

Progettare nel rispetto dell'ambiente

Molteplici sono le direttive europee (ELV, WEEE, RoHS ed EuP) che intendono regolare il ciclo di vita dei prodotti e dei processi al fine di ridurre/eliminare le emissioni inquinanti. Nel tentativo di frenare il depauperamento delle risorse primarie (materiali ed energetiche) sono state sviluppate varie tecniche d'analisi quali la "Life Cycle Assessment" (Iso 14040) e le "Linee Guida Ambientali". Questi strumenti tuttavia, ancorché applicati a un semplice prodotto/processo, comportano tempi e costi d'impiego spesso non compatibili con la piccola e media impresa. Per superare questi problemi e sviluppare prodotti/processi aventi un eco-profilo sempre migliore è stata messa a punto una metodologia innovativa che consente di elaborare le informazioni ambientali all'interno di una piattaforma CAD. La progettazione meccanica orientata a ottenere prodotti e processi a elevato profilo ambientale nasce dalla consapevolezza di non poter sfruttare all'infinito le risorse ambientali (la terra è pur sempre un sistema chiuso) e dalla necessità di diminuire le emissioni inquinanti. Questo approccio è sintetizzabile nel concetto di "Sviluppo sostenibile" definibile come: «lo sviluppo che soddisfa le esigenze del presente senza compromettere la possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni» (Rapporto Burtland - WCED, 1987). Le condizioni generali di sostenibilità concernenti l'uso delle risorse naturali sono tre: (1) il tasso di utilizzazione delle risorse rinnovabili

non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione, (2) l'immissione di sostanze inquinanti e di scorie nell'ambiente non deve superare la capacità di carico dell'ambiente stesso e (3) lo stock di risorse non rinnovabili deve restare costante nel tempo.

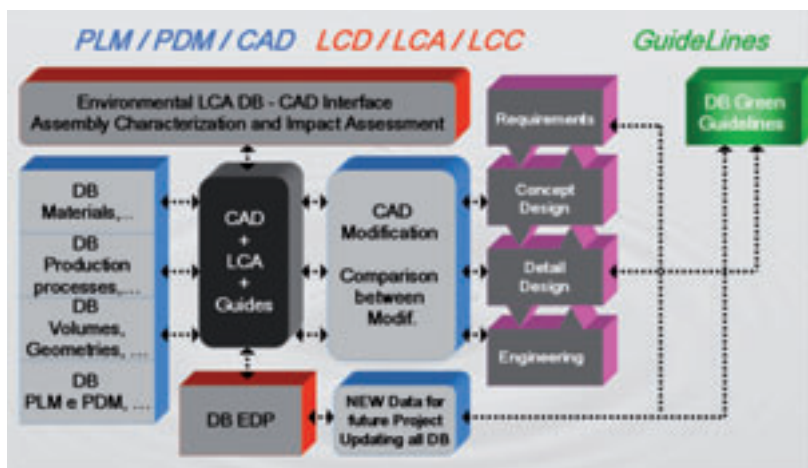
Da questi presupposti discende la definizione di progettazione ecocompatibile, detta EcoDesign: un approccio sistematico alla progettazione integrata e simultanea di prodotti e dei processi loro collegati, compresa la produzione e il supporto. Approccio questo, inteso a fare in modo che i progettisti considerino tutti gli elementi del ciclo di vita del prodotto, dalla sua concezione fino allo smaltimento, includendo qualità, costi, pianificazione e specifiche del cliente (Winner et al., 1988).

Grazie a una visione del processo produttivo che oltrepassa le soglie dello stabilimento, al giorno d'oggi è possibile coniugare l'innovazione del prodotto con la necessità di ridurre sprechi energetici e costi di smaltimento dei rifiuti industriali. La leadership ambientale e lo sviluppo delle imprese vanno di pari passo: l'efficienza ecologica fa molto di più che portare un'impresa al punto in cui i benefici ambientali si equivalgono ai costi.

Metodologie per lo sviluppo sostenibile

Il punto di partenza di tutti i nuovi approcci produttivi europei è l'Integrated Product

Conoscere e prevenire gli impatti ambientali è una necessità sempre più evidente per le imprese. Per sviluppare prodotti/processi con un eco-profilo migliore è stata messa a punto una metodologia che consente di elaborare le informazioni ambientali attraverso una piattaforma CAD



I. Schema d'interazione tra i dati, gli strumenti CAE e le metodologie di EcoDesign.

Policy (IPP); per contrastare gli effetti negativi dell'odierna produzione industriale, l'IPP intende stimolare lo sviluppo di nuovi e più efficienti strumenti d'eco-progettazione, in quanto:

- la Life Cycle Assessment (LCA) è spesso lunga e complicata [1], poiché copre tutte le aree produttive dall'estrazione di risorse naturali, alla loro progettazione, produzione, distribuzione, vendita, uso e riconversione. Simultaneamente coinvolge anche molti attori quali progettisti, industria, pubblicità, rivenditori al dettaglio e consumatori;
- con così tanti soggetti e prodotti coinvolti non esistono delle politiche semplici ed adatte ad ogni situazione [2].

Al contrario, esiste una varietà notevole di strumenti, obbligatori e volontari, utilizzabili per perseguire questo scopo (divieti d'impiego di sostanze nocive, accordi volontari per l'etichettatura ambientale, linee guida di progettazione, ...). Le metodologie di Eco-Design, attualmente diffuse da molteplici centri di ricerca, si basano sostanzialmente sulla possibilità di predire i futuri impatti ambientali e formulare valide alternative progettuali [3]. Tali alternative devono perseguire, durante tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, i seguenti obiettivi:

- massimizzazione dell'utilizzo delle risorse,
- minimizzazione dei danni ambientali,
- ottimizzazione del sistema di produzione e armonizzazione tra le proprietà richieste (funzionalità, qualità, affidabilità, estetica, e-

conomicità). Il tentativo di soddisfare i requisiti sopraesposti produce innumerevoli problemi progettuali, in particolare nell'elaborazione sistematica del prodotto industriale (Life Cycle Design), e richiedono d'essere affrontati mediante un approccio multidisciplinare. In aggiunta, per dimostrata evidenza scientifica, i requisiti ambientali devono essere considerati sin dalla fase d'ideazione affinché siano efficaci e poco costosi da implementare.

Ridurre gli impatti a parità di prestazioni (meccaniche, reologiche, di sicurezza, durata, ...) e ottimizzare il processo produttivo è dunque uno degli scopi dell'EcoDesign. La "Legge delle 3 R - Ridurre, Riutilizzare, Riciclare" è una delle più note strategie d'Eco-Design: consumi energetici e impiego di materiali devono essere ridotti durante le fasi di produzione e uso e le risorse devono essere riutilizzate (senza eccessive operazioni di trasformazione) o riciclate a fine vita. Per far questo, possiamo:

- passare da un prodotto/bene a un prodotto/funzione, ovvero dematerializzare il prodotto, condividere i beni ed integrare le funzioni,
- agire sui componenti, ovvero scegliere i materiali a minor impatto e ridurne le quantità, e agire sulla struttura (modularità) per ridurre il carico ambientale in fase di produzione, uso e dismissione.

Le tecniche essenziali per l'ottimizzazione dell'eco-profilo sono basate sulle Linee Guida Ambientali (Green Guidelines); esse consentono di individuare rapidamente nuove

configurazioni di prodotto a minor impatto, fornendo ai progettisti esempi immediati e pregnanti. Al contrario, la tecnica più usata nelle valutazioni ambientali è l'LCA che rimane onerosa nei tempi, complessa e soggetta ad assunzioni pur dando eccellenti indicazioni degli impatti. Le metodologie di Eco-Design (Design for Environment - DfE tools) compiono una sintesi proficua dei due strumenti menzionati, minimizzando gli effetti dannosi sull'ambiente dei futuri prodotti; tuttavia, agendo prevalentemente durante le fasi di Concept e Detail Design, hanno il limite di non poter tener conto o conoscere tutte le implicazioni produttive e d'uso del manufatto [4]. Le tecniche di EcoDesign non possono fornire analisi esaustive dei carichi ambientali, ma possiedono rapidità di studio e sono di facile integrazione nelle classiche e collaudate metodologie di progettazione [5].

La progettazione ecocompatibile

L'attuale progettazione di beni verdi avviene secondo i seguenti passi:

1. Si conduce un'analisi degli impatti ambientali del prodotto.
Problema 1: complessità, tempi e costi di una LCA.
2. Si individuano gli interventi di riprogettazione.
a) Problema 2: esperienza tecnica nel tradurre le indicazioni fornite dal LCA in modifiche progettuali.
b) Problema 3: probabilità di spostare l'impatto ambientale a monte o a valle delle modifiche.
3. Si valida tramite un LCA semplificata il risultato degli interventi di riprogettazione.
a) Problema 4: nuovi costi.

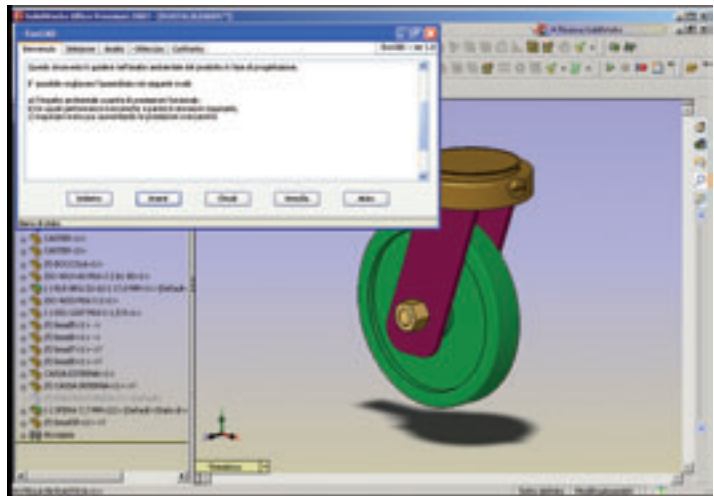
Lo strumento software EcoCAD è la naturale conseguenza e sviluppo dell'approccio metodologico presentato. Sfruttando l'interfaccia e i sempre più numerosi strumenti disponibili in un moderno CAD commerciale, EcoCAD intende guidare l'ottimizzazione di un comune prodotto a livello strutturale/produttivo (CAE, FEM, CAM) e ambientale (LCA, Green Guidelines) [6].

EcoCAD è costituito (figura 1) da tre componenti base:

1. Product Data Management (PDM) e Data Base (DB) dove sono immagazzinate le informazioni per la progettazione del componente meccanico;
2. Piattaforma CAD, CAE e CAM, usata per creare e gestire le informazioni geometriche/matematiche dei componenti in via di sviluppo;
3. LCA e Guidelines Ambientali capaci di guidare l'utente nell'affinare l'eco-profilo del prodotto.

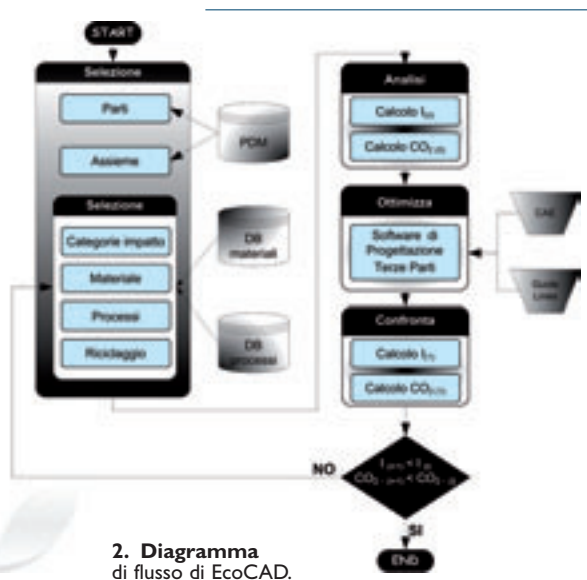
Le informazioni geometriche e di processo sono estratte automaticamente [7] dal CAD: tra queste vi sono volumi, superfici e features (fori, piegatura lamiera, saldatura...). I dati immessi dall'operatore sono i materiali [8] [9], la tipologia dei sistemi di collegamento tra le parti e i processi non diretta-

3. Maschera di benvenuto del programma EcoCAD.



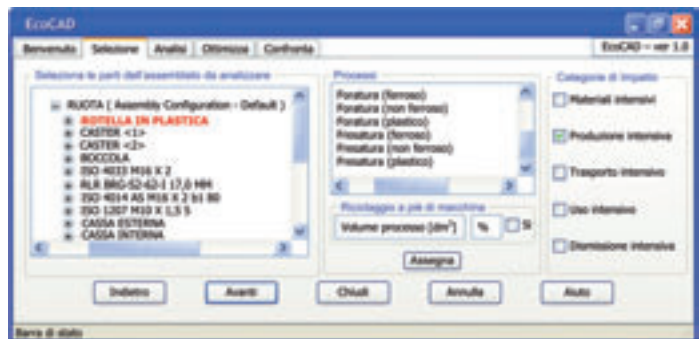
tegoria d'impatto intende revisionare tra le cinque fondamentali, ovvero prodotto a estrazione intensiva delle materie prime (apparecchiature elettroniche,...), a produzione intensiva (mobili,...), a trasporto intensivo (beni alimentari,...), a uso intensivo (veicoli per il trasporto) e dismissione intensiva (processi/sostanze pericolose, ...). Ad esempio, una

zione. In seguito, assegnando ai vari componenti i materiali ed processi produttivi [12] e utilizzando le informazioni presenti nei DB di LCA (Buwal, I-LCA, Idemat, Prè,...) il software è capace di determinare un valore d'impatto iniziale, detto I_0 . Per ogni kg di materiale vergine (acciaio, alluminio, polipropilene, ...) e/o per ogni kW d'energia di processo consumata (forgiatura, estrusione, stampaggio a iniezione), sono note le relative emissioni inquinanti. Attraverso l'EcoIndicatore (EI-99) [13] è possibile aggregare queste emissioni in un solo valore numerico, misurabile in mPt. Nel-



2. Diagramma di flusso di EcoCAD.

4. Maschera di selezione del componente e delle categorie di impatto.



mente gestiti dal CAD.

Infine, i dati forniti dal PDM, LCA e Guidelines sono:

- Bill of Material (BoM), Knowledge Base Expert (KBE), Processi;
- DB degli impatti dei materiali e della fase produttiva;
- consigli di riprogettazione [10],[11].

Flusso principale di elaborazione dei dati

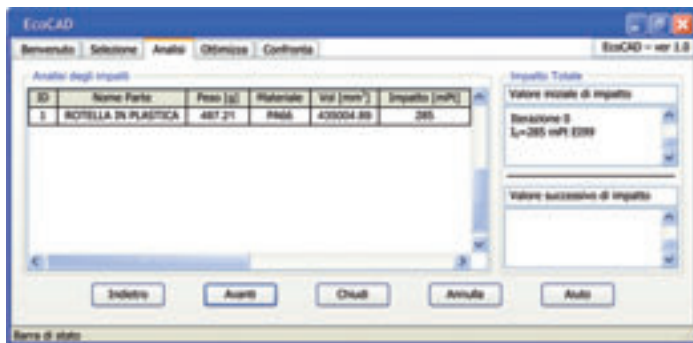
Il progettista, selezionato un assemblato o parte dei suoi componenti, sceglie quale ca-

moderna apparecchiatura elettronica (personal computer, lettore multimediale, cellulare,...) è comunemente definita a materia prima intensiva per la presenza di numerosi metalli preziosi, altamente impattanti dal punto di vista estrattivo.

Questa prima scelta permette di estrapolare dal DB delle Linee Guida Ambientali le prime contromisure atte a prevenire i relativi impatti ambientali, ancorché in fase di idea-

l'ambito di questo strumento, l'EI-99 mantiene tutta la sua validità scientifica (autoreferenzialità) anche qualora sia utilizzato per confrontare passi successivi dello "sviluppo progettuale del prodotto" [14].

L'EcoCAD (figura 2), in funzione della scelta iniziale, fornisce all'utente le appropriate guidelines di riprogettazione; a seguito delle modifiche progettuali, che possono avvenire anche con l'ausilio di pacchetti



5. Maschera riepilogo ed analisi degli impatti iniziali.

CAE/CAM, è calcolato un nuovo indice di impatto I_1 .

Se $I_1 < I_0$, allora l'impatto ambientale è diminuito; in qualunque momento, è data facoltà all'operatore di reiterare od interrompere l'analisi.

In figura 2 è possibile notare come il con-

fronto possa essere condotto anche utilizzando i grammi di anidride carbonica (Carbon Foot Print) emessi prima e dopo l'intervento progettuale correttivo. Per esporre brevemente le potenzialità del software saranno presentati due casi studio didattici ma esplicativi delle modalità d'uso del software.

prestazioni meccaniche e di processo, - migliorare le classiche performance a parità di emissioni inquinanti e inquinare meno pur aumentando le prestazioni generali. Proseguendo, si accede alla sezione "Selezione" (figura 4): a sinistra vi è l'albero che rappresenta la struttura dell'assemblato (in rosso vengono evidenziati i componenti selezionati).

A destra si hanno le cinque categorie d'impatto.

L'utente, spuntando la relativa checkbox, filtra il database degli interventi di riprogettazione ambientale (Green Guidelines). Queste sono contenute in un DataBase Server Microsoft SQL e sono inseribili e modificabili a piacere tramite una maschera secondaria (customizzazione delle linee guida).

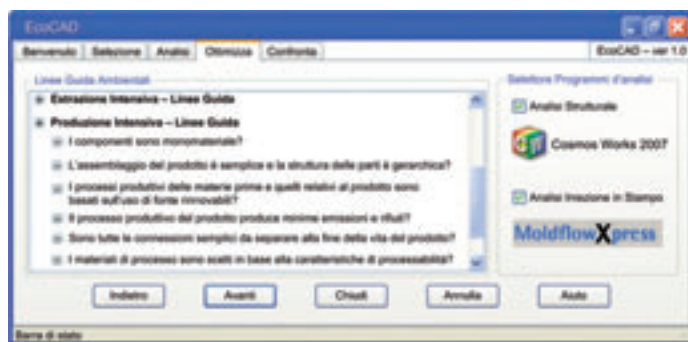
Nella sezione centrale vi è l'elenco non esaustivo dei processi produttivi e di lavorazione meccanica (molatura, foratura, saldatura, piegatura, stampaggio ad iniezione) per i quali sono noti i consumi energetici e gli impatti.

Ad ognuno dei processi può essere associato, in percentuale, un valore di riciclaggio degli sfridi di produzione (a piè di macchina e non post-consumo); maggiore sarà la percentuale di riciclaggio minore sarà l'impatto relativo al materiale vergine usato (metodo del credito).

Al passo successivo, si accede alla schermata che riassume l'Analisi in corso (figura 5): a sinistra è visualizzato l'impatto in mPt del componente, a destra il valore iniziale totale d'impatto I_0 .

Data l'unicità della selezione, il valore parziale e totale coincidono; tuttavia se la scelta delle parti fosse stata multipla l'indice I_0

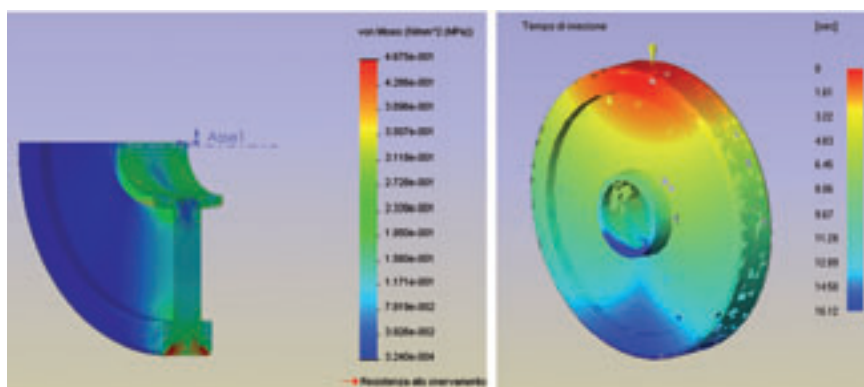
6. Sezioni per l'ottimizzazione mediante Green Guidelines e pacchetti software CAE.



caso della rotella in Nylon (PA66). Iniziamo l'analisi con il programma EcoCAD.

La maschera di benvenuto spiega come procedere nell'analisi dei componenti selezionati, ovvero passo dopo passo sarà possibile migliorare il componente nei seguenti modi: - diminuire l'impatto ambientale a parità di

7. Analisi strutturale e del processo di iniezione della rotella in poliammide.

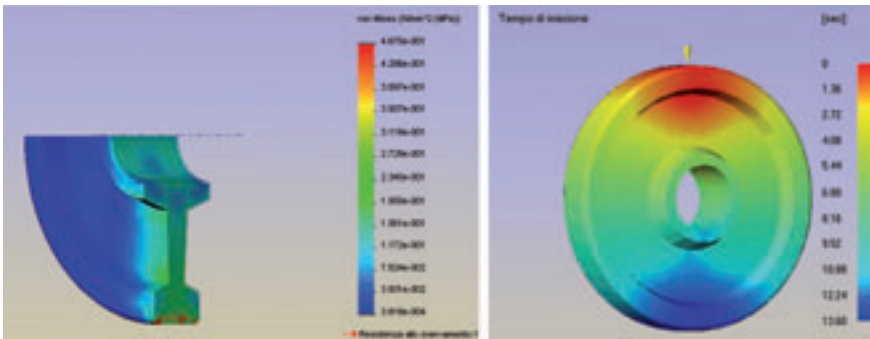


Primo caso studio: rotella piroettante

È stato analizzato il caso di una ruota pivottante Kingpinless Swivel Caster prodotta dall'americana Tandemloc INC, serie 65 (Ø rotella 169 mm, carico massimo 100 N, figura 3).

Il software EcoCAD, sviluppato in Visual Basic, gira sotto la piattaforma CAD Solidworks.

Tramite le librerie di funzioni Advanced Program Interface (API) di Solidworks è possibile determinare automaticamente i volumi



8. Sezione modificata a seguito dell'analisi strutturale e di processo.

avrebbe assunto il valore della somma algebrica degli impatti parziali. Il valore si calcola come prodotto tra la massa (487,21 g) ed impatto unitario (mPt/kg) relativo al PA66.

Gli impatti caratteristici dei vari materiali sono contenuti nei database di LCA.

La scheda successiva Ottimizza è ancora una volta divisa in due parti.

A sinistra vi sono le guidelines concernenti la fase di produzione, così come selezionate dall'utente (vedi figura 4).

A destra sono spuntati i programmi d'analisi Fem CosmosWorks 2007 e di processo MoldFlow Express per la simulazione dell'iniezione nello stampo del polimero, installati assieme al pacchetto Office di Solidworks 2007 (figura 6).

Questa fase d'ottimizzazione può avvenire indipendentemente dalla piattaforma CAD scelta. I suggerimenti delle guidelines possono essere seguiti del tutto, in parte o totalmente disattesi.

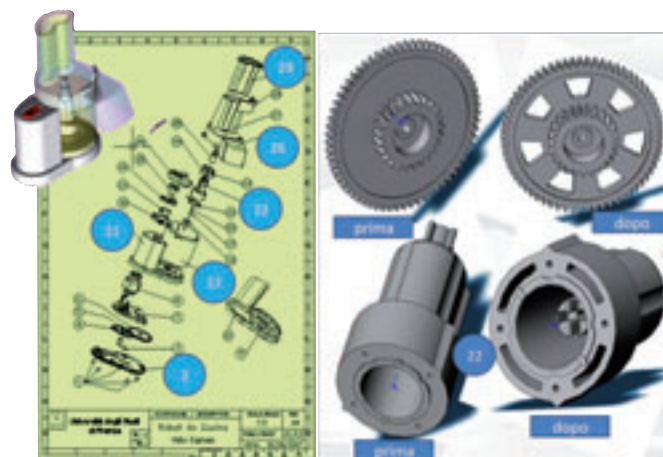
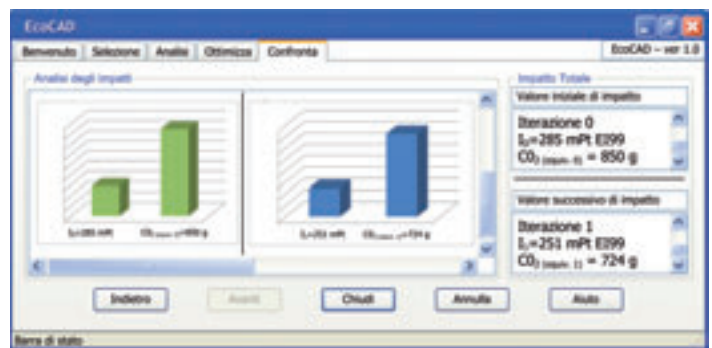
A sinistra della figura 7, è riportata l'analisi Fem della rotella, sottoposta a un carico pari a 100 N, mentre a destra l'andamento dei tempi d'iniezione.

Per aumentare le prestazioni strutturali e la stampabilità, il progettista decide di modificare il componente riducendone il diametro (da Ø 169 mm a Ø 161 mm) e variandone la sezione (raccordi maggiormente smussati tra le superfici).

Conduce nuovamente le analisi e verifica se ha ottenuto dei miglioramenti.

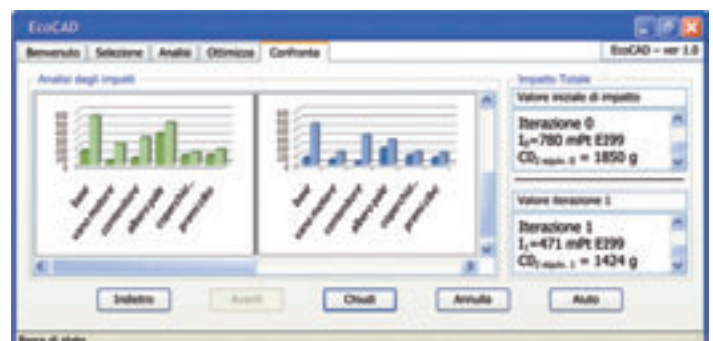
Come si può notare in figura 8, irrobustendo

9. Confronto tra valori in mPt e g di CO₂ ottenuti nel re-design virtuale.



10. Esploso del robot da cucina ed esempio di alleggerimento dell'elemento n. 22.

11. Le barre degli istogrammi più scure sono in mPt, quelle chiare in g di CO₂ equivalente.



patto quantificabile in 34 mPt ovvero pari a circa il 12% (figura 9). Ricadiamo dunque nel terzo tipo d'analisi avendo migliorato tutti gli aspetti prestazionali del componente in corso di riprogettazione.

Secondo caso studio: robot da cucina

Il secondo studio è stato condotto su un robot da cucina (interessante anche per problematiche concernenti i Weee) al fine evidenziare la rapidità di EcoCAD nell'analizzare gli impatti, ancorché virtuali.

Lo studio, analogo al precedente, è riportato in sintesi.

Sono stati scelti sei componenti in materiale polimerico e sono stati sottoposti ad una prima analisi:

- base in Abs - elemento n. 2,
- vano motore in Abs - elemento n. 11,
- contenitore in Abs - elemento n. 17,
- albero pale con ingranaggio in Pom - elemento n. 22,
- coperchio contenitore in Abs - elemento n. 26 e premi cibo in Abs - elemento n. 29.

Considerando i volumi, i materiali e il comune processo produttivo (stampaggio ad iniezione) è stato calcolato un valore I_0 pari a 780 mPt.

Per ridurre l'impatto complessivo in fase di produzione, si è reso necessario effettuare delle modifiche; ben poche sono state le possibilità di ridurre i volumi, a eccezione dell'alleggerimento dell'albero pale con ingranaggio (figura 10, a destra) ed è stato sostituito tutto l'Abs con un Pet riciclato.

Il nuovo indice I_1 pari a 471 mPt (figura 11) è risultato minore confermando la bontà dell'intervento virtuale di re-design ambientale. Adottando EcoCAD nel processo ordinario di sviluppo-prodotto strumenti di questo genere, si possono con semplicità documentare gli sforzi e i passi compiuti per migliorare l'eco-profilo del manufatto; requisito questo basilare per dimostrare agli occhi della Comunità Europea la volontà di ottemperare alle direttive ambientali. Inoltre, EcoCAD consente di salvare e mantenere quelle informazioni utili a procedere alla certificazione ambientale di prodotto (EcoLabel) e di gestione aziendale (Emas e Iso 14000), abbattendone i relativi costi e tempi.

Bibliografia

- [1] G. Rebitzer, T. Ekvallb, R. Frischknecht, D. Hunkelerd, G. Norrise, T. Rydbergf, W. P. Schmidtg, S. Suhh, B.P. Weidemai, D.W. Penningtonf, "Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications", *Journal of Environment International*, vol. 30, pp. 701 – 720 (2004).
- [2] T. Roche, E. Camardiel, *Environmental advisor tool to support green design*, CIM-RU, National University of Ireland, Galway, Ireland (1999).
- [3] S. Leibrecht, *Ecologicad: User Manual*, www.leibrecht.org (2004).
- [4] M.D. Bovea, A. Gallardo, "The influence of impact assessment methods on materials selection for eco-design", *Journal of Materials and Design*, vol. 27, Issue 3, pp. 209-215 (2006).
- [5] J. Jeswiet, M. Hauschild, "EcoDesign and future environmental impacts", *Journal of Materials and Design*, vol. 26, pp. 629 – 634 (2005).
- [6] P.H. Nielsen, H. Wenzel, "Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment", *Journal of Cleaner Production*, vol. 10, pp. 247-257 (2002).
- [7] G. Yuan, Y. Tseng, "A modular modelling approach by integrating feature recognition and feature – based design", *Computers in Industry*, Volume 39, pp. 113 – 125 (1999).
- [8] R.W Chen, D. Navin-Chandra, I. Nair, F. Prinz, I.L. Wadehra, "An approach for Material Selection that Integrates Mechanical Design and Life Cycle Environmental Burdens", *IEEE*, pp. 68 – 74 (1995).
- [9] K. Ishii, C.F. Eubanks, P. Di Marco, "Design for Product Retirement and Material Life - Cycle", *Journal of Material and Design*, vol. 8, pp. 1 – 10, (2006).
- [10] C. H. Wu, G. K. Myoung, "Modelling of part-mating Strategies for Automating Assembly Operations for Robot, IEEE Transaction on systems, man and cybernatics", Volume 24, pp. 1065 – 1074, (1994).
- [11] W. Wolfgang, R. Züst, *Ecodesign Pilot*, Kluwer Academic Publisher (2001).
- [12] L. Howard, H. Lewis, "The development of a database system to optimize manufacturing processes during design", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 134, pp.374 –382 (2003).
- [13] M. Goedkoop, R. Spriensma, *The ecoindicator'99: a damage oriented method for life cycle impact assessment: methodology report*, Pré Consultants BV, Amersfoort, The Netherlands (2000).
- [14] J.P. Hao, Y.L. Yu, Q. Xue, "A maintainability analysis visualization system and its development under the AutoCAD environment", *Journal of Material Processing Technology*, vol. 129, pp.277 - 282 (2002).

Conclusioni

Per realizzare un "prodotto verde" è necessario considerare, già in fase di ideazione, alcuni parametri ambientali, quali quantità e qualità delle emissioni inquinanti dei materiali e dei processi produttivi che si intendono utilizzare.

Questo strumento è l'effettiva trasposizione software del tipico approccio metodologico per progettare beni di consumo eco-compatibili e può essere convenientemente impiegato qualora si vogliano sviluppare manufatti con determinati requisiti ambientali. EcoCAD è un software concepito per affiancare e non sostituire metodologie complesse e spe-

rimentate quali l'LCA.

Esso si rivolge in particolar modo alla fase di progettazione e produzione (approccio from Cradle to Gate) ma si presta a valutare anche le rimanenti fasi del ciclo di vita, laddove sia possibile reperire ulteriori informazioni.

F. Cappelli, P. Citti, M. Delogu, M. Pierini,
Dipartimento di Meccanica e Tecnologie
Industriali, Università degli Studi di Firenze,
federico.cappelli@unifi.it,
paolo.citti@unifi.it, massimo.delogu@unifi.it,
marco.pierini@unifi.it