 2010 l'efficienza dei moduli in CdTe dal 9% attuale al 12%. Secondo questa ultima ipotesi, i moduli in CdTe saranno caratterizzati da emissioni specifiche pari a 11 gCO2/kWh, rendendo tali moduli estremamente competitivi rispetto ad altre tecnologie surrogabili.

Impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica

L'energia del vento è generalmente utilizzata mediante l'impiego di macchine eoliche in grado di trasformare l'energia cinetica in energia meccanica di rotazione, utilizzabile sia per l'azionamento diretto di macchine operatrici che per la produzione di energia elettrica.

Nell'ultimo decennio si è assistito ad un notevole aumento del numero di impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica. Nel 2008 era installata in Europa una potenza complessiva di 65.933 MW; l'Italia con i suoi 3.736 MW installati rappresenta il terzo produttore in Europa.
Parallelamente a tale sviluppo industriale, sono stati realizzati numerosi studi inerenti alle prestazioni energetiche ed ambientali di diverse tipologie di "wind farm". Tale indagine classifica i casi studio secondo tre indicatori: l' "energy intensity", la "CO2 intentity", ed il fattore di carico (load factor). Dallo studio è emerso che:

- i valori dell'"energy intensity" variano da 0,014 kWh/kWhel ad 1 kWh/kWhel;
- i valori della "CO2 intensity" variano da 7.9 gCO2eq/kWhel a 123.7 gCO2eq /kWhel;
- i fattori di carico variano dal 6% al 50.4%.

Questi "range di variazione" così sensibilmente diversi sono imputabili a:

- la dimensione degli impianti, con prestazioni migliori per impianti di grossa taglia;
- la velocità media e la frequenza del vento per la località selezionata;
- ipotesi anche molto differenti nello svolgimento delle LCA, inclusi i diversi confini del sistema, regole di cut off e dati bibliografici;
- diverse ipotesi per la vita utile degli impianti.
-

Dallo studio è inoltre emerso che i valori degli indicatori di payback sono molto bassi (minori di un anno) anche nell'ipotesi di ridotti valori della produzione elettrica dell'impianto.

Impianti idroelettrici

Gli impianti idroelettrici rappresentano a livello mondiale la tecnologia per lo sfruttamento delle RES maggiormente consolidata e matura. Tali impianti sono largamente diffusi in vari Paesi ed il loro output energetico incide in modo significativo sulle prestazioni dei mix energetici nazionali.

Gli impianti idroelettrici, specie quelli dotati di bacino di riserva, presentano alcuni aspetti peculiari quali l'elevata flessibilità (con la possibilità di modificare rapidamente il deflusso idrico e la conseguente produzione elettrica) e la multi funzionalità degli impianti, utilizzati anche per l'accumulo di acqua e per il controllo delle piene. Gli impianti idroelettrici sono inoltre caratterizzati da basse emissioni per kWh di energia prodotta.

Nonostante gli elevati consumi di materie prime per la realizzazione delle infrastrutture, la vita utile elevata, i ridotti consumi in fase d'uso e l'elevata producibilità comportano impatti specifici molto bassi. Da un'indagine dei dati in letteratura risulta che gli impianti idroelettrici sono caratterizzati da emissioni per kWh che variano da pochi grammi a 20 gCO2eq/kWh, e con valori di Return Ratio compresi tra 50 e 250. L'elevata variabilità è correlata ai parametri meteoclimatici, alla vita utile ed alle condizioni di funzionamento

Confronti e conclusioni

Ecoprofilo dell'elettricità prodotta mediante varie tecnologie

Di seguito è presentato un sintetico confronto degli eco profili dell'elettricità prodotta mediante varie tecnologie, basate sull'uso sia di fonti energetiche convenzionali che RES. Tra gli ecoprofili presentati è incluso anche il caso studio della fissione nucleare. Questa tecnologia, sebbene non rinnovabile, è considerata come una interessante opzione per ridurre le emissioni di gas serra.

L'UE ha constatato che "le preoccupazioni per il riscaldamento climatico hanno modificato le percezioni dei vincoli di approvvigionamento energetico e che la questione è particolarmente acuta per il nucleare che come fonte di produzione elettrica consente, insieme alle energie rinnovabili e all'efficienza energetica, di evitare le emissioni dei gas ad effetto serra derivanti dal consumo di combustibili fossili". Occorre però valutare gli impianti per la fissione nucleare in riferimento a diversi parametri, primi fra tutti rischio e sicurezza, oltre che confrontare le prestazioni della tecnologia from cradle to grave con quelle di altre surrogabili.

Un esempio di LCA applicata all'elettricità prodotta da centrale nucleare stima un impatto specifico di 8,5 gCO_2, eq/kWh. Per ciò che concerne le emissioni di gas climalteranti, le fasi maggiormente impattanti sono la produzione del combustibile fissile e la realizzazione degli impianti e delle infrastrutture. È stata comunque constata in letteratura una forte variabilità di tali dati (con emissioni specifiche anche pari a 80 gCO_2, eq/kWh), associate anche alle tecnologie utilizzate. In particolare, il processo di arricchimento può avvenire in modo differente (per diffusione o centrifugazione), con elevate variazioni dei consumi di energia elettrica.
Altri fattori determinanti per le prestazioni complessive degli impianti sono il grado di concentrazione dell'uranio nei minerali estratti ed il mix energetico delle nazioni di appartenenza. In merito alla fissione nucleare occorre inoltre tener presente la scarsa flessibilità degli impianti e la limitatezza delle riserve di uranio, che configurano la tecnologia nucleare come non rinnovabile. L'attuale ricerca mira, grazie alla rigenerazione delle scorie, ad allungare la vita utile del combustibile fissile.

Conclusioni

Allo stato attuale di sviluppo tecnologico, lo sfruttamento delle RES, insieme al miglioramento dell'efficienza dei sistemi energetici, rappresentano il principale strumento per l'affrancamento dalla dipendenza delle fonti fossili e per la lotta ai problemi di inquinamento globale.

Anche la fissione nucleare, per quanto caratterizzata da bassi valori di alcuni indicatori specifici (quale ad esempio le emissioni di CO_2eq. per kWh di elettricità prodotta),non può considerarsi una risposta sostenibile a causa della limitatezza delle riserve di uranio. La fissione può comunque rappresentare una risposta momentanea, nel processo di transizione verso tecnologie future pienamente sostenibili, quali la fusione nucleare.
Gli impianti per lo sfruttamento delle RES, così come gli impianti nucleari attuali, sono comunque caratterizzati da impatti di ciclo di vita significativi. Inoltre tali impianti sono caratterizzati da una scarsa flessibilità, e da una producibilità strettamente variabile con fenomeni non controllabili, come ad esempio nel caso delle tecnologie solari ed eoliche dipendenti dai parametri meteo climatici. Occorre in tal senso investire nello studio e nella ricerca di soluzioni progettuali migliorative, che mirino a dematerializzare gli impianti, sostituire i componenti con impatti maggiori, aumentare l'efficienza di conversione energetica, incrementare la durabilità e migliorare la riciclabilità e la gestione nel fine vita.

Un caso Studio: Col de la Seigne

È stato valutato, in un'ottica di tipo LCA, il "mix energetico" ottenibile sfruttando diversi impianti ad energia rinnovabile per alimentare una casermetta del Col de la Seigne, nel territorio del Monte Bianco, a 2365 mt s.l.m., edificio di proprietà della Regione Autonoma Valle d'Aosta.

Basandosi su una serie di simulazioni idonee a confrontare le diverse alternative possibili sono emerse le seguenti considerazioni:

- l'analisi di tipo LCA sviluppata riferendosi alla produzione di 1 kWh, considerando i tre impianti in condizioni nominali di funzionamento, dimostra che la soluzione di generazione idroelettrica è da preferire per via dei ridotti consumi energetici e impatto ambientale. È inoltre possibile notare che l'utilizzo delle tecnologie "rinnovabili" risulta in ogni caso meno invasivo, per gli indicatori presi in esame, rispetto allo sfruttamento di un gruppo elettrogeno alimentato con combustibili tradizionali;
- valutando l'apporto dei tre impianti, per mezzo di indicatori energetici ed ambientali, si è riscontrato che le prestazioni energetiche (kWh totali prodotti) nell'intero ciclo vita dell'impianto eolico risultano molto inferiori rispetto alle altre due tipologie di impianto.

E' stata così definita una soluzione impiantistica costituita da un impianto IBRIDO fotovoltaico stand-alone e micro-idroelettrico, accoppiato ad un sistema di accumulo.

L'energia prodotta mediante l'impianto fotovoltaico, in base ai dati relativi alle prestazioni previste è stata stimata in 839 kWh/anno; da tale informazione, ipotizzando una vita utile dell'impianto pari a 25 anni, si può ipotizzare che l'energia prodotta durante l'intera vita produttiva sia pari a circa 20,97 MWh (75,51 GJ). L'installazione è composta da 21 moduli con celle in silicio policristallino, aventi una potenza di 75 Wp cadauno ed una superficie complessiva di 10,11 m2. La gestione del fine vita dell'impianto fotovoltaico risulta particolarmente complessa da affrontare, tuttavia, tra le diverse attività possibili, quella maggiormente praticabile appare essere il riciclo finalizzato al recupero.

L'energia prodotta utilizzando l'impianto idroelettrico può essere determinata considerando che la potenza associata alla turbina è pari a 1330 W e che lo sfruttamento è di 24 ore al giorno; in questo modo la produzione giornaliera è di 31,92 kWh/d. Ipotizzando una vita utile dell'impianto di 25 anni, è possibile stimare che l'energia prodotta durante l'intera vita produttiva sia pari a circa 291 MWh (1.048 GJ). L'impianto è costituito da un'opera di presa con desabbiatore (realizzata mediante una vasca in acciaio rivestita in cemento) posta nel vicino ruscello e da una condotta forzata (polietilene) che alimenta una turbina Pelton (portata=3 litri al secondo; salto=75 metri).

Dal punto di vista della gestione del fine vita, gli elementi strutturali sono realizzati in gran parte da alluminio, acciaio e materie plastiche (HDPE e PVC), recuperabili tramite le tradizionali filiere.
In merito all'eco-compatibilità dei materiali edilizi, la progettazione si è avvalsa della metodologia EPM (Environmental Preference Method). L'EPM, largamente diffuso nel settore della bio-edilizia, è uno strumento che permette di confrontare i diversi materiali per l'edilizia, attualmente sul mercato, in un'ottica di impatto ambientale ad essi associato. Lo stesso approccio è stato tra l'altro utilizzato dal TOROC (Organizing Committee XX Olympic Winter Games) per lo sviluppo di un sistema di valutazione dell'Eco-compatibilità delle Opere Temporanee previste per lo svolgimento dei XX Giochi Olimpici Invernali di Torino 2006.
Un'ultima considerazione va agli apporti termici, ottenuti da collettori solari integrati al tetto su una superficie di 18mq. L'impianto è abbinato ad una distribuzione di calore a pannelli radianti annegati nel pavimento. Su tale soluzione, che adotta le comuni tecnologie applicative, non ci si sofferma nell'approfondimento tecnico.
Considerate le caratteristiche descritte, l'impianto energetico attuato al Col de la Seigne può indubbiamente essere considerato come impianto-pilota riproponibile per altre strutture simili.

Bibliografia

- Norme UNI EN ISO 14040, UNI EN ISO 14041, UNI EN ISO 14042
- Convegno scientifico Rete Italiana LCA –giugno 2009, LCA APPLICATA ALLE TECNOLOGIE ALIMENTATE DA FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA - Maurizio Cellura, Fulvio Ardente, Sonia Longo, - Università di Palermo, Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali
- Life cycle assessment di scenari alternativi per il trattamento della Forsu - Giovanni Andrea Blengini, Morris Fantoni – Politecnico di Torino, Torino (Ecomondo 2009)

- Integrazione di modelli economici e ambientali nella Life Cycle Sustainability Analysis - Paolo Masoni , Alessandra Zamagni – ENEA, Centro Ricerche E. Clementel, Bologna, ENEA, Centro Ricerche E. Clementel, Bologna, dottoranda presso il Dipartimento Scienze, Università G. D'Annunzio, Andrea Raggi – Dipartimento Scienze Aziendali, Statistiche, Tecnologiche e Ambientali Università G. D'Annunzio (Ecomondo 2009)
- Andrea de Lieto Vollaro, La valutazione del ciclo di vita (LCA) e le sue applicazioni alla gestione dei rifiuti, anno 2004, Università di Roma
- La Casermetta del Col de la Seigne - Sostenibilità d'alta quota (sito http://www.rinnovabili.it/sostenibilita-dalta-quota-100002)