Indice

In	trod	uzione	1
1	\mathbf{PL}	M - Il ciclo di vita del prodotto	2
	1.1	La sostenibilità	6
2	L'e	conomia circolare	16
	2.1	Un passo indietro – L'economia lineare	16
	2.2	La chiusura dei cicli	19
	2.3	I 4 blocchi della CE	21
	2.4	Opportunità e Minacce	23
	2.5	CE in manufacturing Systems	28
	2.6	Esempi applicativi di CE	31
3	La	Progettazione Modulare	34
	3.1	L'architettura Modulare (MAP)	34
	3.2	I principi dell' Architettura modulare	39
	3.3	Esempi di Architettura modulare	50
	3.4	I vantaggi dell'architettura modulare	54
4	La	scelta dei materiali	57
	4.1	Linee guida e approccio consigliato	57
	4.2	Indicatore di durata del materiale	65
5	Cas	so Studio	68
	5.1	Prodotti End of Use	68
	5.2	Riconfigurazione Hard Disk	69
	5.3	Miglioramento caratteristiche di Design	72
6	Cor	nclusioni	76

Elenco delle figure

PLM -	· Il ciclo di vita del prodotto	2
1.1	Ciclo di vita del prodotto lato economico	2
1.2	Ciclo di vita del prodotto lato processo	4
1.3	Planetary Boundries	11
1.4	I 17 goals delle Nazioni Unite	12
L'econ	omia circolare	16
2.1	Economia Lineare	17
2.2	La chiusura dei cicli	20
2.3	NaturaSì	31
2.4	IKEA	31
2.5	Patagonia	32
2.6	Lavazza	32
2.7	Barilla	33
La Pro	ogettazione Modulare	34
3.1	MAP Funzionali	36
3.2	Varietà funzionali MAP	37
3.3	Classificazione dei principi dell'architettura modulare	55
La sce	lta dei materiali	57
4.1	Scheda profilo di un materiale MATto con prestazioni ambien-	
	tali e sensoriali	64

- 1	
5.1	Principali componenti di un Hard Disk
5.2	Matrice struttura di progettazione
5.3	Matrice di transizione HDD
5.4	Utensili per le operazioni, tempi e costi
5.5	Componenti e relativo peso HDD
5.6	HDD Secondary Market
5.7	Analisi di Pareto
5.8	Rivestimento moduli EOU
5.9	Analisi di Pareto 2
5.10	Spindle motor (G) fissato al Frame (H)

Introduzione

In questa tesi viene affrontato in modo esteso il concetto del ciclo di vita del prodotto. Questo, inteso più che altro sotto il profilo del processo. Ovvero, la domanda principale a cui cerca di rispondere la tesi è: "Quale sarà la tendenza dei prodotti che svilupperemo nel prossimo futuro?". Tendenza significa comprendere come e quale sarà l'architettura che questi prodotti avranno al fine di soddisfare requisiti, ad esempio, di durabilità, resistenza ma soprattutto di sostenibilità.

La sostenibilità, perciò, ricoprirà uno spazio ampio ed esaminerà gli aspetti storici ma anche quelli legati alla scelta corretta del materiale. Per questo, esistono delle vere e proprie linee guida, oltre ad un indice di durata (MDI), che si connettono a ciò che vogliamo produrre e, come ausilio al progettista, si trovano database che raccolgono una serie di informazioni utili come durabilità, impronta eco-ambientale, manutenzione ed altri particolare parametri.

Se quello che producevamo prima era lineare (*Prendi*, *Produci*, *Butta*), il nuovo paradigma sarà quello di perseguire gli obiettivi prefissati dall'economia circolare. Bisogna pensare ad una nuova progettazione del prodotto e, lo spunto di riflessione che offre questa tesi, è rivolto all'architettura modulare (MAP) in cui più moduli, intercambiabili tra loro, costituiscono un prodotto finito. Saranno mostrati i diversi principi della MAP e i vantaggi a cui portano.

In ultimo, un caso studio riguardante il disassemblaggio di un materiale a fine utilizzo (End Of Use). Quindi, viene mostrata l'analisi ed una soluzione da prendere in considerazione nel caso di disassemblaggio di un Hard Disk.

Parole chiave — PLM, Architettura Modulare, Economia Circolare, Caso Studio

Capitolo 1

PLM - Il ciclo di vita del prodotto

Quando pensiamo ad un prodotto spesso ci soffermiamo solo sul prodotto finito. Pertanto quello che si tende a trascurare è tutto il processo che gli ha permesso di arrivare in quello stato.

Tale processo è formato da fasi e, da un punto di vista di sviluppo del prodotto, ne è sottointesa una primordiale che funge da incubatore capace di accogliere le idee più creative. Questa è, appunto, l'immaginazione. [1] Facendo una distinzione tra l'aspetto economico del prodotto e quello del processo (materia prima, utilizzo, trasporto, riciclo) che ha reso quel prodotto tale allora, nel primo caso, le 4 fasi del ciclo di vita sono così definite: [2]

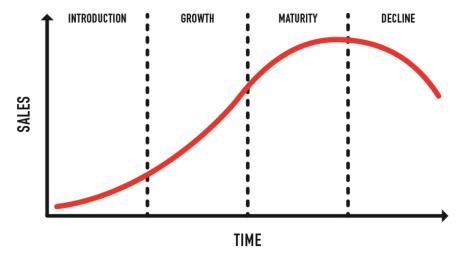


Figura 1.1: Ciclo di vita del prodotto lato economico Fonte: Product Life Cycle Management - Wikimedia Commons

- 1. Si parte dalla fase di introduzione che ha inizio con il lancio del prodotto. Essa si caratterizza per una lenta crescita delle vendite dovuta a una domanda inesistente che deve essere ancora creata dall'azienda. Generalmente, in questa fase del ciclo di vita del prodotto, si registrano perdite per l'impresa: a fronte di entrate iniziali modeste, infatti, vi sono spese di entità elevata per sostenere le attività di commercializzazione e promozione necessarie a favorire la penetrazione del nuovo prodotto sul mercato.
- 2. Quando la domanda comincia a crescere rapidamente ed entrano nuovi produttori nel mercato, facendo diminuire i prezzi, il prodotto entra nella fase di sviluppo/crescita.
 - In questo stadio le vendite e i profitti prendono slancio e si stabilizzano a buoni livelli; man mano che le vendite aumentano diventa più facile, per il prodotto, ottenere nuovi punti di distribuzione; di contro, nuovi produttori entrano nel mercato attirati dal *trend* di vendite positivo. Dal momento che l'offerta è in mano a più produttori, per l'impresa innovatrice che ha aperto il mercato, la priorità non è più quella di far conoscere caratteristiche, usi e vantaggi del nuovo prodotto ai potenziali acquirenti, bensì quella di far preferire la propria marca rispetto a quelle delle imprese concorrenti.
- 3. Quando il prodotto si è diffuso in tutto il potenziale di mercato entra nella fase di **maturità**. Le vendite ora crescono circa alla pari con la popolazione. Non c'è più bisogno di riempire le linee di distribuzione e la competizione sui prezzi ora diventa intensa. I tentativi competitivi di raggiungere e mantenere la preferenza del marchio e quindi implicano fare differenziazioni sempre più sottili nel prodotto, nei servizi al cliente, e nelle pratiche promozionali e nelle richieste fatte per il prodotto.

Tipicamente, la fase di maturità del mercato, costringe il produttore a concentrarsi sul trattenere i suoi punti di distribuzione, mantenere il suo spazio sugli scaffali e, alla fine, cercare di assicurarsi una distribuzione ancora più intensa.

4. Quando la maturità del mercato diminuisce e di conseguenza si avvicina al termine, il prodotto entra nella fase del **declino** del mercato. In tutti i casi di maturità e declino il settore si trasforma.

In questo stadio del ciclo di vita del prodotto la competizione commerciale si incentra prevalentemente sul prezzo e i concorrenti marginali vengono via via espulsi dal mercato. Laddove non sia possibile apportare una riduzione dei prezzi, in genere, all'azienda non resta che eliminare il prodotto o, al limite, tentare di rilanciarlo per allungarne la vita; la spesa in sforzi di promozione può, infatti, contribuire a rallentare temporaneamente la velocità di declino del prodotto.

Se, invece, si pensa allo sviluppo del prodotto inteso anche come ciclo di vita del processo, della materia prima che ha trasformato quell'idea in prodotto finito allora si possono evidenziare le seguenti fasi principali



Figura 1.2: Ciclo di vita del prodotto lato processo

Fonte: Life Cycle Assessment - L'importanza del ciclo di vita di prodotti e

processi - 3i group

In questo caso si tiene conto di come sono state estratte le **materie pri- me**; del **consumo delle risorse** coinvolte nella pianificazione o nella progettazione del prodotto; della materia prima e dell'energia utilizzati durante
la produzione, imballaggio e **distribuzione**; degli impatti derivati dall'**uso del prodotto**; dei **rifiuti** e l'**inquinamento** creati durante tutto il processo
e il termine del ciclo di vita [3].

Ad ogni modo, risulta chiaro che entrambe le prospettive portano ad una fase comune che è quella del declino. Nel caso dell'aspetto economico si traduce con una scarsa domanda da parte del mercato di riferimento. Mentre, nel caso dell'aspetto del ciclo di vita del processo, si avrà un prodotto che non potrà essere riciclato o riutilizzato quando giunge a fine vita.

Pertanto, ad oggi, la sfida è studiare quale potrà essere l'andamento di quella curva in Figura 1.1 o una volta arrivati allo step di riciclo Figura 1.2, superata la fase di declino.

Tale analisi sarà il cuore pulsante di questo documento. Ma, per arrivare ad una riflessione finale, servono delle premesse fornendo un contesto della situazione attuale e, quindi, analizzando fin da subito le varie tematiche legate all'ambiente ed alla sostenibilità.

1.1 La sostenibilità

1.1.1 Dal protocollo di Kyoto all'Accordo di Parigi

Contrariamente a quanto molti pensano, la scoperta che, usando i combustibili fossili e deforestando il pianeta, si produceva un surriscaldamento dell'atmosfera risale alla fine del XIX secolo: lo scienziato svedese Svante Arrhenius [4] addirittura calcolò l'incremento di calore provocato dalle emissioni di anidride carbonica a seguito dell'uso del carbone; successivamente, nel 1908, descrisse la teoria del'effetto serra. Alcuni decenni più tardi, lo scienziato inglese Guy Stewart Callender individuò un collegamento tra l'utilizzo di combustibili fossili e l'incremento della temperatura globale.

Erano dati già allarmanti, accantonati e dimenticati però per il prevalere degli obiettivi di sviluppo economico, per raggiungere i quali l'utilizzo dei combustibili fossili era uno strumento imprescindibile. Solo alla fine degli anni Settanta, nel corso della prima World Meteorological Conference, i pericoli posti dal cambiamento climatico divengono oggetto di esame e discussione a livello internazionale. Ma deve passare ancora quasi un decennio prima che gli studi e le ricerche di climatologia inducessero, nel 1988, l'Assemblea delle Nazioni Unite ad adottare la risoluzione denominata "Protezione del clima globale": per la prima volta il cambiamento climatico viene qualificato come un "common concern of humankind".

Nel dicembre 1997 viene siglato il **Protocollo di Kyoto** che fissa i primi obiettivi per i tagli delle emissioni di gas responsabili del surriscaldamento del Pianeta. Questo protocollo si fondava sulla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, firmata a Rio de Janeiro nel 1992 durante lo storico Summit sulla Terra, la prima conferenza mondiale dei capi di stato sull'ambiente [5].

Il nucleo del Protocollo consisteva nel vincolo legale dei limiti d'emissione per i Paesi industrializzati, che si impegnarono a ridurre la loro emissione complessiva dei gas serra del 5,2% rispetto alle emissioni del 1990, per il primo periodo d'impegno stabilito nel quinquennio 2008-2012. Secondo il Protocollo di Kyoto, i Paesi dovevano predisporre progetti di protezione dei boschi, delle foreste e dei terreni agricoli, in quanto sono **carbon sink**, cioè serbatoi che assorbono anidride carbonica. In più, i Paesi possono guadagnare carbon credit (un carbon credit è un certificato negoziabile, ovvero un titolo equivalente ad una tonnellata di CO2 non emessa o assorbita grazie ad

un progetto di tutela ambientale) aiutando, così, i Paesi in via di sviluppo a evitare emissioni inquinanti ed esportare tecnologie pulite. Ogni Paese è tenuto anche a realizzare un sistema nazionale per la stima delle emissioni gassose e a mettere a punto un sistema globale per compensarle [5].

E così, tra un monitoraggio e successive riunioni, gli anni avanzavano senza grandi positivi cambiamenti in termini ambientali e, quindi, durante la **Conferenza sul Clima di Parigi** (COP21) del dicembre 2015, 195 paesi hanno adottato il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima mondiale. L'accordo è entrato in vigore il 4 novembre del 2016 e rappresenta il quadro di riferimento per le azioni globali di riduzione delle emissioni di gas di serra. Esso definisce un piano d'azione globale inteso per evitare cambiamenti climatici pericolosi e limitando il riscalda-mento globale: Gli elementi chiave dell'Accordo [6] riguardano:

• Mitigazione (ridurre le emissioni)

I governi hanno concordato di:

- Mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali come obiettivo a lungo termine;
- Puntare a limitare l'aumento a 1,5°C, dato che ciò ridurrebbe in misura significativa i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici;
- Fare in modo che le emissioni globali raggiungano il livello massimo al più presto possibile;
- Procedere successivamente a rapide riduzioni in conformità con le soluzioni scientifiche più avanzate disponibili.

I governi hanno inoltre pattuito di:

- Riunirsi ogni cinque anni per stabilire obiettivi sempre più ambiziosi;
- Riferire agli altri Stati membri e all'opinione pubblica cosa stanno facendo per raggiungere gli obiettivi fissati;
- Segnalare i progressi compiuti verso l'obiettivo a lungo termine attraverso un solido sistema basato sulla trasparenza e la responsabilità.

Adattamento

I governi hanno concordato di:

 Rafforzare la capacità delle società di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici;

Fornire ai paesi in via di sviluppo un sostegno internazionale continuo e più consistente all'adattamento.

L'accordo, inoltre, riconosce:

- L'importanza di scongiurare, minimizzare e affrontare le perdite e i danni associati agli effetti negativi dei cambiamenti climatici;
- La necessità di cooperare e migliorare la comprensione, gli interventi e il sostegno in diversi campi, come i sistemi di allarme rapido, la preparazione alle emergenze e l'assicurazione contro i rischi.

• Ruolo delle città, delle regioni e degli enti locali

L'accordo riconosce il ruolo dei soggetti interessati, che non sono parte dell'accordo, nell'affrontare i cambiamenti climatici, comprese le città, altri enti a livello subnazionale, la società civile, il settore privato e altri ancora.

• Assistenza

L'UE e altri paesi sviluppati dovranno sostenere l'azione per il clima per ridurre le emissioni e migliorare la resilienza agli impatti dei cambiamenti climatici nei paesi in via di sviluppo.

I paesi sviluppati si sono impegnati a mantenere il loro obiettivo complessivo mobilitando 100 miliardi di dollari all'anno entro il 2020 e di estendere tale periodo fino al 2025. Dopo questo periodo verrà stabilito un nuovo obiettivo più consistente.

Nell'insieme, l'accordo di Parigi, rappresenta un passo importante nella giusta direzione. Un passo realistico, che permetterà ai governi di collaborare all'interno di un solido processo di revisione e crescita degli impegni. Con la conferenza di Parigi si chiude, quindi, un ciclo: quello del Protocollo di Kyoto.

Se ne apre un altro, più ampio in termini di partecipazione, fondato sulle conquiste del passato, ma aperto a miglioramenti futuri. Sta ora ai singoli

stati adottare concrete misure di mitigazione e adattamento. In particolare, ci sono alcune decisioni, molto importanti, che dovranno essere prese urgentemente:

- Investire importanti risorse, nella ricerca e sviluppo di tecnologie a basso utilizzo di carbonio, in particolare nella produzione di energia elettrica, nel suo utilizzo, nel suo stoccaggio, nella ricerca e sviluppo di tecnologie per la rimozione della CO2 dall'atmosfera, di tecnologie per ridurre la povertà energetica e quella idrica, per lo sviluppo di sementi clima resistenti, per la diffusione a basso costo di programmi di formazione in tutto il mondo.
- Adottare misure per la riduzione del consumo di combustibili fossili, a partire dal carbone, che dovrebbe essere eliminato almeno in tutti i paesi industrializzati, e sostituito con gas.
- Favorire la sostituzione dei combustibili fossili con energie rinnovabili, azzerando i sussidi ai primi ed utilizzando le risorse finanziarie ricavate per finanziare la ricerca sulle seconde.
- Adottare misure perché, ogni tonnellata di carbonio emessa, abbia un prezzo tale da incentivare l'innovazione tecnologica, l'efficienza energetica e la progressiva sostituzione delle energie fossili con energie rinnovabili.

A Parigi, il successo della COP21 è anche dovuto al grande lavoro della società civile e delle istituzioni locali: sindaci di importanti città, imprese private, reti di attività e ricerca, associazioni non governative le quali stanno dimostrando come il cambiamento sia possibile e sia soprattutto un'opportunità.

1.1.2 Lo sviluppo sostenibile, Agenda 2030 e Ingegneria del ciclo vita

Se da una parte l'Accordo di Parigi mostra particolare attenzione al tema del riscaldamento globale, dall'altra, sono stati gli stessi stati membri delle Nazioni Unite che in un quadro più ampio identificano nello sviluppo sostenibile un ulteriore punto di partenza.

Facendo un passo indietro nel tempo, la Commissione per l'ambiente e lo sviluppo delle Nazioni Unite nel 1987 aveva presentato la definizione di

sviluppo sostenibile come uno "sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni" [7]. In questa definizione non vengono, però, specificati quali siano i bisogni interessati da tale sviluppo. Per questo, John Elkington, un consulente nel campo della responsabilità sociale d'impresa e dello sviluppo sostenibile, nel 1997 rese operativo il concetto di sostenibilità in un contesto aziendale con il suo suggerimento sulle tre dimensioni della sostenibilità:

- Sociale
- Ambientale
- Economica

Esse riflettono le tre linee di fondo (persone, pianeta, profitto) che un'azienda deve garantire di bilanciare per essere sostenibile [8].

Prendendo una prospettiva più ampia basata sulla stabilità climatica Rockstrom e Steffen [9], concentrandosi sulle scienze naturali, hanno identificato nove processi ambientali (**Planetary Boundries**) proponendo per ognuno uno spazio operativo sicuro per l'umanità delimitato da confini critici da evitare per non compromettere ulteriormente i sistemi naturali.

A tal proposito, però, deve far riflettere che, già nel 2009, i confini sono stati superati da tre di questi processi ambientali. Il 18 gennaio 2022, gli scienziati del Centro di resilienza di Stoccolma, (SRC) hanno confermato che abbiamo superato il quinto tra i nove confini planetari identificati: quello dell' "inquinamento chimico".

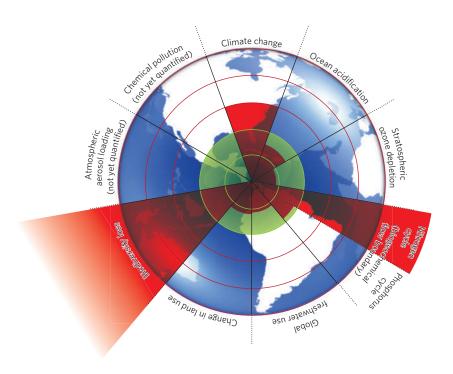


Figura 1.3: Planetary Boundries
Fonte: A safe operating space for humanity - Nature

In virtù di un peggioramento delle condizioni ambientali e sostenibili, nel 2007 l'UE, aveva fissato l'obiettivo per il 2020 di ridurre le emissioni di gas a effetto serra del 20% rispetto al 1990, di ridurre il consumo di energia del 20% e di raggiungere una quota del 20% del totale lordo consumo di energia da fonti di energia rinnovabili: notizia positiva è che tutto ciò è stato raggiunto [10].

Sul fronte geopolitico, si cerca di gestire la quantità di emissioni di gas serra al fine di stabilire un tetto entro cui ritenersi sicuri dal punto di vista ambientale permettendo lo scambio di quote di emissioni di gas serra tra paesi.

L'emission trading [11], teorizzato già nel 1968, basava la sua idea sul creare un sistema di "diritti di inquinamento" trasferibili ovvero la quantità complessiva consentita di emissioni fosse delimitata dal numero di permessi stabilito dall'autorità pubblica in funzione del livello massimo di inquinamento producibile in una data area. Una sorta di "permesso ad inquinare". Tali permessi (concessi dall'autorità) sarebbero stati distribuiti alle imprese consentendo alle stesse l'emissione di una determinata quantità di sostanze inquinanti per un dato periodo di tempo; l'impresa, infine, per raggiungere i

livelli di emissione consentiti avrebbe potuto scegliere se adottare innovazioni tecnologiche volte a rendere i propri impianti "environmentally friendly", oppure, acquistare sul mercato ulteriori permessi ad inquinare. Da qui, la definizione di emission trading.

In termini di sviluppo sostenibile, nel 2015 viene sottoscritta dai governi dei 193 Paesi membri delle Nazioni Unite, e approvata dall'Assemblea Generale dell'ONU l'**Agenda 2030** come un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità. Essa è costituita da 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile inquadrati all'interno di un programma d'azione più vasto che prevede 169 target, ad essi associati, da raggiungere in ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale entro il 2030.

I 17 Goals [Appendice A] riportati in Figura 1.4 fanno riferimento ad un insieme di questioni importanti per lo sviluppo che prendono in considerazione in maniera equilibrata le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile – economica, sociale ed ambientale – e mirano a porre fine alla povertà, a lottare contro l'ineguaglianza, ad affrontare i cambiamenti climatici, a costruire società pacifiche che rispettino i diritti umani.



Figura 1.4: I 17 goals delle Nazioni Unite

Fonte: THE 17 GOALS - Sustainable Development, un.org

In questo ampio contesto climatico e sostenibile, prende piede l'ingegneria del ciclo di vita che ha l'obiettivo di espandere la prospettiva analisi dal prodotto fisico all'intero ciclo di vita (denominato anche sistema di prodotto) dalla culla alla tomba. L'ingegneria del ciclo di vita (LCE) può essere descritta come una serie di attività ingegneristiche che comprendono dall'applicazione di principi tecnologici e scientifici alla progettazione e fabbricazione di prodotti, con l'obiettivo di proteggere l'ambiente e conservare le risorse, incoraggiando il progresso economico, tenendo presente la necessità di sostenibilità, e allo stesso tempo ottimizzando il ciclo di vita del prodotto e riducendo al minimo l'inquinamento e gli sprechi [8].

L'efficienza è un obiettivo tradizionale dell'ingegneria: massimizzare l'output o la creazione di valore riducendo al minimo input o costi. Per LCE, con una prospettiva di prestazione ambientale, l'efficienza può essere determinata come efficienza energetica, efficienza delle risorse o una più ampia eco-efficienza dell'attività, del prodotto o del servizio fornito.

L'attenzione all'aumento dell'efficienza energetica o dell'eco-efficienza promuove lo sviluppo di prodotti che offrono più funzionalità in base all'impatto ambientale causato o all'uso delle risorse. In [12] l'aspetto dell'efficienza prende uno spunto di larga riflessione sul tema dell'illumina-zione e di come questa abbia subito uno sviluppo esponenziale passando dalla candela di paraffina a lampade a diodi. Se, però, si indaga sul consumo che ne viene fatto appare come ci sia una diretta proporzionalità tra efficienza e consumo e, quindi, da un lato ci si potrebbe aspettare che una maggiore efficienza energetica sostenga un disaccoppiamento tra consumo e impatto ambientale, ma, dall'altro, poiché è associata a costi ridotti dell'illuminazione ciò che ne deriva è un aumento della domanda e conseguente uso dell'illuminazione.

Questo è indicato come effetto rimbalzo sul mercato e, in questo caso concreto, risulterà essere molto più che neutralizzare i guadagni legati all'efficienza: invece di un disaccoppiamento, si osserva un maggiore uso di elettricità in quello che gli economisti ambientali chiamano un effetto di ritorno di fiamma [13].

Pertanto, in [8] ci si domanda se il focus debba allontanarsi dall'efficienza per raggiungere l'efficacia. Nella prospettiva assoluta della sostenibilità ambientale, l'ingegneria del ciclo di vita di nuovi prodotti e tecnologie deve considerare non solo il singolo prodotto e il ciclo di vita del prodotto, ma anche la prevedibile crescita del volume di mercato che risulta dall'aumento della popolazione e della ricchezza, al fine di consenti-re di tenere conto

dell'impatto ambientale totale associato durante lo sviluppo del prodotto.

L'inclusione di considerazioni sociali ed etiche nelle strategie di sostenibilità non cambia la necessità di tecnologie più eco-efficienti. Tuttavia, come accennato per il caso dell'illuminazione, è importante evitare che i miglioramenti dell'efficienza si traducano in effetti di rimbalzo che contrastano i risultati raggiunti. Questo non può essere fatto a livello di business ma richiede politiche anti-rimbalzo che rendano gradualmente più oneroso l'uso delle risorse e l'emissione di inquinamento [14].

Il cambiamento tecnologico dovrebbe consentire di fare con meno, non incoraggiare l'aumento del tenore di vita materiale.

Con l'adozione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, gli stati membri si sono impegnati a raggiungere una serie di obiettivi rilevanti per il settore manifatturiero, tra cui Lavoro dignitoso e crescita economica (SDG 8), Industria sostenibile, Innovazione e infrastrutture resilienti (SDG 9) e Azione per il clima (SDG 13).

Un obiettivo, in particolare, riguarda il modo in cui i beni vengono prodotti e utilizzati: Consumo e Produzione Responsabile (SDG 12).

Sotto questo obiettivo ci sono 12 target che riguardano l'uso efficiente delle risorse, la gestione responsabile delle sostanze chimiche, la riduzione della produzione di rifiuti e l'inclusione delle informazioni sulla sostenibili-tà.

Dato l'impegno degli Stati membri, l'ingegneria del ciclo di vita può aspettarsi requisiti richiesti dai vari Governi per raggiungere questi obiettivi, ma solo uno di questi è concreto e misurabile: l'obiettivo 12.3 che richiede il dimezzamento della perdita globale pro capite di cibo al dettaglio e ai consumatori. A questo punto, il resto degli obiettivi nell'ambito dell' (SDG 12) sono indicati come sviluppi desiderati.

L'ingegneria del ciclo vita, pertanto, ridisegna quello che è il concetto di ciclo di vita del prodotto estendendo la fase di declino e, quindi, aumentando l'intera vita del prodotto in questione.

È così che viene definito questo nuovo paradigma dalla culla alla tomba. Tramite l'ingegneria del ciclo vita la curva vista in Figura 1.1 si estende ma non cambia geometria: lo studio di varie attività (design, prodotto, materiale, processo, ecc...) non neutralizza la fase di declino che, comunque permane. È necessario sviluppare principi che assicurino che il fine vita di un prodotto diventi la culla di un nuovo prodotto [15].

Il punto di arrivo non dovrebbe essere quello di estendere una curva bensì quello di rendere quella curva un ciclo in cui il prodotto a fine vita possa

ricominciarne uno nuovo. L'approccio non è semplice ma la tecnologia e una maggiore e reale sensibilità al tema ambientale saranno il giusto punto di partenza.

Capitolo 2

L'economia circolare

Da sempre, per realizzare i prodotti di cui si ha bisogno (e oggi come oggi anche quelli di cui non si avrebbe veramente necessità), l'uomo utilizza i materiali e le risorse che la natura e l'ambiente ha. Inizialmente la produzione contemplava, quindi, materie prime naturali, così il prodotto finale veniva utilizzato e poi gettato. Essendo naturale, veniva riassorbito dalla terra e contribuiva chimicamente e fisicamente a far rinascere le materie prime.

2.1 Un passo indietro – L'economia lineare

Se si pensa al cibo: mi nutro con un frutto, getto a terra il nocciolo che si decompone e rientra nel ciclo vitale del pianeta. Le cose ovviamente sono cambiate con l'industrializzazione e ancor più con il consumismo, e la produzione è, pertanto, aumentata a dismisura. Va da sé che l'uomo ha cercato di creare delle fonti quasi illimitate di risorse, realizzando piantagioni e allevamenti, ove possibile, senza però evitare di sovra-sfruttare l'ambiente ed inquinare. Allo stesso tempo, la progettazione di nuovi materiali sintetici ha reso i prodotti più resistenti e durevoli, ma anche difficili da gestire nello smaltimento, in quanto non riassorbibili. Questo "atteggiamento" ha contribuito più che ad un ciclo chiuso ad una linea retta: l'economia lineare.



Figura 2.1: Economia Lineare

Fonte: Economia circolare, un passo imprescindibile per le aziende, wisee.it

L'iter del processo è: l'uomo estrae le risorse dalla natura; le utilizza per la produzione dei beni (i quali vengono poi utilizzati); una volta rotti o non più utili, diventano rifiuti. Nelle discariche, nei centri di raccolta, negli inceneritori e così via creando un problema di gestione e smaltimento dei rifiuti. Questo modo di fare economia sia chiama anche "throughput", ed è riassumibile in 3 parole:

Take. Make. Dispose.

(Prendi. Produci. Butta.)

Tale percorso lineare non può che causare diverse tipologie di problematiche:

- Economiche legato al ciclo vitale delle fonti che ricordiamo non sono illimitate ed infinite e alla speculazione che ne deriva ("dalla fine del XX secolo, i prezzi reali delle materie prime sono nettamente aumentati e alcune risorse rare, come tungsteno, platino, iridio, sono in varia di esaurimento. La volatilità dei prezzi di alcuni dei più importanti beni di consumo, come ad esempio generali alimentari e metalli, è nettamente aumentata e i relativi prezzi sono cresciuti anche del 150% tra il 2002 e 2010" [16]).
- Ambientali: con impatto sul clima, sulle risorse, sulle malattie e sul futuro del pianeta. Basti pensare che annualmente vengono prodotti 125 milioni di tonnellate di materie plastiche. L'80% di esse diventano rifiuti [17].

Ciò che ci ha portati dove siamo oggi, in tutti i sensi, è l'economia lineare. Secondo la Ellen MacArthur Foundation (una nota ed importante fondazione con sede a Chicago che ha conferito premi per un totale, ad oggi, di \$5.5

miliardi sotto forma di borse di studio nelle aree di arte, cultura, comunità, sviluppo economico, media digitali), il disegno economico attualmente prevalente ha le sue radici nella distribuzione storicamente diseguale della ricchezza per regione geografica. Poiché i consumatori di risorse sono stati in gran parte concentrati nelle regioni più sviluppate (cioè nelle società occidentali) e gli input materiali sono stati acquistati sempre più dall'arena globale, le nazioni industriali hanno sperimentato un'abbondanza di risorse materiali ed energia. In questa disposizione, i materiali sono stati economici rispetto al costo del lavoro umano. Di conseguenza, i produttori sono stati motivati ad adottare modelli di business basati su un uso estensivo di materiali ed economizzati sul lavoro umano [18]. Inoltre, più energia e materiali, sono stati in grado di utilizzare per integrare il capitale umano, maggiore era il vantaggio competitivo guadagnato. La conseguenza naturale del materiale a basso costo/manodopera è il comune abbandono del riciclaggio, del riutilizzo e di una scarsa attenzione sui rifiuti prodotti. Anche le norme regolamentari, contabili e fiscali hanno sostenuto questo schema, poiché non hanno emesso un protocollo per addebitare ai produttori le esternalità. Pertanto, i produttori sono stati meno incoraggiati a considerare i costi esterni delle loro operazioni [18].

Inoltre, il sistema aveva una naturale inerzia *lock-in*, poiché le procedure ufficiali di approvazione del prodotto tendono a privilegiare le pratiche esistenti rispetto a cambiamenti radicali e reinvenzione dei principi di base. Il risultato di questo progetto economico è proprio l'economia lineare: prendi le risorse di cui hai bisogno, realizza i beni da vendere, ottieni profitti e smaltisci tutto ciò di cui non hai bisogno, incluso un prodotto alla fine del suo ciclo di vita.

Sulla base di dati empirici e modelli economici, la Ellen MacArthur Foundation (2013) ha quantificato alcuni dei costi del modello lineare. Viene fatto riferimento ai dati di Eurostat (2011) che indicano che il volume di materiale immesso nell'economia europea è stato pari a 65 miliardi di tonnellate nel 2010, di cui 2,7 miliardi di tonnellate sono state scaricate come rifiuti e, di queste, solo il 40% è stato riutilizzato in una qualsiasi forma (ad es. attraverso il riciclaggio, il riutilizzo o il compostaggio). Mentre l'economia lineare ha avuto molto successo nel generare ricchezza materiale nelle nazioni industriali fino al 20° secolo, ha mostrato debolezze nel nuovo millennio e si prevede il crollo definitivo nel prossimo futuro. I prezzi delle materie prime hanno raggiunto un punto critico nel 1999 e il precedente calo dei costi dei materiali ha acquisito uno slancio volatile al rialzo.

Per queste ragioni, da decenni si tenta di ridefinire il ciclo vitale dei prodotti ripensando all'intera filiera: già nel 1970 l'architetto Walter Stahel aveva intuito che l'attuale modello economico lineare non era – e non è – sostenibile. Egli comprese che l'aumento dei consumi avrebbe portato a gravi problemi nel futuro, come evidenziò nel rapporto "Limiti alla crescita" pubblicato nel 1972. Il modello lineare, secondo Stahel, non era sostenibile a causa della crescente domanda di materie prime e dell'accumulo di rifiuti in tutto il mondo. Stahel ebbe l'idea di chiudere i cicli materiali e riformare l'economia. Il concetto di chiusura dei cicli è stato poi studiato e sviluppato ulteriormente in casi aziendali concreti negli anni, fino ad arrivare ad oggi.

2.2 La chiusura dei cicli

Il concetto di **economia circolare** (CE) è di tendenza e come tale tende a diffondersi nel suo significato. In [19] è stata raccolta una serie completa di 114 definizioni legate all'economia circolare analizzate sistematicamente per fornire trasparenza sulle attuali concezioni di CE.

In conclusione, si giunge ad una definizione univoca (almeno per ora) che descrive l'economia circolare come un sistema economico che sostituisce il concetto di "fine vita" con la riduzione, il riutilizzo alternativo, il riciclaggio e il recupero dei materiali nei processi di produzione - distribuzione e consumo. Essa opera a livello micro (prodotti, aziende, consuma-tori), meso (parchi eco-industriali) e macro (città, regione, nazione e oltre), con l'obiettivo di realizzare uno sviluppo sostenibile, creando così contemporaneamente qualità ambientale, prosperità economica ed equità sociale, a beneficio delle generazioni attuali e future. I flussi materiali delle moderne economie industrializzate sono prevalentemente lineari (estrarre, raffinare, utilizzare, creare rifiuti) e l'economia circolare è stata proposta come un modello alternativo per creare economia evitando l'ampio spreco di materiali e prodotti e garantendo che i flussi di materiale lineare (dall'estrazione delle risorse ai rifiuti) siano sostituiti da flussi circolari come illustrato di seguito:

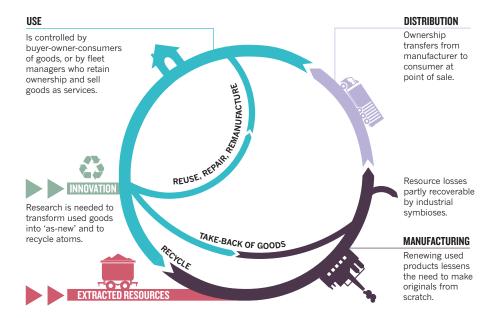


Figura 2.2: La chiusura dei cicli Fonte: Circular economy, Walter R. Stahel - Nature

In questo modo cambia la logica economica perché sostituisce la produzione con la sufficienza: riutilizza ciò che puoi, ricicla ciò che non può essere riutilizzato, ripara ciò che è rotto, ricostruisci ciò che non può essere riparato. Uno studio condotto su sette nazioni europee ha rilevato che il passaggio a un'economia circolare ridurrebbe le emissioni di gas serra di ciascuna nazione fino al 70% e aumenterebbe la sua forza lavoro di circa il 4% [20].

Il ritrattamento di beni e materiali genera posti di lavoro e consente di risparmiare energia, riducendo al contempo il consumo di risorse e gli sprechi. Pulire una bottiglia di vetro e riutilizzarla è più veloce ed economico che riciclare il vetro o creare una nuova bottiglia utilizzando minerali. Oppure, i proprietari di veicoli possono decidere se far riparare o riscolpire ("ri-scanalare") i loro pneumatici usati o se acquistare ricambi nuovi o ricostruiti, se tali servizi esistono. Invece di essere scaricati, gli pneumatici usati vengono raccolti dai gestori dei rifiuti e venduti al miglior offerente.

L'economia della performance fa un ulteriore passo avanti vendendo beni come servizi attraverso modelli di business in affitto, locazione e condivisione. Il produttore mantiene la proprietà del prodotto e delle sue risorse incorporate e quindi si assume la responsabilità dei costi dei rischi e dei rifiuti. Oltre alla progettazione e al riutilizzo, l'economia della performance si concentra sulle soluzioni anziché sui prodotti e trae profitto dalla sufficienza, come

la prevenzione dei rifiuti. Ad esempio, Michelin dal 2007 vende pneumatici per uso "a miglio" agli operatori di flotte di veicoli. L'azienda ha sviluppato officine mobili per riparare e riscolpire i pneumatici presso le sedi dei clienti e mira a sviluppare prodotti con una vita utile più lunga. Gli pneumatici usurati vengono inviati agli stabilimenti regionali Michelin per la ricostruzione e il riutilizzo [20].

2.3 I 4 blocchi della CE

In [21], tramite un report della fondazione MacArthur, sono stati identificati dei blocchi per aiutare le aziende ad iniziare il loro percorso di trasformazione verso l'economia circolare.

Ecco a seguire i 4 building block:

1. Progettazione Del Prodotto

Il primo blocco comporta miglioramenti nella scelta dei materiali e nella progettazione del prodotto. I possibili modi per realizzare tali cambiamenti includono la standardizzazione e la modularizzazione dei componenti, i flussi di materiale puro e la progettazione per lo smontaggio diretto. L'implementazione di questo blocco rende più efficiente il processo di produzione nelle aziende.

Le società dovranno porsi domande utili affinché il prodotto sia conforme al concetto di economia circolare: "Qual è il ciclo di vita del prodotto? Come può essere esteso?" o ancora "Come si può smontare facilmente il prodotto per riutilizzare diversi componenti o riciclare i mono-materiali?" e così via.

2. Nuovi Modelli Di Business

Il passaggio da un sistema lineare ad uno circolare include un cambiamento drastico nel modello di business dell'azienda che lo mette in atto. Ad esempio, allungando il life cycle del prodotto, è obbligatoria l'adozione di un modello di business innovativo.

In tale senso, le società dovranno pensare a quale modello di business è adoperabile con i nuovi prodotti, come può essere riadattata la logistica, come si traducono i flussi di lavoro in questa nuova visione e tutta una serie di domande in ottica di economia circolare.

3. Adozione Di Cicli Inversi

In questo terzo blocco si concentra l'attenzione sul riciclo del prodotto, partendo dal reso da parte del consumatore sino al riutilizzo del prodotto in un ciclo nuovo di produzione. Vengono presi in esame i nuovi processi, che necessitano di competenze e capacità di far sì che tutti gli attori in gioco in questa fase, siano allineati: dalla logistica allo smaltimento rifiuti, dalla gestione dei rischi alla produzione di energia. Introducendo anche sistemi di raccolta e trattamento più convenienti e di migliore qualità e un'efficace segmentazione dei prodotti fuori uso. Così che vi sia una diminuzione di fuoriuscita di materiali dal processo (scarti), supportando l'economia della progettazione circolare.

4. Condizioni Abilitanti

"È possibile utilizzare la legislazione o le sovvenzioni per incoraggiare il riutilizzo di materiali esistenti?" Questa domanda è una delle tante che fa parte di un blocco fondamentale per l'adozione di processi di progettazione circolare. L'applicazione dei principi dell'economia circolare richiede maggiore trasparenza nei flussi dei materiali, allineando gli incentivi e determinando gli standard industriali. Il finanziamento, la gestione dei rischi, la legislazione, le infrastrutture e l'istruzione devono facilitare la transizione. Oltre ai cambiamenti meccanici, è necessario sviluppare una consapevolezza generale del consumatore per consentire una più facile implementazione dei modelli di economia circolare. Per ultimo, le aziende devono anche essere messe in contatto intersettoriale (eco clustering) e disposte a condividere informazioni di mercato generali ed anche riservate.

Alla luce di ciò, l'economia circolare rappresenta un approccio marcatamente diverso di creare profitto, sostituendo pratiche consolidate come l'obsolescenza pianificata con nuovi approcci che generano profitti. Tuttavia, il passaggio dai modelli di business tradizionali (costruiti sulla presunzione di risorse naturali illimitate ed economiche) a quelli più circolari va oltre il concetto di efficienza nell'approvvigionamento delle risorse e nella gestione dei rifiuti. Di conseguenza, muoversi verso l'economia circolare richiede "un cambiamento di paradigma nel modo in cui le cose sono fatte": trasformare la funzione delle risorse e mettere il pensiero a ciclo chiuso al centro dei

modelli di business e dell'organizzazione industriale [21]. Tale cambiamento di mentalità è cruciale e può essere raggiunto analizzando quelli che sono i potenziali rischi ed opportunità nell'adozione di tale sistema circolare.

2.4 Opportunità e Minacce

A livello concettuale, ci sono vari benefici potenziali dalla transizione verso un'economia circolare, tra cui il risparmio dei costi dei materiali, la riduzione della volatilità dei prezzi, il miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento, la creazione di posti di lavoro, così come la riduzione degli impatti ambientali. Per i governi, un'economia circolare rappresenta un'alternativa promettente all'attuale modello economico lineare, che permette di disaccoppiare la crescita economica dal consumo di risorse naturali e promuove l'innovazione e la creazione di posti di lavoro. Per le imprese, le ragioni principali sono principalmente pratiche (cioè la riduzione dei rischi di interruzione dell'approvvigionamento di risorse e nuove fonti di reddito) e tecnologiche (cioè le nuove tecnologie che facilitano l'attuazione dei principi dell'EC).

A causa della recente crescente attenzione all'economia circolare, i suoi potenziali benefici economici sono stati valutati da diverse agenzie di consulenza negli ultimi anni. Per esempio, la Environmental Services Association UK ha stimato che un'economia circolare nel Regno Unito potrebbe aiutare a generare 50.000 nuovi posti di lavoro e 12 miliardi di euro di investimenti. Nei Paesi Bassi, i potenziali benefici di un'economia circolare sono stati valutati pari a 7,3 miliardi di euro all'anno in valori di mercato, portando ad un incremento 54.000 posti di lavoro e numerosi benefici ambientali [21]. Nel febbraio 2015, il segretario di Stato all'Economia del Lussemburgo Francine Closener ha condiviso i risultati di uno studio sul potenziale sviluppo dell'economia circolare lussemburghese condotto dall'EPEA (Environmental Protection Expenditure Account): "la circolarità sostiene 7.000-15.000 posti di lavoro nonché più di 1 miliardo di euro all'anno in attività economiche in Lussemburgo principalmente nel settore manifatturiero ma anche nell'edilizia" [21]. Nonostante la sua crescente popolarità tra i governi, le imprese e gli accademici, il concetto di economia circolare e i suoi principi di base non sono senza critiche e sfide. Le seguenti sezioni riassumono i principali punti di discussione intorno al concetto di economia circolare: la sua realizzabilità

e la sua debolezza nell'includere la dimensione sociale. Il concetto di CE si basa su diverse scuole di pensiero che sostengono tutte lo sviluppo di soluzioni ispirate all'ecosistema naturale in cui non ci sono rifiuti. Di conseguenza, dovremmo progettare l'eliminazione dei rifiuti, ma un'economia circolare al 100% è praticamente e fisicamente impossibile.

A tal proposito, in [22] vengono descritte alcune limitazioni nelle quattro condizioni principali (cioè i presupposti che devono essere veri) necessarie per implementare un sistema a ciclo chiuso.

2.4.1 Ciclo chiuso: le condizioni principali

1. Zero perdite di materiale tecnico

Per raggiungere questo obiettivo, ogni minuscolo pezzo di materiale (ad esempio piccoli trucioli dopo i processi di taglio o una bottiglia di plastica scartata in una foresta) dovrebbe essere raccolto. Un tale sistema di raccolta di materiale sarebbe praticamente e tecnicamente impossibile da implementare su scala globale, oltre che molto costoso. Inoltre, i progressi della tecnologia stanno aprendo nuove opportunità per progettare i rifiuti, ma potrebbero non essere sufficienti per prevenire completamente qualsiasi perdita di materiale tecnico. Per esempio, la stampa 3D sta cambiando il modo in cui produciamo pezzi, passando da processi in cui "togliamo" materiali a processi in cui "costruiamo" prodotti. Di conseguenza, i processi di fabbricazione potrebbero essere molto più efficienti dal punto di vista dei materiali e dell'energia e senza sprechi [23].

Un'alternativa suggerita da [22] è quella di progettare tutti i prodotti con materiali biodegradabili, in modo che la natura possa gestire i nostri rifiuti. Mentre l'idea sembra essere allineata con i principi del CE, la sua attuazione pratica può portare allo stesso problema che affrontiamo oggi, perché la capacità rigenerativa della Terra non è infinita.

2. Zero input materiali

Perché questa ipotesi sia vera, il tasso di consumo assoluto dell'economia globale dovrebbe essere costante. Tuttavia, ci si aspetta che il tasso di consumo cresca, spinto dalla crescita della popolazione globale e dall'aumento del reddito e non ci si aspetta che i progressi nella tecnologia compensino il divario [24].

3. Cicli senza fine

Il concetto di entropia può essere definito come una funzione di stato termodinamico di un sistema. A questo proposito, tutti i processi spontanei come il trasferimento di calore, la deformazione plastica e l'attrito sono irreversibili e disperdono energia. Questi processi spontanei aumentano l'entropia, con conseguente perdita di qualità e quantità delle sostanze e rendendo così difficilmente realizzabili cicli chiusi completi. A questo proposito, è fisicamente impossibile che il ciclo del materiale sia indefinito (cioè il tasso di riciclaggio del 100% dei prodotti di scarto). Per esempio, il riciclaggio dell'alluminio è limitato a un certo numero di volte a causa della fatica del materiale [25]. Di fronte a questa limitazione fisica dei materiali, [26] sostiene che più piccolo è il ciclo, più redditizio ed efficiente in termini di risorse è. Di conseguenza, i prodotti dovrebbero essere riutilizzati, riparati, rigenerati prima di essere riciclati. Tuttavia, costruire prodotti che durano a lungo non è sempre efficiente dal punto di vista ecologico perché può richiedere una quantità richiesta di energia molto elevata. più energia utile prima della rottura (per esempio, una lavatrice fatta per durare). Pertanto, un'attenta progettazione del prodotto deve essere effettuata per ottimizzare l'efficienza delle risorse (es. lavatrice progettata per essere aggiornata nel corso degli anni).

4. Energia infinita per guidare cicli infiniti

Uno dei principi chiave dell'economia circolare è quello di affidarsi a fonti di energia rinnovabili per alimentare tutti i processi di produzione e consumo. Anche se in linea di principio esiste un'energia rinnovabile infinita (per esempio il solare), i sistemi di energia rinnovabile hanno bisogno di materiali per essere costruiti (specialmente metalli come il silicio per le celle fotovoltaiche). Pertanto, è necessario un aumento radicale dell'efficienza energetica per una CE e, più fondamentalmente, un uso efficace dell'energia prodotta deve essere sostenuto per raggiungere questo obiettivo. A questo proposito, l'energia migliore è quella che non usiamo.

Lo sviluppo sostenibile mira a fornire una qualche forma di equità tra e attraverso le generazioni di persone che attualmente, e che in futuro popoleranno il nostro pianeta [27]. Inoltre, tale definizione cattura anche due questioni fondamentali: il degrado ambientale che comunemente accompagna la crescita economica e la necessità di tale crescita per alleviare la povertà. Ecco di nuovo che l'idea centrale della sostenibilità include tre dimensioni principali (ambientale, sociale ed economica) che sono state disegnate in una varietà di modi, come "pilastri", come cerchi concentrici. Quindi, la dimensione sociale (per esempio, benessere e diritti umani, equità intergenerazionale) è un elemento chiave dello sviluppo sostenibile, si veda il *SDG 10* a titolo di esempio.

L'interesse principale delle imprese nella CE è motivato dai risparmi economici sul lato dell'offerta (per esempio la riduzione dei materiali e del consumo di energia), mentre i governi sono più preoccupati dalla sicurezza a lungo termine dell'approvvigionamento di risorse critiche. La Commissione europea vede nel CE un'opportunità per rafforzare la competitività del mercato unico, essendo meno dipendente dalle materie prime che sono spesso prodotte fuori dall'Europa e importate [28]. A tal proposito è da considerare che le attività di riparazione, rimessa a nuovo e rifabbricazione sono più laboriose dei processi di fabbricazione di nuovi prodotti, offrendo un'opportunità per la creazione di posti di lavoro locali. Tuttavia,[29] sostiene che non è chiaro se questi posti di lavoro saranno creati localmente e in quali condizioni.

Inoltre, il concetto di CE come descritto dalla Fondazione Ellen MacArthur ignora questioni sociali come l'uguaglianza, l'equità o la salute, mentre si sforza ugualmente di ottenere benefici ambientali ed economici. A questo proposito, l'economia circolare non mette in discussione il concetto di crescita economica in quanto mira a disaccoppiare la crescita dal consumo di risorse. Inoltre, le attuali iniziative incentrate esclusivamente sulla produzione (lato dell'offerta) non sono sufficienti a compensare gli impatti negativi di uno stile di vita occidentale sempre più insostenibile. Per esempio, il consumo di elettricità di un americano equivale a 1,5 cittadini della Francia, 10 cittadini della Cina e 34 cittadini dell'India [30].

Pertanto, sono necessari approcci più radicali per cercare attivamente di ridurre il consumo come disaccoppiare i bisogni materiali dal benessere sociale e diventare "ecologicamente alfabetizzati" o incoraggiare la sufficienza.

Sfruttare il potere di un'economia circolare in termini di benefici socioeconomici e ambientali richiede che tutti gli attori economici abbraccino il pensiero circolare. Da un lato, i governi per implementare quadri politici coerenti e dall'altro le aziende per introdurre la circolarità nei loro modelli di businesse e nel design dei prodotti. Inoltre, la sensibilizzazione sulle pratiche dell'economia circolare porterà le famiglie a cambiare i loro modelli di consumo lineare e a creare una domanda in nuovi mercati come i prodotti ricondizionati e i beni condivisibili. Infine, le istituzioni finanziarie possono contribuire alla transizione verso un'economia circolare sostenendo finanziariamente le aziende a sviluppare un modello di business circolare e adattando il proprio modello di businesse e l'offerta di prodotti alle esigenze di un'economia circolare. Attraverso un'analisi di casi di studio di aziende che stanno compiendo la transizione verso un'economia circolare, la Ellen MacArthur Foundation ha identificato i seguenti quattro elementi essenziali che aiuteranno a promuovere un'economia più circolare, come descritto di seguito:

- A) Progettazione e produzione circolare dei prodotti: I miglioramenti nella progettazione del prodotto e nella selezione dei materiali possono ridurre il costo di spostare i prodotti in cicli inversi più stretti (per esempio riutilizzo, ristrutturazione o rifabbricazione), senza compromettere l'integrità strutturale o la funzione. Le aree di interesse per la nuova progettazione includono: selezione dei materiali e risorse dai rifiuti, modularizzazione (ad esempio per consentire la sostituzione di alcuni moduli), standardizzazione, progettazione per un più facile smontaggio (ad esempio attraverso tecniche di montaggio flessibili), progettazione per durare, efficienza del processo di produzione per ridurre al minimo i rifiuti.
- B) Nuovi modelli di business: La capacità di tradurre un design migliore con un uso più duraturo in proposte di valore attraenti è essenziale perché i prodotti più circolari possano competere con successo contro prodotti altamente efficienti, a basso costo e prodotti in modo lineare. Passare dalla proprietà a modelli di business basati sull'uso e sulle prestazioni (per esempio, leasing e pay-per-use) è un'area chiave di attenzione. In tali Business Models, i prodotti diventano servizi. Ma è importante notare che questa non è una soluzione unica per tutti. A questo proposito, quando si progettano nuovi modelli di business, è fondamentale avere una buona conoscenza dei bisogni dei partecipanti alla catena del valore.

- C) Cicli inversi e cascate: Sistemi di raccolta e trattamento efficienti in termini di costi e di migliore qualità con un'efficace segmentazione dei prodotti a fine vita saranno cruciali per consentire progetti circolari economicamente attraenti. Costruire le capacità e le infrastrutture per chiudere i cicli delle risorse è fondamentale. A questo proposito, per essere efficaci, i sistemi di raccolta devono essere: user-friendly (cioè affrontare le ragioni chiave che spingono gli utenti a restituire o meno); facilmente accessibili ai clienti e vicini agli specialisti del fine vita; capaci di mantenere la qualità dei materiali recuperati.
- D) Fattori abilitanti e condizioni di sistema favorevoli: Un'efficace collaborazione tra le catene e tra i settori (per esempio lo sviluppo congiunto del prodotto e la gestione delle infrastrutture) sono imperativi per la creazione su larga scala di un sistema circolare. Inoltre, i responsabili politici possono accelerare la transizione verso un'economia circolare ripensando gli incentivi economici (per esempio spostando il carico fiscale dal lavoro e dal reddito verso le risorse non rinnovabili) e fornendo un adeguato insieme di regole ambientali internazionali. Inoltre, il passaggio all'EC deve essere supportato anche dal sistema educativo (per esempio l'integrazione del concetto di CE nei curricula educativi) e da campagne di sensibilizzazione pubblica. Infine, le istituzioni finanziarie devono adattare il finanziamento e la gestione del rischio per sostenere l'investimento di capitale nel modello di business circolare e nelle attività di R&S (Ricerca e Sviluppo).

2.5 CE in manufacturing Systems

Le aziende manifatturiere hanno svolto un ruolo importante nel miglioramento degli standard di vita in tutto il mondo. Tuttavia, in un contesto lineare, sono anche legate a modelli di produzione e consumo non sostenibili. Il concetto di economia circolare ha preso piede negli ultimi anni e si pone lo scopo di mantenere le risorse "in the loop".

Gli sforzi per passare a processi di produzione più sostenibili hanno una lunga storia. Il potente impatto degli esseri umani sull'ambiente è stato messo in luce da Rachel Carson in un rapporto del 1972, commissionato dal Club di Roma, chiamato Limiti alla crescita. Sono stati avviati sforzi per ridurre il nostro impatto ambientale: ad esempio, iniziative di produzione più pulite ed

ecologia industriale negli anni '90 e iniziative di gestione del ciclo di vita negli anni 2000. A differenza di altri strumenti e concetti relativi alla sostenibilità, CE ha avuto origine con organizzazioni aziendali e politiche. Uno di questi, la Ellen MacArthur Foundation, ha fornito la definizione ben utilizzata di CE come "un'economia industriale che è riparatrice per intenzione e design" [31]. I tempi e l'importanza della prosperità economica hanno dato slancio al concetto e da allora sono state osservate numerose iniziative nel mondo aziendale.

In compagnia di molte definizioni legate alla sostenibilità, per l' Economia Circolare abbiamo visto che soffre della mancanza di una definizione unificante [32]. [33] sostengono che CE è un concetto sostanzialmente contestato; dal loro punto di vista, è un concetto di cluster, il che significa che coinvolge studiosi di diverse discipline, nonché altri attori e gruppi di interesse che non sono uniti dietro una comprensione comune del concetto. Inoltre,[34] fa notare che nel campo dell'EC, la ricerca scientifica è rimasta indietro rispetto alla pratica; sostenendo che le differenze nel vocabolario tra le discipline hanno comunque ostacolato il dialogo.

Il progresso verso la CE implica sforzi per migliorare la circolazione di risorse, materiali ed energia, attraverso la chiusura, il rallentamento o il restringimento dei cicli [35]. Chiudere i cicli significa mantenere le risorse in circolo attraverso il riciclaggio. Rallentare significa estendere il tempo di utilizzo attraverso il riutilizzo, la riparazione e la rifabbricazione. Restringere significa usare meno risorse per prodotto - quest'ultimo approccio non è circolare, di per sé [35].

In [32] vengono presentate la Riduzione, il Riutilizzo, il Riciclaggio e il Recupero dei materiali (4R) come strategie per sostituire il concetto di fine vita. Mentre, in [36] vengono distinti tre gruppi separati di strategie CE per la dematerializzazione: downcycling (cicli lunghi), aggiornamento del prodotto (cicli medio-lunghi), e le scelte degli utenti (cicli più brevi). I cicli più corti mettono meno stress sulle risorse naturali rispetto ai cicli più lunghi. Sebbene la gerarchia dei rifiuti sia la "spina dorsale" della CE, [37] sottolineano alcuni limiti in termini di utilità del concetto nell'aiutarci a raggiungere la dematerializzazione; questi includono la mancanza di supporto (cioè, pratiche e incentivi) per scegliere tra diverse strategie di CE. Inoltre, per i prodotti complessi, le diverse opzioni si intrecciano [36]; c'è bisogno di combinare diverse strategie su diversi livelli per raggiungere una fruttuosa strategia CE.

30

Le aziende manifatturiere influenzano non solo la produzione ma l'intero ciclo di vita di un prodotto, inclusi l'uso e la fine del ciclo di vita, gestendo la progettazione e lo sviluppo del prodotto. In effetti, le aziende manifatturiere hanno potenzialmente i contributi più significativi da apportare alla sostenibilità influenzando la fase di utilizzo dei prodotti [38]. Gli utenti influenzano e sono influenzati dagli sforzi delle aziende manifatturiere di adottare pratiche più circolari. Tuttavia, le preoccupazioni sull'accettazione da parte degli utenti di prodotti riutilizzati e ricondizionati frenano la volontà delle aziende di assumersi il rischio e innovare per CE. Gestire questa tensione è un criterio di successo per le aziende manifatturiere che puntano alla CE. Anche il ruolo delle aziende manifatturiere come parte di un sistema più ampio è un tema ricorrente. L'economia circolare non ha un prodotto o un attore come punto di partenza; si tratta piuttosto di un concetto sistemico radicato nel principio della conservazione delle risorse. Ciò implica che l'implementazione della CE nelle aziende manifatturiere non può essere eseguita in un reparto o in una singola struttura. Richiede il contributo e l'impegno dell'intera organizzazione e una gestione consapevole degli stakeholder [39].

2.6 Esempi applicativi di CE

Abbiamo detto che il passaggio a un'economia circolare richiede modelli di business innovativi. Le aziende importanti sul mercato e agli occhi dei consumatori potrebbero svolgere un ruolo fondamentale nell' adozione dell'economia circolare, sino a portarla nel mainstream. I modelli di business e le iniziative di economia circolare redditizia ispireranno altri attori e saranno copiati ed espansi geograficamente. Vediamo di seguito alcuni colossi che da sempre adottano o hanno iniziato a adottare modelli circolari.

NATURASI

Fra le prime realtà impegnate nell'economia circolare, come non citare NaturaSì, la più importante catena di supermercati italiana specializzata nella vendita di prodotti alimentari biologici e naturali. Il colosso italiano sin dal 1992 si impegna a promuovere la propria Green Vision,



Figura 2.3: NaturaSì

adottando esclusivamente tecniche e processi distributivi a basso impatto ambientale e commercializzando prodotti di aziende con la stessa visione e cura per l'ambiente. Inoltre, questa società, dal 2007 conduce l'azienda agricola molisana "la Fattoria Di Vaira", controllando l'intera filiera produttiva, dal campo sino allo scaffale del negozio garantendo continuità delle forniture, una selezione qualitativa accurata e ovviamente il controllo di ogni anello della catena.



Figura 2.4: IKEA

IKEA

Già premiata lo scorso anno per il suo modello di economia circolare, nell'utilizzo consapevole del legno e la riduzione degli scarti, ma anche per l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, il colosso svedese fa un pas-

so oltre e rivoluziona il suo modello economico. Basta fast design, i mobili devono durare. Lancia così l'iniziativa "Dai una seconda vita ai tuoi mobili usati": attraverso un settore specifico ubicato all'interno dei negozi Ikea, i

clienti potranno portare i propri mobili Ikea usati e farseli valutare (e ricevere un buono). Non solo: chi vorrà potrà richiedere che il mobile venga aggiustato, rimodernato e dargli così una seconda vita. Così i clienti potranno decidere se acquistare il nuovo oppure scegliere un mobile usato.

PATAGONIA

Patagonia, noto brand di abbigliamento sportivo, sulla stessa falsa riga di Ikea, ha deciso di dare nuova vita ai capi rotti: con il progetto Worn Wear estende la vita dell'abbigliamento già acquistato, permettendo ai propri clienti di restituire i prodotti usati a fronte di un buono.



Figura 2.5: Patagonia

Questi abiti verranno così aggiustati e rimessi in vendita, ad un prezzo favorevole. I cicli del settore tessile hanno un impatto importante sul nostro ambiente, a partire dall'utilizzo di acqua sino alle emissioni di CO2. Questo permette, quindi, di acquistare prodotti di seconda mano, perfettamente integri, senza attivare nuovi cicli di produzione.



Figura 2.6: Lavazza

LAVAZZA

Lavazza, in collaborazione con Novamont e Politecnico di Torino, non ha solamente creato una capsula di caffè biodegradabile, ma ha anche iniziato un progetto per coltivare funghi commestibili dai fondi di caffè. Il

progetto si chiama The Flavours of Coffee Grounds ed è in vita dal 2007. Non solo funghi, tuttavia: secondo la ricerca effettuata dal Politecnico, dai fondi di caffè si estrae un olio dal quale si possono ricavare cosmetici, biocarburanti e persino farmaci.

BARILLA

Il progetto "CartaCrusca" di Barilla ha come obiettivo quello di recuperare la crusca derivante dalla macinazione dei cereali che l'azienda usa nei propri processi produttivi. Verrà



Figura 2.7: Barilla

poi utilizzata insieme alla cellulosa, per renderla materia prima nella produzione di carta per il packaging. Insieme al partner Favini, quindi, è nato questo nuovo imballaggio realizzato al 17% con crusca non adatta per il consumo alimentare.

Passare da un modello lineare ad uno circolare è un'esigenza reale e non procrastinabile: non significherebbe mettere solamente in atto degli aggiustamenti volti a ridurre gli impatti negativi dell'economia lineare. Piuttosto, rappresenterebbe uno spostamento sistemico per costruire una resilienza a lungo termine, generando così opportunità commerciali ed economiche e offrendo vantaggi ambientali e sociali.

Capitolo 3

La Progettazione Modulare

3.1 L'architettura Modulare (MAP)

A differenza della progettazione tradizionale, quella modulare consente di realizzare prodotti in modo più semplice, economico e sostenibile. Con componenti facilmente disassemblabili è possibile estendere la vita utile del bene, favorendone il riciclo ed il riutilizzo.

Il pianeta non ha risorse inesauribili e, per questi motivi, anche le aziende produttrici stanno cominciando ad adeguarsi, grazie anche a nuove normative che estendono la responsabilità del produttore non soltanto alla gestione del "fine vita" dei beni, ma anche alla prevenzione dei rifiuti. I principali approcci in letteratura sullo sviluppo sostenibile dei prodotti sono focalizzati sui singoli prodotti e non considerano l'architettura del prodotto e le implicazioni durante le fasi di utilizzo e smaltimento finale.

Per poter realizzare nuovi beni più compatibili con l'ambiente, già durante la fase di progettazione occorre definire tutti i dettagli per renderlo facilmente riciclabile, riutilizzabile, riparabile e per estendere la sua vita utile. Per questa ragione, la fase di progettazione di un nuovo prodotto è la fase più importante di tutte. Il Design for the Environment (DfE) è un approccio progettuale per ridurre l'impatto complessivo sulla salute umana e sull'ambiente di un prodotto, processo o servizio, dove gli impatti sono considerati in tutto il suo ciclo di vita. Uno degli strumenti del DfE è la progettazione modulare.

La modularità è considerata un concetto chiave nello sviluppo del prodotto nell'attuale mercato globalizzato. L'uso della modularità, soprattutto nella fase di produzione, offre flessibilità per lo sviluppo di varianti di prodotto utilizzando le stesse risorse di produzione fisse. Nell'ultimo decennio, l'uso di questo concetto è stato esteso a tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti attraverso i prodotti ad architettura aperta, che utilizzano la modularità come strumento trasversale al ciclo di vita del prodotto per aumentare la rispondenza a molte nicchie di clienti [40].

La classificazione proposta in [41] è orientata a separare la tipologia di Architettura Modulare (MAP) in base ai principali benefici e usi comuni. Lo scopo della classificazione è facilitare l'identificazione, la selezione e la comprensione delle MAP durante la progettazione iniziale di prodotti o famiglie di prodotti. La selezione e l'attuazione di questi principi influiscono in modo significativo sulle restanti fasi del ciclo di vita del prodotto. Le MAP possono essere classificate in due gruppi principali: MAP a raggio funzionale e MAP a varietà funzionale.

Nelle MAP a raggio funzionale, i prodotti sviluppano una funzione unica in diversi livelli di lavoro; es. un insieme di motori con prestazioni di potenza differenti (tutti i prodotti hanno la stessa funzione ma a livelli differenti). I MAP di tipo Functional Ranging sono relativi alla variazione di una particolare funzione o parametro in termini di dimensione o gamma. I principi di questa categoria forniscono diversi modi per soddisfare vari livelli di capacità rispetto a una particolare funzione, a seconda dei livelli identificati nei requisiti dei clienti. È possibile selezionare un principio di variazione funzionale adeguato o combinarli tra loro per raggiungere uno step particolare a seconda del caso. Il passo può essere costante (stacking, cut to fit, gamma di dimensioni), casuale (cut to fit) e continuo (regolazione - che può essere utilizzata anche in valori discreti). I vantaggi associati al raggiungimento di diversi livelli di lavoro nella gamma funzionale dipendono dalla progettazione robusta delle interfacce e dei connettori standard, in particolare nei principi di impilamento e cut to fit. di montaggio. La Figura 3.1 descrive i principi di questa categoria.

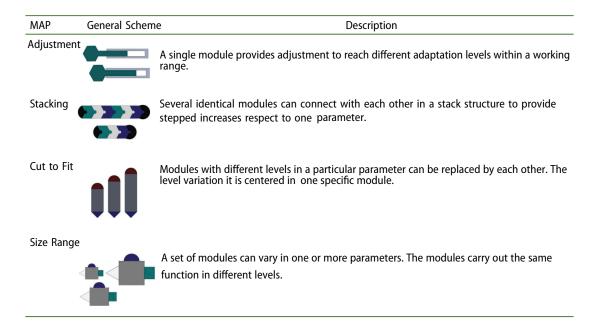


Figura 3.1: MAP Funzionali

Fonte: Modular architecture principles, International Journal of Sustainable Engineering

D'altra parte, le MAP a varietà funzionale sono associate allo sviluppo di varie funzionalità in un unico intervallo specifico; ad esempio, un coltellino svizzero che può svolgere diversi compiti (lame, cacciavite, forbici, apriscatole, cavatappi e altri.)

In questa categoria, i principi sono legati all'aggiunta, alla sostituzione o alla rimozione di varie funzionalità nei prodotti. La sostituzione di moduli dedicati con funzioni specifiche è consentita sia per singole (Component Sharing, Component Swapping) che per più funzionalità (Widening, Narrowing). Questa classificazione considera anche la possibilità di generare diverse configurazioni da un unico prodotto (Sectional). La Figura 3.2 riassume le MAP corrispondenti a questa categoria.

MAP	General Scheme	Description
Component Sharing		Varied platforms share a common module to create different product variants.
Component Swapping	•	A set of modules with different functionalities can connect to a base component or platform through the same interface.
Widening	4 1 1	A unique composed module is employed to satisfy all the variations existent within the product variants
Narrowing	+4-	The minimum standard module is shared with all the product variants in which there are more components involved.
Sectional		A set of modules can connect to others in different configurations to provide configurations with different functionalities.

Figura 3.2: Varietà funzionali MAP

Fonte: Modular architecture principles, International Journal of Sustainable

Engineering

L'uso dei MAP implica importanti considerazioni durante il ciclo di vita del prodotto. I principali miglioramenti della sostenibilità sono focalizzati sulla riduzione di materia ed energia durante la fase di produzione, che è anche correlata alla riduzione dell'energia necessaria nella fase di smaltimento finale per convertire il prodotto in materia prima. È possibile identificare un ciclo di benefici tra la fase di smaltimento finale e le fasi di produzione e utilizzo, il riutilizzo e la comunanza dei componenti possono essere sfruttati per estendere la fase di utilizzo del prodotto e ridurre la tabella di marcia e il tempo di sostituzione dei prodotti. La considerazione dei MAP sin dalle prime fasi di progettazione fornisce la generazione di alternative all'architettura del prodotto per ridurre gli impatti negativi sulla sostenibilità derivanti dalle fasi di produzione, utilizzo e smaltimento finale. Inoltre, anche la modularizzazione comporta il miglioramento della rigenerazione, del riutilizzo e del riciclo dal punto di vista della facilità di smontaggio.

Gli attuali processi di sviluppo del prodotto sono centrati nella generazione di famiglie di prodotti, che implica l'uso di piattaforme di prodotto, definite come l'insieme di hardware, software e risorse relative allo sviluppo dei prodotti. Convenzionalmente, le famiglie di prodotti sono progettate tenendo conto di una differenziazione in segmenti di mercato, utenti, requisiti speciali e feedback da utenti, produttori e tutti gli attori associati al processo di sviluppo. Ogni variante di prodotto non è correlata o collegata alle altre. Una volta che il prodotto lascia la fase di produzione e le fasi successive del ciclo di vita (Uso e Smaltimento finale), viene isolato e concepito senza alcuna relazione con la piattaforma del prodotto di origine e il resto delle varianti di prodotto. Tra gli attributi dei MAP in architettura aperta, ci sono tre aspetti specifici di interesse. Il primo aspetto è la riutilizzabilità, relativa al riutilizzo dei moduli tra le fasi di utilizzo, smaltimento finale e produzione. Riguardo a questo aspetto, sono preferibili alcune MAP come lo stacking o lo scambio di componenti, in cui i moduli non sono sempre impiegati e l'interscambio di moduli implica tempi di attesa per quei moduli che sono inattivi. MAP come la regolazione o l'allargamento prevedono l'utilizzo del modulo di regolazione per tutte le possibili configurazioni. Per questo motivo, la sua vita utile relativa è più breve rispetto ai principi intercambiabili.

Il secondo aspetto è l'indipendenza modulare, associata alla capacità dei moduli funzionali di funzionare in un'altra variante di prodotto quando non sono utilizzati nella configurazione attuale del prodotto. Ad esempio, i moduli del principio di allargamento non possono funzionare in un'altra variante di prodotto perché tutti i moduli sono integrati nello stesso prodotto, mentre i moduli di impilamento possono essere condivisi contemporaneamente con un'altra variante di prodotto. Il terzo aspetto è la capacità del MAP di sostituire un prodotto familiare. Dal punto di vista della sostenibilità, questo è il vantaggio più significativo. L'integrazione di diverse funzionalità e livelli consente di sostituire le famiglie di prodotti con un'unica variante di prodotto modulare. Ad esempio, è possibile sostituire diverse varianti di prodotto con un unico prodotto dotato di regolazione. Ad esempio, una chiave regolabile sostituisce una famiglia di chiavi. Il principio dell'ampliamento consente anche di integrare diversi prodotti in uno solo, ad esempio il coltellino svizzero sostituisce, tra gli altri, coltello, forbici e cavatappi. cavatappi con un unico prodotto integrato.

La limitazione più comune dell'uso delle MAP è la **centralizzazione funzionale** dei moduli, il che significa la dipendenza di altri moduli per ottenere la funzione desiderata e il tempo di inattività ad essa associato. La riutilizzabilità nella fase di produzione offre vantaggi come la riduzione delle materie prime, dell'energia di lavorazione, dei tempi di produzione e di

tutti i costi associati a queste attività. Nel caso di prodotti ad architettura aperta, è possibile riutilizzare i componenti in entrambe le fasi di produzione e utilizzo. La modularità del prodotto dovrebbe consentire una facile aggiunta, rimozione o modifica dei moduli. Mentre, in fase di utilizzo, la riutilizzabilità consente all'utente risparmi legati al costo dei pezzi di ricambio e all'allungamento della vita utile dei prodotti. Le parti riutilizzabili in fase di utilizzo possono anche essere considerate parti di ricambio o rigenerate.

3.2 I principi dell' Architettura modulare

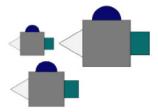
La modularità è una strategia principale per la progettazione di sistemi di produzione riconfigurabili.

Un sistema modulare è formato da moduli, un modulo è definito come una "unità i cui elementi strutturali sono fortemente connessi tra loro e relativamente debolmente connessi a elementi di altre unità".

Chiaramente, ci sono gradi di connessione, quindi ci sono **livelli di modu- larità**. A seconda delle esigenze di progettazione, i principi dell'architettura modulare offrono vantaggi e comportano limitazioni. Questi aspetti sono riassunti nel paragraffo successivo.

La riconfigurazione di un sistema basato sulla modularità può essere realizzato sia per l'hardware che per il software: a seconda del livello del sistema (in relazione a dimensioni, complessità e risorse), la riconfigurazione si concentrerà sull'hardware o sul software. Per le macchine, le celle di fabbricazione e i gruppi di celle la riconfigurazione è incentrata sull'hardware; nel caso di fabbriche, imprese e alleanze aziendali la riconfigurazione si basa sul software.

3.2.1 Size Range



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Questo approccio prevede un insieme di moduli che varia principalmente in base a uno o più parametri. Il parametro più comunemente utilizzato è la dimensione o la gamma di prestazioni. I moduli svolgono la stessa funzione e condividono il principio fisico, la progettazione di base e i processi di produzione.

Vantaggi

Le dimensioni dei moduli possono variare grazie a una forma a gradini. Questo principio di modularità consente di personalizzare i sistemi fin dalla fase di progettazione. Questo principio di modularità genera vantaggi sia in fase di progettazione che di produzione e in tutte le fasi del ciclo di vita, soprattutto grazie alla riduzione delle risorse necessarie per lo sviluppo del sistema e del lead time to market.

Limitazioni

Le possibili variabili di riconfigurazione sono determinate e limitate dalla progettazione di una famiglia e dalle relative scale di parametrizzazione. Durante la produzione di una famiglia, i livelli dei parametri possono essere variati solo nei limiti dei parametri e dei livelli definiti nel progetto della famiglia.

3.2.2 Stacking



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Un insieme di moduli con le stesse dimensioni, interfacce e funzionalità che consente di impilare le prestazioni di uno specifico parametro per multipli di un passo. Non solo permette la personalizzazione del sistema fin dalla fase di progettazione se non in fase di assemblaggio o durante il suo utilizzo. Si tratta quindi di una soluzione semplice ed economica per concretizzare la strategia di produzione "make to assembly" nelle imprese manifatturiere.

Vantaggi	Questo consente un facile adattamento entro multipli interi	
	di un passo regolare del modulo di base. L'uso di un'in-	
	terfaccia unica permette una facile riconfigurazione. Non	
	solo permette la personalizzazione o la riconfigurazione del	
	sistema fin dalla fase di progettazione, ma anche nel suo	
	assemblaggio o durante il suo utilizzo.	
Limitazioni	La capacità di regolazione di questa architettura è limitata	
	ai suoi passi o a multipli interi di questi.	

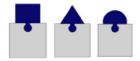
3.2.3 Sectional



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Un insieme di moduli è in grado di collegarli ad altri dello stesso tipo, utilizzando interfacce comuni disposte in modo arbitrario, ottenendo varianti di progettazione o riconfigurazione in termini di funzionalità e livelli di prestazioni. Esempi: uffici con pareti divisorie modulari, mobili modulari, rasature modulari, piscine modulari ed altro.

Vantaggi	Ciò consente una varietà di configurazioni con lo stesso nu-	
	mero di moduli. I moduli sono collegati dalla stessa inter-	
	faccia. La personalizzazione o configurazione del prodotto	
	può essere ottenuta in fase di progettazione, assemblaggio	
	o utilizzo.	
Limitazioni	A causa della disposizione arbitraria del sistema, è neces-	
	sario considerare tutte le possibili combinazioni ottenute	
	con questo principio. La sua flessibilità è limitata al cam-	
	po delle possibili combinazioni e permutazioni derivate dal	
	modulo base e dalla sua interfaccia.	



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

3.2.4 Component swapping

Un insieme di moduli con funzionalità diverse che consentono l'assemblaggio con un componente o una piattaforma di base comune per aumentare la funzionalità del sistema e il numero di possibilità di funzionamento. La piattaforma o il prodotto è concepito per unirsi, interagire o collegarsi a diversi componenti o prodotti utilizzando la stessa interfaccia. Le varianti di prodotto si ottengono aggiungendo o modificando un modulo alla piattaforma del prodotto.

Vantaggi	Ciò consente una varietà di funzionalità o operazioni. I	
	moduli sono collegati dalle stesse interfacce. Piattaforme	
	di prodotti o sistemi diversi devono integrare una stessa	
	funzione o operazione per riconfigurarle con la semplice ag-	
	giunta di un modulo che utilizza lo stesso tipo di interfaccia.	
Limitazioni	Le possibili riconfigurazioni della piattaforma sono limitate	
	a quelle stabilite fin dalla fase di progettazione e da realiz-	
	zare nelle fasi di montaggio o di utilizzo.	

3.2.5 Component sharing



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Quando diverse piattaforme condividono lo stesso componente di base, creando diverse varianti di prodotto appartenenti a piattaforme di prodotto diverse. Esempi: telai automobilistici diversi che utilizzano lo stesso motore e dispositivi elettronici diversi progettati per utilizzare le stesse schede di memoria o batterie.

3.2.6 Adjustment

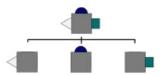


Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

In questo principio di architettura, viene fornito un modulo unico per raggiungere diversi livelli di adattamento per le variabili di riconfigurazione all'interno di un intervallo preimpostato. Questo principio consente di personalizzare o riconfigurare il prodotto nella sua fase di utilizzo.

Vantaggi	Ciò consente un'ampia gamma di valori per le variabili di	
	riconfigurazione. Non richiede il riassemblaggio per la ri-	
	configurazione. L'intervallo di regolazione può essere di-	
	screto o continuo all'interno di un intervallo, in base alla	
	struttura del modulo di regolazione.	
Limitazioni	La riconfigurazione del sistema è focalizzata su un modu-	
	lo. Il numero e i valori di riconfigurazione sono fissati dal	
	progetto del modulo.	

3.2.7 Widening

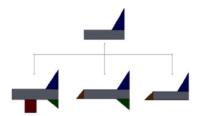


Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Un unico modulo composto viene impiegato per soddisfare tutte le configurazioni e le variazioni considerate durante la progettazione del sistema. Il modulo ha una funzione unica e questa funzione rimane in ogni configurazione o scenario di domanda.

Vantaggi	Non richiede riconfigurazione. Soddisfa tutte le possibili	
	configurazioni del sistema. L'ampliamento estende gli sce-	
	nari di applicazione del sistema o del prodotto a un numero	
	determinato fin dalla progettazione.	
Limitazioni	I moduli sono fissi. Gli scenari operativi in cui il sistema	
	può rispondere correttamente sono limitati a quelli consi-	
	derati nella fase di progettazione del modulo. L'uso del-	
	l'allargamento è limitato ai casi in cui i vantaggi ottenuti	
	giustificano il suo costo elevato.	

3.2.8 Narrowing



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Si cercano i componenti minimi comuni per una serie di prodotti e se ne formano gli elementi standard. Standardizzazione al minimo. Questo tipo di architettura è utile quando sono richieste disposizioni di prodotto distinte per diversi scenari di utilizzo, e quindi può essere conveniente semplificare al minimo che garantisca la realizzazione della funzionalità.

Vantaggi	Questo tipo di architettura è utile quando è necessario di-	
	sporre di prodotti distinti per diversi scenari di utilizzo e,	
	quindi, è possibile e conveniente semplificare al minimo le	
	varianti, garantendo il raggiungimento della funzionalità. I	
	suoi costi sono inferiori a quelli dell'ampliamento.	
Limitazioni	Gli scenari operativi in cui il sistema può adattarsi sono	
	limitati a quelli contemplati dalla fase di progettazione.	

3.2.9 Slot modular architecture

Tutti i moduli sono concepiti per unirsi alla piattaforma centrale utilizzando interfacce specifiche per ogni modulo. Quando risulta conveniente in



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

un prodotto, una famiglia o un sistema deve riconfigurarlo condividendo un insieme di componenti o risorse comuni (piattaforma). È utile per soddisfare diversi scenari d'uso, segmenti di mercato o richieste distinte nel ciclo di vita con un minimo di risorse e una migliore economia di scala.

Vantaggi	Quando risulta conveniente in un prodotto, famiglia o siste-
	ma, può riconfigurarsi condividendo un insieme di compo-
	nenti o risorse comuni (piattaforma) ed essendo necessario
	l'uso di moduli speciali con interfacce specifiche per soddi-
	sfare funzioni altamente specializzate.
Limitazioni	Questo dovrebbe portare a soluzioni ad alto costo. La gam-
	ma di riconfigurazione è limitata agli scenari previsti in fase
	di progettazione.

3.2.10 Bus modularity



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Tutti i moduli sono concepiti per unirsi alla piattaforma centrale utilizzando un'interfaccia generica. Questo principio è utile quando si richiedono funzioni diverse in scenari d'uso o segmenti di mercato distinti ed è conveniente condividere le risorse con un'interfaccia generica per ottenere prestazioni elevate negli stessi. Esempi: dispositivi periferici progettati per collegarsi al computer tramite connettori USB.

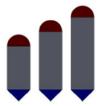
Vantaggi

Questo tipo di architettura raggiunge una maggiore diversità e adattabilità rispetto all'ultimo tipo: qualsiasi componente o modulo dovrebbe essere aggiunto se può operare con un'interfaccia generica, se utilizza lo stesso protocollo o un protocollo di comunicazione universale e, inoltre, se il suo software driver è compatibile con il software della piattaforma. La personalizzazione del sistema può essere ottenuta in fase di assemblaggio o di utilizzo, consentendo l'implementazione della strategia di produzione di make to assembly.

Limitazioni

La riconfigurabilità di questo tipo di architettura è limitata a tutti i moduli o funzioni che operano con protocolli e interfacce universali quando vengono vengono aggiunti.

3.2.11 Cut to fit modularity



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Le varianti di prodotto si ottengono modificando una caratteristica variabile continua. La personalizzazione del prodotto o del sistema si ottiene nella fase di produzione modificando un gruppo di variabili previste dalla fase di progettazione. La possibilità di personalizzare un prodotto è concentrata nella sua fase di produzione in un unico modulo.

Vantaggi

La diversità si ottiene economicamente condividendo i moduli o la piattaforma principale per concentrare le possibilità di diversificazione in un unico modulo, la cui personalizzazione è stata effettuata in fase di produzione come previsto dalla sua progettazione. Questo adattamento è stato previsto su un gruppo di variabili continue di questo modulo.

Limitazioni

I risparmi economici offerti dalla diversità o dalla riconfigurazione sono limitati ai campi di applicazione in cui è possibile ottenere la diversità o la riconfigurazione in un gruppo variabile continuo che può essere concentrato in un modulo unico e personalizzato in fase di produzione.

3.2.12 Function transfer of concentration



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

In alcune circostanze (segmenti di mercato, scenari d'uso, fase del ciclo di vita,...), può essere conveniente concentrare in un modulo una funzione. Ad esempio: funzione di guida, strutturale, di tenuta, o altro. In una linea litografica, può essere conveniente concentrare la funzione di guida in un unico modulo per motivi di sincronizzazione.

Vantaggi	In alcune circostanze, può essere conveniente, per motivi	
	di costi elevati associati alla configurabilità o alla persona-	
	lizzazione, concentrare in un modulo una funzione che era	
	distribuita in diversi moduli ottici in un unico modulo o	
	piattaforma. In questo caso, il numero di componenti da	
	mantenere è ridotto.	
Limitazioni	Se il modulo in cui si concentra la funzione si guasta, il si-	
	stema perde la sua capacità di funzionamento fino a quando	
	non viene riparato.	

3.2.13 Function transfer of distribution

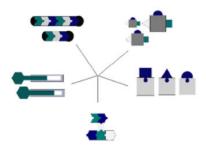


Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

In altri casi, può essere necessario distribuire una funzione per ottenere vantaggi in alcune fasi del ciclo di vita. Ad esempio, in un sottomarino senza equipaggio si può trasferire la funzione di tenuta dall'involucro esterno a ciascun componente interno, ottenendo vantaggi di manutenibilità nella fase di utilizzo.

Vantaggi	In alcune circostanze, può essere conveniente distribuire	
	una funzione concentrata in un modulo o in una piattafor-	
	ma. Un vantaggio è che, anche se un modulo che contiene	
	questa funzione si guasta, il sistema dovrebbe funzionare	
	e riconfigurarlo con qualsiasi altro modulo mantenuto, che	
	includa sempre la funzione persa.	
Limitazioni	Poiché questo principio architettonico comporta un costo	
	iniziale elevato, è utile solo se i vantaggi lo giustificano.	

3.2.14 Mixed



Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

È un principio che risulta dalla combinazione di un principio modulare che non tiene conto di due o più principi sopra menzionati.

Vantaggi	Quando è richiesta una personalizzazione o una capacità di	
	riconfigurazione superiore a quella ottenuta da un principio	
	architettonico, questo deve essere combinato o mescolato	
	con altri che possono raggiungere questo obiettivo.	
Limitazioni	Richiede una progettazione più complessa, l'utilizzo di più	
	tecnologie modulari comporta un robusto sistema di con-	
	trollo e manutenzione. Il suo campo di applicazione è limi-	
	tato a quelli in cui i vantaggi lo giustificano.	

3.3 Esempi di Architettura modulare

Di seguito sono riportati alcuni esempi per meglio comprendere i principi di architettura modulare spiegati nel paragrafo precedente.

3.3.1 Size Range



Utensili da taglio
Fonte: Google Images

Lo stesso concetto di prodotto (utensile da taglio) viene offerto per dimensioni e applicazioni diverse. La funzionalità è la stessa.

3.3.2 Stacking



CPU rack
Fonte: Google Images

I dispositivi CPU sono collegati per aumentare la capacità di elaborazione e di memorizzazione. Ogni dispositivo fornisce un'unità di elaborazione e di memorizzazione specifica.

3.3.3 Sectional



Componenti d'arredo Fonte: Google Images

I moduli di base dei mobili sono progettati per assemblare diverse configurazioni di tavoli (utilizzando più o tutti i moduli).

3.3.4 Component Swapping



Misuratore parametri d'acqua Fonte: Google Images

Una componente principale consente di scambiare diversi strumenti per la misurazione dei processi. Questo strumento, ad esempio, miusura differenti parametri dell'acqua utilizzando tool di diverso tipo. E' possibile calcolare il PH, il residuo fisso, la durezza, la conducibilità, l'ammonio ed altri a seconda dello strumento che si sceglie e del tool associato.

3.3.5 Widening



Cavo multi ricarica & coltellino multi uso $Fonte:\ Google\ Images$

In passato, nei PC portatili, l'adattatore di alimentazione veniva offerto con una grande varietà. Oggi, un componente unico può funzionare in diverse situazioni.

3.3.6 Adjustment



Chiave inglese regolabile Fonte: Google Images

Utensile manuale con ganasce regolabili per ottenere diverse dimensioni di serraggio.

3.3.7 Cut to fit



Stampanti
Fonte: Google Images

L'uso del taglio a misura permette di costruire plotter di diverse dimensioni, i componenti laterali e di supporto sono gli stessi in ogni configurazione.

3.3.8 Component sharing



Configurazioni per action cam Fonte: Google Images

Le action cam possono essere adattate a diversi sistemi per ottenere la loro funzionalità in scenari particolari. La funzione del modulo condiviso (la telecamera) è la stessa; la variazione è concentrata nei componenti esterni.

3.4 I vantaggi dell'architettura modulare

È possibile identificare tre principali vantaggi competitivi nell'uso dei MAP in una struttura di portafoglio prodotti o in un sistema di produzione: il primo, la variazione (aumento/diminuzione) della capacità (diversi livelli di capacità nella stessa funzione principale); il secondo, la varietà funzionale (diverse funzionalità per lo stesso sistema o prodotto); il terzo, la robustezza operativa e altri requisiti del ciclo di vita.

La prima categoria comprende la gamma di dimensioni, lo stack, il cut to fit e l'adattamento. Questi principi consentono livelli diversi di capacità a seconda dei requisiti per una stessa funzione principale, ad esempio un sistema di trasmissione di potenza con giri e coppia variabili (continui o discreti).

La seconda categoria è caratterizzata dai principi sectional, component swapping, bus architecture, slot architecture, narrowing e widening.

La terza categoria comprende diversi MAP (stacking, sezionale, architettura a bus e funzioni di trasferimento, tra gli altri) che consentono di ottenere un'elevata robustezza operativa e altri vantaggi del ciclo di vita, come la facilità di montaggio, il trasporto o la sostituzione dei componenti per dividere la funzione di tenuta, come nel caso dei sottomarini.

Inoltre, macchinari pesanti e voluminosi sono stati suddivisi in moduli per renderne possibile la produzione, il trasporto, il montaggio e la manutenzione. In quest'ultimo caso, l'impatto delle MAP sull'intero ciclo di vita dei prodotti o dei sistemi è evidente.

In generale, le MAP producono vantaggi dal punto di vista della flessibilità funzionale, grazie alla semplice aggiunta o sottrazione di un modulo che permette di ottenere una varietà funzionale o di regolare il livello di una funzione (categorie I e II); inoltre, le MAP possono generare vantaggi in altre fasi del ciclo di vita come la produzione, l'assemblaggio, la messa in servizio e la manutenzione o facilitare il trattamento di fine ciclo di vita. La Figura 3.3 mostra la classificazione proposta considerando solo le categorie I e II (altamente correlate alla capacità di riconfigurazione di un sistema o di un prodotto).

Category	Provides	Modular architecture principle (MAP)
Capability variation	Increase capability Decrease capability	Size range: different sizes for the same function Cut to fit Stacking: by steps or levels to achieve variation in capabilities Adjustment: adjust a unique module to change capability
Functional variation	Add functionsRemove functionsReplace function	 Sectional: add or remove modules to change/modify the function Component swapping: replace the module to change the function Widening: a module contains all functional variations; it just requires a modification to change the function
Other life cycle requirements or benefits	 Maintainability Increase or decrease availability and reliability Facilitate manufacturing, assembly, or transport Facilitate the end-life treatment Robustness 	 Concentrate or divide a function Bus and slot architecture Cut to fit Stacking architecture Sectional architecture Adjustment, widening, or narrowing
Mixed principles	• Add/remove/replace functions • Increase/decrease capability	Every combination of two principles from different categories

Figura 3.3: Classificazione dei principi dell'architettura modulare Fonte: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Attraverso sette **aspetti funzionali** e del ciclo di vita (criteri di valutazione), i MAP vengono analizzati e confrontati, concentrandosi sul loro utilizzo per i sistemi di produzione riconfigurabili [42].

È importante spiegare che la condizione e il ciclo di vita di un sistema riconfigurabile sono più complessi, a causa delle fasi di aggiornamento e riconfigurazione, in cui il sistema varia la sua configurazione di lavoro. I criteri di valutazione sono definiti di seguito in base all'utilizzo delle risorse e alle funzionalità:

- Mobilità: associata alla quantità di moduli e alla loro movimentazione e stoccaggio. La mobilità è favorevole quando i moduli sono pochi e le operazioni di movimentazione e trasporto sono minime. In termini di volume, la mobilità ha un impatto diretto nelle operazioni di stoccaggio. Nel caso di un'elevata quantità di moduli di moduli, è necessario un luogo dedicato allo stoccaggio.

- Varietà funzionale: un modulo offre una varietà funzionale quando aggiunge o elimina diverse funzionalità. In questo caso, il prodotto offre molte funzioni principali, che possono essere eseguite contemporaneamente o meno. In questo lavoro la varietà funzionale è legata all'uso di una funzione alla volta.
- Adattabilità: questo aspetto è legato all'adattamento del sistema a
 determinati livelli generati dalle esigenze del mercato. L'adattamento
 può essere discreto o continuo, e un certo numero di livelli indica un
 requisito di adattabilità importante.
- Facilità di riconfigurazione: associata alla facilità con cui si può introdurre un cambiamento o una modifica può essere introdotta per organizzare un sistema al fine di per ottenere una nuova configurazione (cambiando, aggiungendo o rimozione di moduli).
- Indipendenza modulare: un sistema ha un'indipendenza modulare favorevole quando i moduli in uso non hanno bisogno del resto dei moduli per raggiungere il livello di capacità richiesto. L'indipendenza è associata all'assenza di relazioni tra moduli di un gruppo.
- Vita utile: il periodo di utilizzo di un prodotto, di una parte o di un sistema. In questo caso, è legata all'uso del sistema. Se un modulo viene usato sempre, la sua vita utile si riduce rispetto ad altri moduli usati occasionalmente, utilizzati occasionalmente.
- Riutilizzabilità: è associata all'uso efficace dei moduli ed è auspicabile che tutti i moduli funzionino sempre per evitare tempi morti nella linea di produzione.

Capitolo 4

La scelta dei materiali

4.1 Linee guida e approccio consigliato

Il concetto di migliori materiali ambientali, in assoluto, non ha senso quando questi materiali vengono assemblati insieme come componenti di un prodotto.

Come sottolineato in un'altra ricerca [43], un'iniziativa comune per le aziende che implementano l'Eco- Design (processo di produzione di un prodotto, di un sistema, sociale o economico, nel rispetto dell'ambiente), è quella di sviluppare liste di controllo bianche, grigie e nere per i materiali utilizzati nei prodotti aziendali. In genere, le liste bianche, contengono i materiali che dovrebbero essere utilizzati; le liste grigie contengono i materiali che potrebbero essere utilizzati se c'è una buona ragione; le liste nere contengono i materiali vietati. Sfortunatamente, queste classifiche di materiali in genere non supportano informazioni sul comportamento ecologico dei materiali quando sono coinvolti in un prodotto che è generalmente un assemblaggio di molti componenti fatti di diversi materiali [44].

Affrontare la questione dell'ecocompatibilità a livello di prodotto significa prendere in considerazione le prestazioni ambientali del prodotto lungo tutto il suo ciclo di vita: se ne valutano i vari flussi in entrata e in uscita durante le diverse fasi del ciclo di vita (pre-produzione, produzione, utilizzo e fine vita). In questo modo, molte variabili devono essere considerate durante il processo di progettazione: questo non può essere focalizzato solo sulla scelta del miglior materiale ambientale, ma dovrebbe riguardare anche la configurazione del prodotto, il suo contesto d'uso e i suoi scenari di fine vita.

Di conseguenza, al momento della selezione dei materiali, adottare un ap-

proccio basato sul ciclo di vita significa progettare un prodotto ecologico che dovrebbe essere ottenuto non solo scegliendo materiali che garantiscano un ridotto impatto ambientale dalla culla al cancello (come dovrebbe essere dichiarato dai fornitori con una dichiarazione ambientale), ma anche selezionando materiali che soddisfino esigenze diverse durante le varie fasi del ciclo di vita [45].

Ecco quali:

- durante la fase di produzione dei componenti con materiali che devono essere correttamente assemblati tra loro utilizzando fissaggi reversibili con, allo stesso tempo, una bassa quantità di scarti e un basso consumo energetico per i loro processi di assemblaggio;
- nella fase di distribuzione con materiali che non comportino elevati oneri ambientali durante il trasporto, optando per materiali con una distribuzione a filiera corta;
- durante la fase di utilizzo dei prodotti con scelta materiali di facile manutenzione o sostituzione;
- alla fine del ciclo di vita del prodotto scegliendo materiali che possano essere facilmente smontati e raccolti, al fine di smaltirli presso i trattamenti di rifiuti più idonei. Ciò significa scegliere per far risparmiare il maggior numero di materiali o di energia, con un conseguente prolungamento della durata di vita del materiale stesso.

Se consideriamo lo sviluppo del prodotto come una catena con diversi compiti da dover svolgere quando un nuovo prodotto viene sviluppato, testato, perfezionato e commercializzato [43] - [46] - in questo processo di sviluppo - il designer è oggi ovviamente una figura chiave. Grazie alle sue capacità, è diventato un vero e proprio anello di congiunzione tra le diverse competenze e conoscenze professionali coinvolte nello sviluppo del prodotto (pianificazione e progettazione, contabilità, gestione, marketing e vendite, ingegneria, approvvigionamento e acquisti, distribuzione e imballaggio e quanto ne derivi). In teoria, delineare un prodotto ecologico dal punto di vista del progettista significa adottare un approccio sistematico e anticipatorio all'intero ciclo di vita del prodotto, al fine di conoscere in anticipo le diverse attività e i vari flussi di energia e materiali che sono coinvolti nella fase di produzione, utilizzo e smaltimento dei materiali [47],[48],[49],[50].

Per gestire correttamente questa complessità, che si presenta durante il processo di progettazione, discutiamo l'utilità dei diversi Ecotools che oggi sono disponibili per supportare e assistere i progettisti durante la fase di ideazione e di prodotto. Da questa analisi degli Ecotools è nata l'utilità di MATto durante la fase di selezione dei materiali, come descritto nei paragrafi seguenti. Diversi Ecotools sono stati concepiti con l'obiettivo, infatti, di facilitare i progettisti nel processo di progettazione di un prodotto ecocompatibile [48]. Questi Ecotool prendono in considerazione le prestazioni ambientali di un prodotto (un semilavorato o un materiale) e, a seconda della loro analisi, possono essere suddivisi in due gruppi principali: strumenti quantitativi o qualitativi [51],[52].

La progettazione del processo può essere suddivisa in quattro fasi principali: analisi dei bisogni e definizione dei requisiti (metaprogetto), concept design (progettazione preliminare), progettazione del prodotto (progettazione definitiva) e ingegnerizzazione (progettazione esecutiva). Ecco che possiamo affermare che gli strumenti quantitativi hanno un'utilità diretta durante le fasi di metaprogetto o di ingegnerizzazione.

MATto è stato sviluppato affinchè i progettisti possano essere aggiornati sui materiali più recenti disponibili per il loro lavoro. MATto è, nella sua essenza, una libreria di materiali che comprende più di 500 campioni di materiali di nuova generazione, particolarmente utilizzati nel campo del design e dell'architettura. Finora, per ogni campione di materiale MATto, è stata predisposta una scheda di analisi che riporta le proprietà tecniche (fisicomeccaniche) del materiale, le sue applicazioni, il formato disponibile e una stima dei costi [53].

Secondo un'altra ricerca in corso [54], l'ultima evoluzione di questa libreria di materiali, è quella di diventare un servizio di consulenza sostenuto dalla Camera di Commercio di Torino per le piccole e medie imprese (PMI) della Regione Piemonte in Italia. L'aspetto innovativo del servizio di consulenza MATto è quello di fornire soluzioni metaprogettuali individuando nuovi materiali o semilavorati adatti a ogni specifica esigenza o richiesta di ogni azienda, dove la giusta selezione del materiale si basa non solo sulle prestazioni tecniche ed economiche, ma anche sulle proprietà sensoriali e ambientali del materiale.

Di conseguenza - MATto - si propone di diventare uno strumento di problem setting, con il quale i progettisti (e le altre figure coinvolte nello sviluppo del prodotto) vengono aiutati a identificare quali parametri dei materiali influen-

zano le eco-prestazioni del prodotto. Ne deriva un profilo multidimensionale e questi diversi parametri non vengono mediati in un unico indicatore di performance [55].

Allo stesso tempo, da un'altra importante informazione fornita dalla libreria di materiali MATto, il profilo sensoriale, potrebbe essere utile per considerare, anche, la percezione umana del materiale. Nello specifico, i sensi del tatto, della vista, dell'olfatto e dell'udito sono presi in considerazione separatamente per definire un "vocabolario sensoriale" semplificato, capace anche di diventare uno strumento di riferimento universale. Nel vocabolario, gli aggettivi, sono specificati secondo una scala di valori (da 0 a 100), individuata in base ai risultati di diverse sessioni di analisi, effettuate da "assaggiatori" (gruppi di 20/30 persone, non addestrate e addestrate a testare i materiali e a descriverli con strumenti specifici). La scala di valori quantifica immediatamente la caratteristica descritta dall'aggettivo. In questo modo si potrebbero guidare anche i progettisti, quando si occupano degli aspetti espressivo-sensoriali dei materiali (Figura 4.1).

Nello specifico, queste linee guida sui materiali potrebbero essere organizzate in tre strategie ecologiche principali che, da un lato, potrebbero perseguire direttamente o indirettamente i principi di sostenibilità ambientale e, dall'altro, potrebbero portare il progettista a fare la scelta giusta sui materiali più adatti al suo lavoro:

- 1. utilizzo di materiali a basso impatto ambientale: questa strategia mira direttamente a minimizzare il consumo di risorse e le emissioni lungo il ciclo di vita del prodotto.
- 2. estensione del ciclo di vita del materiale: questa strategia si concentra direttamente sulla fase di fine vita, in quanto mira a posticipare il momento dello smaltimento dei rifiuti e a rinviare l'utilizzo di nuove risorse per la produzione di un nuovo materiale. In questo modo, l'obiettivo finale di ridurre il consumo di risorse e le emissioni può essere indirettamente raggiunto.
- 3. etica e politiche dei produttori di materiali: questa strategia è volta a creare consapevolezza tra i produttori di materiali delle loro responsabilità ambientali e a promuovere i produttori che hanno adottato un comportamento virtuoso dal punto di vista ambientale.

Ad esempio, nel caso di un prodotto a breve termine, l'adozione di materiali durevoli non ha senso, ma è più importante scegliere materiali riciclabili con una catena di distribuzione breve. Al contrario, nel caso di un prodotto a lungo termine, è più importante adottare materiali durevoli che optare per materiali biodegradabili o riciclati.

4.1.1 Linee Guida

Eco-efficienza

Se il significato di Eco-efficienza, come suggerito dal World Business Council Sustainable development, è creare più valore con meno impatto [29 da articolo 43], è possibile ipotizzare che un materiale eco-efficiente sia un semilavorato o un materiale con un basso impatto ambientale dalla culla al cancello, quando viene consegnato sul mercato.

Catena di distribuzione corta

Promuovere una catena di distribuzione corta significa scegliere materiali disponibili localmente. In questo modo è possibile non solo minimizzare il consumo di risorse e le emissioni derivanti dal trasporto di una varietà di materiali ma, anche, sostenere l'economia e l'artigianato locale con conseguente utile promozione della tradizione manifatturiera e della cultura delle PMI riconosciute dal sistema economico italiano.

Risorse rinnovabili

La capacità rinnovabile di una risorsa dipende da due fattori: il tempo di rigenerazione, ovvero il tempo in cui gli ecosistemi sono in grado di creare nuove risorse, e la frequenza di estrazione della risorsa, che dipende dalla disponibilità di giacimenti petroliferi e minerali e dalla fattibilità economica della loro estrazione.

Non tossicità

A seconda delle materie prime e delle sostanze incluse, un materiale potrebbe essere potenzialmente tossico per la salute umana durante tutta la fase del suo ciclo di vita o, in particolare, alla fine del suo ciclo di vita. Per quanto riguarda la potenziale tossicità nelle fasi di pre-produzione, produzione e utilizzo se, un materiale, non rilascia sostanze nocive durante queste fasi, è possibile definirlo biocompatibile. Le sostanze tossiche più note possono

essere organiche come il fosforo, i composti azotati o i CHO (alcol etanolo, metanolo, glicole etilenico o monossido di carbonio) o inorganiche, come i metalli, i metalloidi e i composti alogeni. Queste sostanze sono regolamentate e opportunamente etichettate come indicato dalle normative nazionali.

Durata del materiale

Un prodotto durevole deve resistere all'usura, alle sollecitazioni e al deterioramento ambientale nel corso della sua durata prevista al fine di garantirne
la funzionalità. Alcuni dettagli progettuali possono rendere un prodotto durevole senza l'impiego di risorse aggiuntive. Tuttavia, una maggiore durata,
può dipendere da un maggiore utilizzo di risorse. In questo caso, l'impatto
causato dai prodotti, deve essere diviso per la durata stimata (a breve, medio
o lungo termine). Di conseguenza, l'opportunità di rendere un prodotto durevole dipende dalla sua durata perché se il prodotto ha una durata superiore
a quella prevista o se i componenti del prodotto prolungano la loro vita più
del prodotto stesso, diventeranno uno spreco.

Questo vale per i prodotti soggetti a rapidi cambiamenti tecnologici perché se un prodotto diventa rapidamente obsoleto, renderlo più durevole potrebbe essere inutile. In questo caso, non è solo essenziale prendere in considerazione la durata del prodotto, ma anche la sua adattabilità attraverso un approccio Design-by-Components [56]. Secondo questo approccio, un prodotto costituito da diversi componenti assemblati tra loro utilizzando un fissaggio reversibile, consente un facile aggiornamento senza sostituire l'intero prodotto ed evitando componenti ridondanti. Inoltre, se si prevede che la durata di vita dei componenti sia breve, essi non dovrebbero essere progettati per una durata estrema perché, il loro materiale, potrebbe aumentare i rifiuti e avere altri impatti sullo smaltimento. In conclusione, a livello di selezione dei materiali, questa linea guida consiglia di scegliere materiali il più possibile durevoli ma, allo stesso tempo, affidabili.

In altre parole, suggerisce di scegliere materiali che siano in grado di garantire la loro funzione nell'ambiente previsto per un certo periodo di tempo e che non aumentino l'impatto con il loro smaltimento.

Per facilitare i progettisti nella scelta della durata necessaria del materiale, sono stati utilizzati tre parametri qualitativi per descrivere la durata del materiale:

- Durata prevista: questo indice quantitativo rappresenta il numero di

anni per i quali si prevede che il materiale mantenga le sue proprietà meccaniche e fisiche, come dichiarato dal produttore [32 da articolo 43];

- Manutenzione: una corretta manutenzione del materiale è un modo corretto per preservare un livello costante di funzionalità durante la durata di vita prevista. A seconda della procedura richiesta, la manutenzione del materiale può essere facile o complicata; -
- Resistenza all'usura: un materiale potrebbe usurarsi se utilizzato in condizioni specifiche. Questo parametro qualitativo fornisce un'indicazione di quali fattori potrebbero comprometterne l'affidabilità, tra cui esposizione ad ambienti acidi o salati, ad alcuni elementi come i raggi UV, alla pioggia, al gelo e a un'ampia gamma di temperature [57].

4.1.2 Approccio Top-Down

Quando un prodotto è a fine vita, può essere smontato e i componenti e i materiali possono essere inviati a diversi trattamenti di fine vita. Adottare l'approccio top-down alla fine del ciclo di vita a livello di prodotto, significa optare per prodotti costituiti da componenti che sono stati assemblati insieme utilizzando un fissaggio reversibile. In questo modo si potrebbe recuperare un'elevata frazione di materiali e componenti omogenei, posticipando così la fine del loro ciclo di vita. Durante la selezione dei materiali, questo approccio potrebbe essere messo in pratica in primo luogo optando per materiali potenzialmente riciclabili o biodegradabili o compostabili, in secondo luogo preferendo materiali che consentono il recupero di energia o di gas. Infine, solo quando non è possibile adottare materiali che consentano il recupero di materia o di energia, le linee guida suggeriscono di utilizzare materiali che possono essere smaltiti solo in discarica [50].

Questo approccio top-down è stato adottato anche nella Direttiva europea sulla gestione dei rifiuti, che invita a perseguire la prevenzione dei rifiuti seguendo le strategie delle 3R, Riduzione, Riutilizzo e Riciclaggio [58].

E' così possibile perseguire un'estensione della durata di vita dei materiali e allo stesso tempo evitare sia l'impatto delle discariche sia il consumo di risorse.

Parametri qualitativi e quantitativi

Per facilitare la scelta dei materiali che potrebbero avere un tempo di vita prolungato, è stata adottata una valutazione qualitativa suddivisa in 4 livelli di misura in coerenza con l'approccio full-down di fine vita e con la Direttiva europea sulla gestione dei rifiuti [58], quali:

- 1. **Potenzialmente riciclabile:** quando il materiale potrebbe essere sottoposto a un processo di riciclaggio attraverso il quale è possibile recuperare materiale riciclato secondario con prestazioni elevate o ridotte;
- 2. Biodegradabile o compostabile: quando il materiale di scarto può essere rispettivamente riassorbito dall'ambiente naturale o trasformato in compost grazie alla digestione anaerobica di microbi e materia organica;
- 3. In grado di essere gasati o recuperati energeticamente: quando i rifiuti materiali possono essere sottoposti a un trattamento di recupero energetico, attraverso la loro combustione in centrali elettriche a combustibili fossili, o a un recupero di gas, attraverso la pirolisi e la gassificazione ad arco plasma;
- 4. Smaltimento in discarica: quando l'unico scenario di fine vita possibile per il materiale è la discarica, con le conseguenze di cui abbiamo parlato prima.

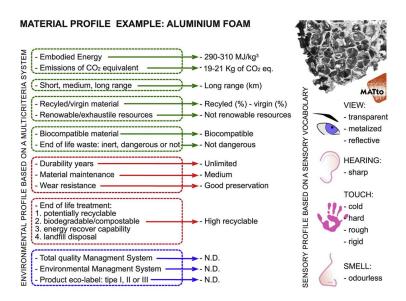


Figura 4.1: Scheda profilo di un materiale MATto, in cui sono riportate le prestazioni ambientali e sensoriali di una schiuma di alluminio.

Fonte: Articolo [59]

4.2 Indicatore di durata del materiale

Poiché la selezione dei materiali avviene durante la fase di progettazione del prodotto, gli impatti ambientali sono in gran parte fissati una volta definiti i materiali per ciascun componente. Di conseguenza, la definizione e la selezione dei materiali di produzione diventano una questione critica per quanto riguarda le strategie CE per una durata di vita prolungata dei prodotti attraverso il riutilizzo, la riparazione, la rifabbricazione, la ristrutturazione e il reimpiego. La scelta dei materiali influenza non solo le prestazioni funzionali del prodotto, ma anche le emissioni inquinanti e il consumo energetico durante il suo ciclo di vita.

Ad esempio, nel caso dei prodotti elettronici, la durata di vita si sta accorciando e i rifiuti elettronici stanno acquisendo importanza in tutto il mondo [60]. Il concetto di durabilità deve essere inteso come un attributo desiderabile per i prodotti e i componenti, poiché, in genere, il modello di produzione e gli sforzi di ricerca non implicano un cambiamento tecnologico dirompente. In [61] si sottolinea che l'obiettivo è definire l'affidabilità e la durata ottimali dei prodotti, consentendo lunghi periodi di funzionamento senza guasti. Infatti, è dimostrato che, una maggiore durata, migliora l'efficienza delle risorse grazie alla riduzione dell'uso dei materiali e ritarda, anche, la richiesta di nuovi prodotti consentendo – così - cicli dei materiali più lenti [62].

L'MDI (Material Durability Indicator) integra tre fattori primari:

- Durabilità chimica
- Durabilità meccanica
- Performance ambientali

Ogni fattore comprende un sottoinsieme di parametri o proprietà ingegneristiche che sono ben studiate e documentate nella letteratura aperta. L'MDI può essere interpretato come un compromesso tra la durabilità chimica e meccanica e gli impatti ambientali associati alla generazione, alla lavorazione e al riciclaggio del materiale.

Pertanto, il valore massimo di MDI corrisponde al materiale con le migliori prestazioni complessive considerando la durata e gli oneri ambientali. L'MDI, può essere applicato potenzialmente a qualsiasi materiale dopo aver adattato i valori di riferimento. Di seguito vengono riportate le equazioni che permettono di calcolare il valore di durabilità del materiale [63]:

$$\mathbf{MDI} = D_{ch} \cdot D_m \cdot E \tag{4.2.1}$$

$$D_{ch} = \sqrt[4]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4} \tag{4.2.2}$$

$$D_m = \sqrt[2]{b_1 \cdot b_2} \tag{4.2.3}$$

$$E = 1 - \frac{I}{I_{max}} (4.2.4)$$

$$I = \sqrt[2]{c_1 \cdot c_2} \tag{4.2.5}$$

 D_{ch} e D_{cm} ed E rappresentano rispettivamente la durabilità chimica, la durabilità meccanica e l'impatto ambientale. Tali fattori derivano da parametri o proprietà che dipendono sia dal materiale che dal processo di produzione. L'indicatore proposto prevede l'uso di banche dati sulle proprietà dei materiali per garantire una valutazione pratica della durabilità e dell'impatto ambientale. Altrimenti, l'implementazione del metodo potrebbe essere impegnativa e richiedere tempo a causa del processo di raccolta delle informazioni. Per esempio, il valore di ogni parametro può essere recuperato dal ampio database presente in CES Selector di Granta Design [64].

4.2.1 Durabilità Chimica - D_{ch}

Questo fattore misura la resistenza complessiva del materiale alle condizioni ambientali che possono influire sulla sua integrità e sulle sue prestazioni funzionali. I parametri di calcolo includono la resistenza all'infiammabilità, la resistenza ai raggi UV, la resistenza all'acqua e la resistenza ai solventi. Questi quattro parametri vengono consolidati in un unico fattore utilizzando la media geometrica.

4.2.2 Durabilità Meccanica - D_{cm}

Questo fattore misura la resistenza ai carichi meccanici sia in condizioni statiche che dinamiche. Una resistenza meccanica relativamente elevata implica anche una vita relativamente lunga rispetto a fratture, cricche e deformazioni plastiche indesiderate. Dm corrisponde alla media geometrica della resistenza allo snervamento e della resistenza alla fatica.

4.2.3 Performance ambientali - E

Questo fattore misura l'impatto ambientale generato dall'estrazione, dalla lavorazione e dal riciclo del materiale. Due parametri principali definiscono il fattore E: il consumo di energia e l'impronta di carbonio durante il ciclo di vita del materiale. Il consumo energetico misura l'energia consumata in MJ durante la produzione primaria, la fabbricazione del prodotto e il riciclo di 1 kg di materiale. L'impronta di carbonio, invece, definisce la quantità equivalente in kg di CO2 prodotta durante la produzione primaria, la fabbricazione del prodotto e il riciclo di 1 kg di materiale.

Pertanto, l'implementazione dell'indicatore MDI consente di selezionare la migliore alternativa di materiale, considerando la durabilità e le prestazioni ambientali utilizzando banche dati che permettono l'esplorazione di diversi materiali da scegliere in base al prodotto da realizzare e altri parametri come elasticità, rigidezza, costo, peso e durabilità.

Capitolo 5

Caso Studio

5.1 Prodotti End of Use

Nell'EC, il consumo di risorse viene ridotto attraverso la diminuzione delle risorse esistenti, la manutenzione, il riutilizzo e il riciclaggio. In contrasto con l'attuale economia lineare "prendere, produrre, smaltire", la CE chiude il ciclo dei materiali per incoraggiare i componenti ed i materiali a fine uso EOU (End of Use) a circolare attraverso più cicli di vita per ottenere la massima utilità. Attualmente, distruggere e riprocessare dei prodotti EOU spesso genera scarsi profitti e diventa il vero collo di bottiglia nella gestione dei materiali.

Il recupero alla fine del ciclo di vita richiede decisioni che comprendono i componenti che formeranno un modulo, la sequenza di disassemblaggio dei moduli e le opzioni di EOU dei moduli. I moduli EOU possono essere gestiti con le seguenti opzioni:

- Riutilizzo: il modulo sarà utilizzato in una funzione simile a quella originaria
- Riciclaggio: i materiali del modulo saranno raccolti per essere utilizzati in prodotti di qualità simile o degradati
- Smaltimento: in genere, i moduli smaltiti possono essere sottoposti a incenerimento per ricavarne energia o finire in discarica.

5.2 Riconfigurazione Hard Disk

La pratica del riciclaggio degli hard disk (HDD) prevede che il circuito stampato PCB (Printed Circuit Board) venga smontato e riciclato per l'oro, mentre il resto dell'HDD viene frantumato e fuso per estrarre l'alluminio. Gli elementi delle terre rare presenti nei magneti sono spesso persi nelle scorie di fusione. Il valore funzionale della maggior parte dei componenti viene meno. La ragione principale di questa situazione indesiderata è che l'HDD non è stato progettato per facilitare il disassemblaggio e il recupero del valore. Di seguito viene descritto l'esempio riportato in [65].

I principali componenti dell'HDD sono illustrati nella Figura 5.1. Per consentire la comprensione della struttura dell'HDD, la matrice della sua struttura è illustrata nella Figura 5.2. La "x" indica il contatto diretto tra le parti. L'obiettivo è determinare la fase di fine utilizzo del prodotto (EOU) che è la chiave per far circolare materiali e componenti in un nuovo ciclo di vita, piuttosto che lo smaltimento diretto.

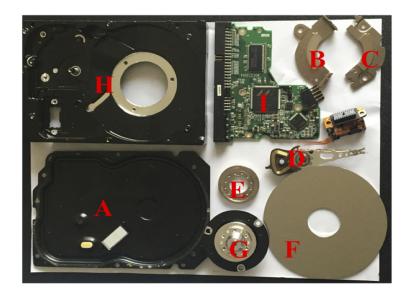


Figura 5.1: Principali componenti di un Hard Disk Fonte: Articolo [65]

	A	В	С	D	Е	F	G	Н	I
Α								×	
В				×					
C				×				×	
D		×	×						
Е						×			
F					×		×		
G						×		×	
Н	×		×				×		×
I								×	

Figura 5.2: Matrice struttura di progettazione Fonte: Articolo [65]

La Figura 5.3 mostra la tabella che riporta la matrice di transizione di disassemblaggio che rappresenta le possibili operazioni di disassemblaggio di un intero prodotto in singole parti in formato matrice. L'operazione d0 indica che l'hard disk è pronto per il disassemblaggio con tutti i suoi componenti (A-I). L'operazione di disassemblaggio d1 descrive la separazione del *PCB* dal resto dell'hard disk, assumendo il valore -1. Genera, così, il sottogruppo A-H. Il sottogruppo A-H e la parte I sono nuovi componenti e le voci corrispondenti ai componenti A,H e I nella colonna d1 assumono il valore 1.

	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8
A-I	1	-1							
A-H		1	-1						
В-Н			1	-1					
B-D				1	-1				
Е-Н				1			-1		
F-H							1	-1	
GH								1	-1
CD					1	-1			
A			1						
В					1				
C						1			
D						1			
E							1		
F								1	
G									1
Н									1
I		1							

Figura 5.3: Matrice di transizione HDD Fonte: Articolo [65]

La Figura 5.4 mostra gli utensili, il costo degli utensili, le ore di lavoro degli utensili (durata di vita), il tempo di manodopera e il costo della manodopera relativi alle operazioni di smontaggio. I T1-T5 indicano cacciaviti di dimensioni diverse. Mentre, T0 e TN rappresentano rispettivamente gli utensili manuali e una combinazione di utensili utilizzati per sbloccare i componenti. Il costo della manodopera è assunto pari a \$12 l'ora. Il tempo di smontaggio è misurato in base a esperimenti ripetitivi.

La Figura 5.5 illustra i singoli nomi ed il peso misurato dei componenti. La Figura 5.6 mostra le informazioni sul mercato secondario dei componenti HDD, lo smaltimento dei rifiuti elettronici e i costi di trasporto. I ricavi derivanti dalla vendita di componenti disassemblati sono stimati in base alle transazioni completate sul sito web di aste eBay. Il costo di smaltimento dei materiali pericolosi e non pericolosi per unità è stimato da [66].

	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8
Tool code	_	T4	T1	TN	T1	T3	T2	T0	T5
Tool cost (\$) Labor time (s)		40	70	50	2 15	25	2 60	0 5	30
Labor cost (\$) Tool lifespan (h)		0.13 200	0.23 200	0.17 200	0.05 200	0.08 200	0.2 200	$0.02 + \infty$	0.1 200

Figura 5.4: Utensili per le operazioni, tempi e costi Fonte: Articolo [65]

Part code	Part name	Weight in gram 96.983		
A	Lid			
В	Top magnet	16.631		
C	Bottom magnet	16.523		
D	Head assembly	14.705		
E	Ring	4.152		
F	Platter	22.948		
G	Spindle motor	55.374		
Н	Mainframe	227.443		
I	PCB	26.135		

Figura 5.5: Componenti e relativo peso HDD Fonte: Articolo [65]

Component/ fee item	Revenue/cost (\$)
Platter	3 per pound
PCB	8 per pound
HDD without board	0.3 per pound
Electric wire	1 per pound
scrap aluminum	1 per pound
Rare Earth magnet (2.5^{ll}) drive)	0.8 per piece
Rare Earth Imagnet (3.5^{ll}) drive	1.6 per piece
Scrap HDD	1 per pound
Head assembly	2.5 per pound
Spindle motor (3.5^{ij}) drive	3.0 per unit
E-waste disposal cost of nonhazardous material	0.012 per unit
E-waste disposal cost of hazardous material	0.035 per unit
Transportation to disposal centers	0.455 per unit

Figura 5.6: HDD Secondary Market
Fonte: Articolo [65]

Il costo di smaltimento è moltiplicato per il tasso di aumento per riflettere lo stato attuale (il tasso è circa 1,2 per il periodo 2004-2013 in [67]). Allo stesso modo, viene aggiornato il costo di trasporto. Il costo di trasporto per unità [68] viene moltiplicato per il tasso di incremento per mostrare lo stato attuale Il programma lineare binario intero è stato eseguito in CPLEX. Lo scenario prevede il riciclo delle parti A, D, E, F, H e I e il riutilizzo delle parti B, C e G nell'ordine di disassemblaggio di I, A, B, D, C, E, F e G.

5.3 Miglioramento caratteristiche di Design

Miglioramento dei Giunti: Lo smontaggio spesso comprende una serie di distacchi di giunti. L'analisi di Pareto aiuta a identificare i giunti principali che generano la maggior parte dei costi di smontaggio. La Figura 5.7 mostra l'analisi di Pareto basata sullo smontaggio degli HDD. Gli snap-fit sono adatti a sostituire i gruppi di viti. Sulla base dell'esperimento [69]e delle dimensioni dell'HDD, il tempo di disassemblaggio di un tempo di smontaggio di uno snap-fit è stimato in 4s.

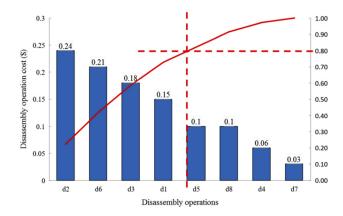


Figura 5.7: Analisi di Pareto dei costi dell'operazione di smontaggio Fonte: Articolo [65]

Miglioramento compatibilità dei materiali: Si può osservare che il rivestimento può essere difficile da rimuovere quando l'alluminio dei componenti dell'alloggiamento viene riciclato. Questo punto è stato confermato dalla ricerca condotta da [70]. Il rivestimento dei moduli EOU (A e H nella Figura 5.8) rappresenta un ostacolo al riciclo dell'alluminio. Se la composizione chimica del rivestimento si mescola con l'alluminio riciclato, quest'ultimo avrà proprietà meccaniche significativamente degradate. Se non si rimuove il rivestimento, si forma del gas combustibile, con conseguente pericolo di esplosione durante la fusione dell'alluminio nel forno.

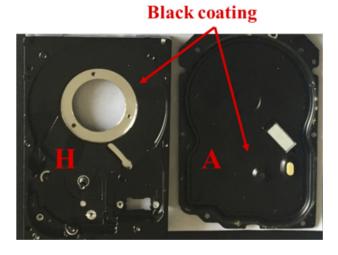


Figura 5.8: Rivestimento moduli EOU

Fonte: Articolo [65]

I componenti A e H possono essere anodizzati per creare uno strato di ossido denso sulla superficie per prevenire l'usura e la corrosione. Questo

aspetto mira ad aumentare la riciclabilità dei moduli EOU A-H.

Miglioramento della configurazione del prodotto: Appare la soluzione migliore quella di riposizionare i moduli EOU riutilizzabili e di valore per facilitarne l'accesso. In questo modo, la qualità dei componenti può essere mantenuta al massimo livello di utilità. L'analisi di Pareto in Figura 5.9 viene eseguita in base al ricavo dei moduli EOU e al rapporto tra ricavo e costo di smontaggio.

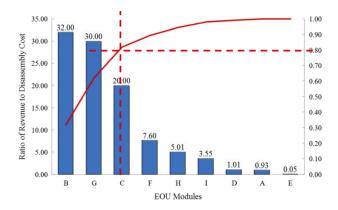


Figura 5.9: Analisi di Pareto basata sul rapporto tra ricavi e costi di disassemblaggio

Fonte: Articolo [65]

La Figura 5.10 mostra che lo Spindle Motor (G) è fissato al telaio (H) con tre viti e si trova all'interno dell'HDD. Si può osservare che G può essere riposizionato sul lato opposto del telaio H. Pertanto, il motore del mandrino (G), che è il componente più prezioso e anche il più riutilizzabile, può essere prima smontato e poi recuperato.

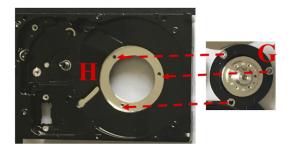


Figura 5.10: Spindle motor (G) fissato al Frame (H)

Fonte: Articolo [65]

In termini di suggerimenti per migliorare i giunti, il materiale e la configurazione, viene stabilito un nuovo progetto. Nel nuovo progetto, le modifiche sono evidenziate. I giunti a scatto potrebbero sostituire i gruppi di viti che collegano il PCB, con una riduzione dello smontaggio a 4s in ciascun caso. Il rivestimento potrebbe essere rimosso dal Lid (A) e dal Mainframe (H). A e H potrebbero essere anodizzati per mantenere le prestazioni. Il motore del perno (G) viene riposizionato sul lato opposto del Mainframe (H) per facilitarne la rimozione e il recupero. Grazie alla sostituzione dei giunti e della riselezione dei materiali, l'aumento dei profitti da riciclaggio ammonta a circa \$0,739 per unità [65].

5.3.1 Conclusioni disassemblaggio Hard Disk

Nello scenario EOU dell'HDD, il massimo profitto si ottiene quando l'HDD viene completamente disassemblato con i magneti, il motore del mandrino riutilizzato e altri componenti riciclati. I gruppi di viti che collegano il PCB e il coperchio al telaio dovrebbero essere sostituiti con viti a scatto. Inoltre, il rivestimento del telaio e del coperchio rappresenta un ostacolo al riciclaggio. L'anodizzazione del coperchio e del telaio in alluminio può essere sufficiente per le esigenze della proprietà. Inoltre, riposizionare il motore del mandrino in modo che possa essere rimosso per primo durante lo smontaggio con un danno minimo e senza compromettere la funzione, aumenta il recupero complessivo del valore. Il metodo di progettazione del prodotto proposto per la riciclabilità e il recupero del valore non è limitato a casi specifici e può essere applicato a diversi prodotti.

Capitolo 6

Conclusioni

E' ormai un dato di fatto che le sfide del prossimo futuro, anche nella realizzazione di un prodotto, dovranno tenere bene in conto l'impatto ambientale. Appare evidente come non si possa proseguire ancora per molto tempo su un modello economico lineare, alla luce dei numerosi problemi ambientali. Occorre, dunque, un cambio di passo, accelerare la transizione verso una economia circolare. In tal senso, l'opzione di poter scegliere prodotti che siano modulari non sappiamo se sarà in grado di contrastare l'obsolescenza programmata che ancora oggi esiste.

Il tema legato alla scelta dei materiali è certamente fondamentale per capire il trend che il prodotto può avere in ottica futura. Avere a disposizione database di consultazione materiali innovativi è il primo passo per il progettista per avvicinarsi in modo più semplice e pratico a tale transizione.

Sembra una frase fatta quella legata al consumismo sfrenato di cui noi stessi siamo portatori sani: l'idea di avere apparecchi elettronici nuovi ogni anno deve cambiare direzione spostandosi verso la progettazione di componenti assemblabili tra loro, scomponibili e riciclabili una volta arrivati nella fase di declino.

E' possibile identificare le **sfide future** nell'uso delle MAP come strategia per la creazione di prodotti modulari e ad architettura aperta orientandosi verso:

Metodi di progettazione orientati alla generazione di prodotti ad architettura aperta, in particolare incentrati sulla modularizzazione per quanto riguarda non solo la produzione e lo smaltimento finale, ma anche gli scenari di utilizzo, riparazione, ristrutturazione e aggiornamento.
 È possibile trovare diversi lavori riguardanti la progettazione di giunti

- e interfacce di prodotto, ma questi non sono orientati a migliorare la sostenibilità come obiettivo principale.
- La necessità di politiche di responsabilità aziendale per la sostenibilità, la cui mancanza rende difficile l'integrazione tra produttori, produttori di materiali e aziende di smaltimento finale. La creazione di catene di fornitura efficaci tra queste fasi del ciclo di vita comporta la riduzione dei costi e un migliore utilizzo delle risorse. L'attuale separazione delle aziende che partecipano al ciclo di vita del prodotto genera un aumento della lavorazione di nuove materie prime, dell'inquinamento dovuto ai prodotti non inviati allo smaltitore finale, e di emissioni, tra gli altri.
- Le politiche si sono concentrate sull'educazione degli utenti alla sostenibilità e alla loro responsabilità durante la fase di utilizzo o di funzionamento. È importante sottolineare la consapevolezza della riutilizzabilità, la necessità di portare il prodotto allo smaltimento finale per continuare il ciclo previsto e l'importanza di acquistare prodotti da aziende con filiere sostenibili dallo smaltimento finale alla produzione dei materiali. Questa sfida è una delle più importanti da affrontare. L'educazione alla sostenibilità dovrebbe essere integrata nella cultura dell'apprendimento, dalla scuola materna all'istruzione superiore.
- Necessità di metriche accettate a livello globale per la sostenibilità: è necessario stabilire metriche accettate a livello globale per valutare il ciclo di vita dei prodotti modulari, tenendo conto delle caratteristiche specifiche della modularità (comunanza di componenti, condivisione di moduli, ecc.). Attualmente, è molto complesso sviluppare la valutazione delle prestazioni di sostenibilità dei prodotti a causa della varietà di aziende e dell'uso di indicatori aziendali appropriati. indicatori aziendali appropriati.

Queste sfide, in aggiunta alle future frutto di cambiamenti vuoi climatici o di altra natura (sociali, politici, culturali, ecc..), dovranno essere superate se vogliamo contribuire a salvaguardare gli ultimi confini planetari rimasti.

Bibliografia

- [1] Yue Wang, Sydney Calhoun, Lisa Bosman, and JW Sutherland. Tolerance allocations on products: a life cycle engineering perspective. *Procedia CIRP*, 80:174–179, 2019.
- [2] Ciclo di vita del prodotto |. https://www.fromlu.com/glossary/ciclo-di-vita-del-prodotto/.
- [3] Life cycle assessment l'importanza del ciclo di vita di prodotti e processi. https://www.gruppo3i.it/life-cycle-assessment-limportanza-del-ciclo-di-vita-di-prodotti-e-processi/.
- [4] Svante Arrhenius. Xxxi. on the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 41(251):237–276, 1896.
- [5] Stefano Nespor. La lunga marcia per un accordo globale sul clima: dal protocollo di kyoto all'accordo di parigi. Rivista trimestrale di diritto pubblico, 1:81–121, 2016.
- [6] Stefano Caserini and Valentino Piana. L'accordo di parigi e la conferenza di marrakech. *Ingegneria dell'Ambiente*, 3(4), 2016.
- [7] World Commission on Environment. *Our common future*. Centre for Our Common Future, 1992.
- [8] Michael Z Hauschild, Sami Kara, and Inge Røpke. Absolute sustainability: Challenges to life cycle engineering. *Cirp Annals*, 69(2):533–553, 2020.
- [9] Johan Rockström, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F Stuart Chapin, Eric F Lambin, Timothy M Lenton, Marten Scheffer, Carl Folke,

Hans Joachim Schellnhuber, et al. A safe operating space for humanity. nature, 461(7263):472-475, 2009.

- [10] Trends and projections in europe 2021 european environment agency. https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2021.
- [11] Paolo Fabbri. Mercato delle emissioni ad effetto serra. 2008.
- [12] Timothy G Gutowski. Manufacturing and the science of sustainability. In *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*, pages 32–39. Springer, 2011.
- [13] Edgar G Hertwich. Consumption and the rebound effect: An industrial ecology perspective. *Journal of industrial ecology*, 9(1-2):85–98, 2005.
- [14] Jeroen CJM Van den Bergh. Energy conservation more effective with rebound policy. *Environmental and resource economics*, 48(1):43–58, 2011.
- [15] William McDonough and Michael Braungart. Cradle to cradle: Remaking the way we make things. North point press, 2010.
- [16] Rapporto ispra 299/2018. https://www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/rapporti/R_299_18_Emas_Econ_circolare.pdf.
- [17] Silpa Kaza, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications, 2018.
- [18] Furkan Sariatli. Linear economy versus circular economy: a comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability. *Vise-grad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1):31–34, 2017.
- [19] Julian Kirchherr, Denise Reike, and Marko Hekkert. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources*, conservation and recycling, 127:221–232, 2017.
- [20] Walter R Stahel. The circular economy. *Nature*, 531(7595):435–438, 2016.

[21] Thibaut Wautelet. Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach. European University for Economics and Management. doi, 10, 2018.

- [22] BAS Mentink. Circular business model innovation: a process framework and a tool for business model innovation in a circular economy. 2014.
- [23] Thibaut Wautelet. The concept of circular economy: its origins and its evolution, 01 2018.
- [24] Bernice Lee, Felix Preston, Jaakko Kooroshy, Rob Bailey, and Glada Lahn. *Resources futures*, volume 1. Citeseer, 2012.
- [25] Claude Bathias. There is no infinite fatigue life in metallic materials. Fatigue & fracture of engineering materials & structures (Print), 22(7):559–565, 1999.
- [26] Walter R Stahel. Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1986):20110567, 2013.
- [27] Brudtland Commission et al. World commission on environment and development.(1987). our common future.
- [28] Commission adopts ambitious new circular economy package. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_15_6203.
- [29] Erwan Mouazan et al. Understanding circular business models: drivers, obstacles and conditions towards a successful transition. 2016.
- [30] Before the flood the documentary film. https://www.beforetheflood.com/about/.
- [31] Ellen MacArthur. Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition. *Ellen MacArthur Foundation:* Cowes, UK, pages 21–34, 2013.
- [32] Julian Kirchherr, Denise Reike, and Marko Hekkert. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources*, conservation and recycling, 127:221–232, 2017.

[33] Jouni Korhonen, Cali Nuur, Andreas Feldmann, and Seyoum Eshetu Birkie. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of cleaner production*, 175:544–552, 2018.

- [34] Sébastien Sauvé, Sophie Bernard, and Pamela Sloan. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental development*, 17:48–56, 2016.
- [35] Nancy MP Bocken, Ingrid De Pauw, Conny Bakker, and Bram Van Der Grinten. Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of industrial and production engineering*, 33(5):308–320, 2016.
- [36] Denise Reike, Walter JV Vermeulen, and Sjors Witjes. The circular economy: new or refurbished as ce 3.0?—exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resources, Conservation and Recycling, 135:246–264, 2018.
- [37] Steven Van Ewijk and JA Stegemann. Limitations of the waste hierarchy for achieving absolute reductions in material throughput. *Journal of Cleaner Production*, 132:122–128, 2016.
- [38] Peng Wang, Sami Kara, and Michael Z Hauschild. Role of manufacturing towards achieving circular economy: The steel case. *CIRP Annals*, 67(1):21–24, 2018.
- [39] Marit Moe Bjørnbet, Christofer Skaar, Annik Magerholm Fet, and Kjersti Øverbø Schulte. Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature. *Journal of Cleaner Production*, 294:126268, 2021.
- [40] Pingyu Jiang, Jiewu Leng, Kai Ding, Peihua Gu, and Yoram Koren. Social manufacturing as a sustainable paradigm for mass individualization. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 230(10):1961–1968, 2016.
- [41] Jaime Alberto Mesa, Iván Esparragoza, and Heriberto Maury. Modular architecture principles—maps: a key factor in the development of sustai-

- nable open architecture products. International Journal of Sustainable Engineering, 13(2):108–122, 2020.
- [42] J Mesa. Development of a methodology for the conceptual design of reconfigurable manufacturing systems (rms) based on modularity, 2012.
- [43] Conrad Luttropp and Jessica Lagerstedt. Ecodesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of cleaner production*, 14(15-16):1396–1408, 2006.
- [44] Beatrice Lerma, Claudia De Giorgi, and Cristina Allione. Design e materiali. SENSORY Perception, Sustainability, Project, 2011.
- [45] Han Brezet. Ecodesign-a promising approach to sustainable production and consumption. *United Nations Environmental Programme (UNEP)*, 1997.
- [46] Anna Lewandowska and Przemyslaw Kurczewski. Iso 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. part 1: structure and theory. *The international journal of life cycle assessment*, 15(8):769–776, 2010.
- [47] Karl Ulrich and Steven Eppinger. EBOOK: Product Design and Development. McGraw Hill, 2011.
- [48] M Simon, S Evans, Timothy Charles McAloone, A Sweatman, T Bhamra, and S Poole. Ecodesign navigator: A key resource in the drive towards environmentally efficient product design. 1998.
- [49] Claudio Germak, G Bistagnino, and F Celaschi. Man at the centre of the project: Design for a new humanism. *Allemandi & C, Torino*, 2008.
- [50] Carlo Vezzoli. Design e sostenibilità. Design multiverso. Appunti di fenomenologia del design, 2003.
- [51] Cristina Allione, Claudia De Giorgi, Beatrice Lerma, and Luca Petruccelli. From ecodesign products guidelines to materials guidelines for a sustainable product. qualitative and quantitative multicriteria environmental profile of a material. *Energy*, 39(1):90–99, 2012.
- [52] C Allione and C Lanzavecchia. Dall'ecodesign all'architettura. *Time & Mind Editore (eds.)*, *Turin*, 2008.

[53] Michael F Ashby and Kara Johnson. Materials and design: the art and science of material selection in product design. Butterworth-Heinemann, 2013.

- [54] C De Giorgi, C Allione, and B Lerma. Environmental and perception properties of materials for industrial product. how to select the materials for pursuing the product life cycle ecocompatibility? In *Proceedings of the international conference sustainability in design: now*, page 631e43, 2010.
- [55] Thomas E Graedel. Designing the ideal green product: Lca/scla in reverse. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2(1):25–31, 1997.
- [56] Luigi Bistagnino, GP Marino, and A Virano. The outside shell seen from the inside. *CEA*, *Milano*, 2008.
- [57] Michael F Ashby, Hugh Shercliff, and David Cebon. *Materials: engineering, science, processing and design*. Butterworth-Heinemann, 2018.
- [58] K Hänsch and K Kinkel. European parliament and council directive 94/62/ec of 20 december 1994 on packaging and packaging waste. Journal of Environmental Law, 7(2):323–337, 1995.
- [59] Cristina Allione, Claudia De Giorgi, Beatrice Lerma, and Luca Petruccelli. From ecodesign products guidelines to materials guidelines for a sustainable product. qualitative and quantitative multicriteria environmental profile of a material. *Energy*, 39(1):90–99, 2012.
- [60] Deepali Sinha-Khetriwal, Philipp Kraeuchi, and Markus Schwaninger. A comparison of electronic waste recycling in switzerland and in india. Environmental Impact Assessment Review, 25(5):492–504, 2005.
- [61] Marita Sauerwein, Eugeni Doubrovski, Ruud Balkenende, and Conny Bakker. Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 226:1138– 1149, 2019.
- [62] Hanna Helander, Anna Petit-Boix, Sina Leipold, and Stefan Bringezu. How to monitor environmental pressures of a circular economy: An

- assessment of indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 23(5):1278–1291, 2019.
- [63] Jaime Mesa, Arturo González-Quiroga, and Heriberto Maury. Developing an indicator for material selection based on durability and environmental footprint: A circular economy perspective. Resources, Conservation and Recycling, 160:104887, 2020.
- [64] GRANTA Design. Granta selector ansys granta. https://www.grantadesign.com/it/industry/products/ces-selector/.
- [65] Liang Cong, Fu Zhao, and John W Sutherland. A design method to improve end-of-use product value recovery for circular economy. *Journal of Mechanical Design*, 141(4), 2019.
- [66] AK Bhuie, OA Ogunseitan, J-DM Saphores, and AA Shapiro. Environmental and economic trade-offs in consumer electronic products recycling: a case study of cell phones and computers. In *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2004. Conference Record. 2004, pages 74–79. IEEE, 2004.
- [67] U EPA. Advancing sustainable materials management: 2014 fact sheet, 2015.
- [68] AK Bhuie, OA Ogunseitan, J-DM Saphores, and AA Shapiro. Environmental and economic trade-offs in consumer electronic products recycling: a case study of cell phones and computers. In *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2004. Conference Record. 2004, pages 74–79. IEEE, 2004.
- [69] Yasuo Kondo, Kenji Deguchi, Yu-ichiro Hayashi, and Fumio Obata. Reversibility and disassembly time of part connection. *Resources, Conservation and Recycling*, 38(3):175–184, 2003.
- [70] Guoqing Yan, Mianqiang Xue, and Zhenming Xu. Disposal of waste computer hard disk drive: data destruction and resources recycling. Waste management & research, 31(6):559–567, 2013.

Appendici

Appendice A

Gli obiettivi di Sviluppo Sostenibile

Lo sviluppo globale per il benessere umano e per proteggere l'ambiente: è questa la traccia utilizzata per elaborare gli obiettivi – 17 con anche 167 sotto obiettivi - volti a realizzare lo "sviluppo sostenibile".

Ovvero, tutti i Paesi devono fornire un contributo per raggiungere gli obiettivi in base alle loro capacità da realizzare entro i prossimi 15 anni incentivati, tra l'altro, dal fatto che già gli obiettivi per lo sviluppo del millennio adottati nel 2000 avrebbero migliorato le vite di milioni di persone. La povertà globale continua a decrescere; sempre più persone si sono viste garantire l'accesso a fonti migliori d'acqua; un maggior numero di bambini frequenta le scuole elementari; e una serie d'investimenti mirati alla lotta contro la malaria, l'Aids e la tubercolosi hanno salvato milioni di persone.

1. Porre fine a ogni forma di povertà nel mondo

Progressi, nella lotta contro la povertà, ce ne sono stati a partire dal 1990 ma più di 800 milioni di persone, il 70% dei quali sono donne, vivono ancora in condizioni di estrema povertà. La nuova Agenda per lo sviluppo sostenibile si pone l'obiettivo di eliminare la povertà estrema entro il 2030. I



poveri sono particolarmente vulnerabili alle crisi economiche e politiche, alle problematiche di biodiversità e degli ecosistemi, delle catastrofi naturali e della violenza. Per garantire che i popoli fuggiti alla povertà non ricadano di nuovo in essa, questo obiettivo prevede anche misure per rafforzare la resilienza al sostentamento e i sistemi di sicurezza sociale.

Entro il 2030, sradicare la povertà estrema per tutte le popolazioni del mondo, attualmente misurata come persone che vivono con meno di \$ 1,25 al giorno con riduzione di almeno della metà la percentuale di uomini, donne e bambini di ogni età che vivono in povertà in tutte le sue dimensioni in base alle definizioni nazionali.

Si è stabilito di puntare di implementare sistemi a livello nazionale adeguati di protezione sociale e misure per tutti - entro il 2030 - per raggiungere la sostanziale copertura del numero di persone povere e vulnerabili.

Sempre entro il 2030 assicurarsi che tutti gli uomini e le donne, in particolare i poveri e i vulnerabili, abbiano uguali diritti come all'accesso ai servizi di base, alla proprietà e controllo sulla terra e ad altre forme di proprietà, all'eredità, alle risorse naturali, ad appropriate tecnologie e a nuovi servizi finanziari, tra cui la microfinanza. Tanto, anche e non solo, per rafforzare la resilienza dei poveri e di chi vive in situazioni di vulnerabilità e ridurre la loro esposizione e la vulnerabilità ad eventi estremi legati al clima e ad altri shock economici, sociali e ambientali e alle catastrofi

Negli anni di impegno che condurranno al 2030 si cercheranno risorse da una varietà di fonti, anche attraverso un rafforzamento della cooperazione allo sviluppo, al fine di fornire mezzi adeguati e prevedibili per i paesi in via di sviluppo, attuando programmi e politiche per porre fine alla povertà in tutte le sue dimensioni.

Ancora, riferimenti di quadri politici a livello nazionale, regionale e internazionale, a favore dei poveri e sensibili al genere, capaci di sostenere gli investimenti nelle azioni di lotta alla povertà.

2. Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile



Anche se la situazione è migliorata in numerosi paesi, molte persone soffrono ancora la fame e la malnutrizione in tutto il mondo. La denutrizione colpisce quasi 800 milioni di persone in tutto il mondo - la maggior parte dei quali donne e bambini. L'obiettivo del 2030 è quello di porre fine alla fame e tutte

le forme di malnutrizione in tutto il mondo entro i prossimi 15 anni: si stima che la produzione alimentare mondiale dovrà essere raddoppiata entro il 2050.

Circa il 70% delle persone che sono denutrite devono direttamente o indirettamente all'agricoltura il loro sostentamento, quindi sono i piccoli agricoltori a rischio di denutrizione.

La qualità del cibo è altrettanto importante quanto la quantità di cibo. E' per questo che si punterà anche agli aspetti economici raddoppiando la produttività agricola e il reddito dei piccoli agricoltori (sempre entro il 2030) non ignorando disposizioni in materia di agricoltura sostenibile per evitare danni all'ambiente.

Solo per ricordare – il 2020 – è stato caratterizzato dall'aver mantenuto la diversità genetica di semi, piante coltivate e animali da allevamento e domestici e le loro specie selvatiche affini, anche attraverso banche di semi e piante attraverso una sana gestione a livello nazionale, regionale e internazionale.

3. Assicurare la salute e il benessere per tutti e per tutte le età

Gli Obiettivi di sviluppo del millennio (MDG) hanno dato un contributo significativo al miglioramento della salute globale, per esempio nella lotta contro le malattie come l'AIDS, la tubercolosi e la malaria. Ad esempio, il numero di morti per malaria è sceso del 60% a partire dal 2000. Tuttavia,



i risultati non sono riusciti a soddisfare le aspettative in molti settori, come la riduzione della mortalità infantile e materna.

L'esperienza degli OSM ha dimostrato che i problemi di salute devono essere

visti nel contesto, non in forma isolata. Formazione e sicurezza alimentare influenzano l'efficacia dei programmi di assistenza sanitaria.

E, procedendo negli intenti, entro il 2030 si dovrà ridurre il tasso di mortalità materna globale, ridurre la mortalità di neonati e bambini sotto i 5 anni di età come, anche, porre fine alle epidemie di AIDS, la tubercolosi, la malaria e le malattie tropicali trascurate e combattere l'epatite, malattie di origine idrica e di altre malattie trasmissibili riducendone la morte prematura.

Un'attenzione particolare nel rafforzare la prevenzione e il trattamento di abuso di sostanze, tra cui abuso di stupefacente e l'uso nocivo di alcol senza dimenticare campagne di sensibilizzazione su vaccini e tabagismo.

4. Fornire un'educazione di qualità, equa ed inclusiva, e opportunità di apprendimento per tutti



La comunità internazionale ha ribadito l'importanza della formazione e istruzione di buona qualità per il miglioramento delle condizioni di vita delle persone, delle comunità e intere società.

Partendo dalle molte lezioni utili dei Millennium Development Goals (MDG), il nuovo

obiettivo di sviluppo sostenibile 4 va oltre l'istruzione primaria dei bambini, evidenziando in particolare il legame tra istruzione di base e la formazione professionale. Inoltre, sottolinea l'equità e la qualità dell'istruzione in un approccio di apprendimento per tutta la vita.

In pratica entro il 2030, assicurarsi che tutte le ragazze ei ragazzi raggiungano un grado di istruzione libero, equo e di qualità primaria e secondaria che porti a rilevanti ed efficaci risultati di apprendimento aumentando sostanzialmente il numero di giovani e adulti che abbiano le competenze necessarie, tecniche e professionali.

5. Raggiungere l'uguaglianza di genere ed emancipare tutte le donne e le ragazze

La disuguaglianza di genere è uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo sostenibile, alla crescita economica e alla riduzione della povertà. Grazie all' OSM 3 sulla parità di genere e l'empowerment delle donne, i progressi nella possibilità alle bambine di iscriversi a scuola e l'integrazione delle don-



ne nel mercato del lavoro, sono stati stato considerevoli. L'OSM 3 ha dato alla questione della parità di genere grande visibilità, ma sono ancora sensibili questioni importanti come la violenza contro le donne, le disparità economiche e la bassa partecipazione delle donne al processo decisionale politico.

Il Goal 5 sostiene le pari opportunità tra uomini e donne nella vita economica, l'eliminazione di tutte le forme di violenza contro le donne e le ragazze, l'eliminazione dei matrimoni precoci e forzati, e la parità di partecipazione a tutti i livelli.

Spicca la possibilità di riconoscere e valorizzare la cura e il lavoro domestico non retribuito attraverso la fornitura di servizi pubblici, le politiche infrastrutturali e di protezione sociale e la promozione della responsabilità condivisa all'interno della famiglia e a livello nazionale.

6. Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie



L'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienici è un diritto umano e, insieme con le risorse idriche, un fattore determinante in tutti gli aspetti dello sviluppo sociale, economico e ambientale. Gli OSM del 2000 contenevano obiettivi su acqua e servizi igienici potabile, ma non hanno affrontato altri

aspetti fondamentali per lo sviluppo sostenibile, come la gestione delle risorse idriche, la gestione delle acque reflue, la qualità dell'acqua onde prevenire i disastri legati all'acqua.

Oltre a accesso all'acqua potabile e servizi igienici, il Goal 6 comprende quindi ulteriori obiettivi come la protezione e il ripristino degli ecosistemi legati all'acqua (tra cui montagne, foreste, zone umide, fiumi e laghi). Obiettivo 6 mira a migliorare la qualità dell'acqua e ridurre l'inquinamento delle acque, in particolare quello da sostanze chimiche pericolose. Si sostiene anche la cooperazione transfrontaliera, come la chiave per la gestione delle risorse idriche in modo integrato a tutti i livelli.

Sarà necessario – ove possibile - aumentare sostanzialmente l'efficienza idrica da utilizzare in tutti i settori e di garantire i ritiri e fornitura di acqua dolce per affrontare la scarsità d'acqua e ridurre in modo sostanziale il numero delle persone che soffrono di scarsità d'acqua. Si cercherà di puntare ad una gestione integrata delle risorse idriche a tutti i livelli, anche attraverso la cooperazione transfrontaliera a seconda dei casi con particolare attenzione alla protezione e al ripristino degli ecosistemi legati all'acqua, tra cui montagne, foreste, zone umide, fiumi, falde acquifere e laghi.

7. Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni

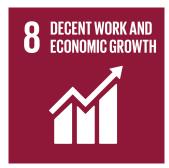
L'accesso all'energia è un prerequisito essenziale per raggiungere molti obiettivi di sviluppo sostenibile che si estendono ben al di là del settore energetico, come ad esempio l'eliminazione della povertà, aumentare la produzione alimentare, la fornitura di acqua pulita, miglioramento della sanità pub-



blica, migliorando l'istruzione, la creazione di opportunità economiche e l'e-mancipazione delle donne. Allo stato attuale, 1,6 miliardi di persone in tutto il mondo non hanno accesso all'energia elettrica.

L'Obiettivo 7 sostiene in tal modo l'accesso universale e affidabile ai servizi di produzione di energia moderni a prezzi accessibili. Dato che lo sviluppo sostenibile dipende lo sviluppo economico e dal clima, l'obiettivo 7 mira ad un notevole aumento della quota di energie rinnovabili nell'ambito delle energie globali e un raddoppiamento del tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica. Energie rinnovabili, nonché l'investimento in infrastrutture e tecnologie di energia pulita tracceranno il percorso di quest' altro obiettivo con attenzione prezzi accessibili per un'energia affidabile sostenibile per tutti.

8. Promuovere una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, la piena e produttiva occupazione e un lavoro dignitoso per tutti



Secondo i dati attuali, oltre 200 milioni di persone in tutto il mondo sono disoccupati, soprattutto giovani. L'occupazione e la crescita economica svolgono un ruolo significativo nella lotta alla povertà. La promozione di una crescita sostenibile e la creazione di sufficienti posti di lavoro dignitoso e ri-

spettoso dei diritti umani sono di fondamentale importanza non solo per i paesi in via di sviluppo ma anche per le economie emergenti e quelle industria-lizzate. Obiettivi, quindi, sul sostegno della crescita economica, aumentando la produttività economica e la creazione di posti di lavoro dignitosi.

Esso prevede anche la lotta contro il lavoro forzato e la fine della schiavitù moderna e traffico di esseri umani entro il 2030. La crescita economica sostenibile non deve avvenire a scapito dell'ambiente, ed è per questo che l'obiettivo 8 mira anche a una migliore efficienza dei consumi delle risorse globali e della produzione prevenendo un degrado ambientale legato alla crescita economica. Elaborazione, anche, di attuare politiche volte a promuovere il turismo sostenibile, che crea posti di lavoro e promuove la cultura e prodotti locali.

9. Infrastrutture resistenti, industrializzazione sostenibile e innovazione

Gli investimenti in infrastrutture sostenibili e nella ricerca scientifica e tecnologica aumentano la crescita economica, creano posti di lavoro e promuovono la prosperità. I progetti infrastrutturali che costano miliardi sono previsti per i prossimi 15 anni, in particolare nei paesi in via di sviluppo e nelle



economie emergenti. L'Obiettivo 9 mira pertanto a costruire infrastrutture resistenti, promuovere l'industrializzazione e promuovere l'innovazione.

Maggiore efficienza delle risorse da utilizzare e una maggiore adozione di tecnologie pulite e rispettose dell'ambiente e processi industriali necessari per rendere le infrastrutture e le industrie sostenibili entro il 2030. L'Obiettivo 9 mira a sostenere lo sviluppo della tecnologia, la ricerca e l'innovazione soprattutto nei paesi in via di sviluppo, fornire a piccole industrie e aziende un maggiore accesso ai servizi finanziari e di credito a prezzi accessibili, e aumentare l'integrazione di queste aziende nei mercati. Mira anche a sostenere l'accesso universale e accessibile a internet nei paesi meno sviluppati del mondo.

Migliorare significativamente l'accesso alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione rappresenterà lo sforzo di fornire un accesso universale e accessibile a Internet in paesi meno sviluppati; questo già in essere dal 2020.

10. Ridurre le disuguaglianze



Le disuguaglianze a livello globale sono enormi e presentano uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo sostenibile e alla lotta contro la povertà. La disuguaglianza all'interno di molti paesi è in aumento negli ultimi anni. Le disuguaglianze limitano le opportunità di partecipare alla vita dei gruppi sociali

e di dare un contributo significativo alla vita sociale, culturale, politica ed economica. Pertanto, l'obiettivo 10 si concentra sulla riduzione delle disuguaglianze all'interno dei paesi e tra i paesi.

Ridurre le disuguaglianze all'interno e tra i paesi potenziando e promuovendo l'inclusione sociale, economica e politica di tutti, a prescindere dall'età, dal sesso, disabilità, razza, etnia, origine, religione o status economico o di altro. Saranno eliminante le leggi, le politiche e le pratiche discriminatorie e promuovere una legislazione appropriata, politiche e azioni in questo senso attraverso una giusta e corretta politica fiscale, salariale e politiche di protezione sociale.

Incoraggiare aiuto pubblico allo sviluppo e i flussi finanziari, compresi gli investimenti diretti esteri, negli Stati dove il bisogno è maggiore, in particolare nei paesi meno sviluppati, nei paesi africani, nelle piccole isole e aree senza sbocco sul mare in di tali Stati in via di sviluppo, in accordo con i loro piani e programmi nazionali: gli argomenti, questi, su cui lavorare.

11. Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili

L'urbanizzazione globale è uno degli sviluppi più significativi del 21 ° secolo. Più della metà della popolazione mondiale vive in città, una percentuale che si prevede di aumentare al 70% entro il 2050. Sono le città a guidare le economie locali e nazionali, come centri di prosperità dove si concentra



oltre l'80L'obiettivo 11 mira a ridurre gli effetti negativi dell'impatto ambientale delle città, in particolare in termini di qualità dell'aria e gestione dei rifiuti. Essa richiede forme più inclusive e sostenibili di urbanizzazione, basate in particolare su un approccio partecipativo, integrato e sostenibile alla pianificazione urbana. Inoltre, esso mira a garantire l'accesso universale a spazi verdi e pubblici sicuri e inclusivi, soprattutto per le donne ei bambini, gli anziani e le persone con disabilità, e di fornire l'accesso ai sistemi di trasporto sicuri e convenienti.

Piu specificatamente rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, flessibili e sostenibili garantendo a tutti l'accesso ad un alloggio e servizi di base adeguati, sicuri e convenienti e l'eliminazione delle baraccopoli.

12. Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo



La popolazione mondiale attualmente consuma più risorse rispetto a quelle che gli ecosistemi siano in grado di fornire. Per lo sviluppo sociale ed economico che rientri nella capacità di carico degli ecosistemi, sono necessari cambiamenti fondamentali nel modo in cui le società producono e consu-

mano garantendo modelli di consumo e produzione sostenibili.

Tra l'altro, non verrà privata di attenzione entro il 2030 la possibilità di ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclaggio e il riutilizzo attraverso l'incoraggiamento alle imprese, in particolare le grandi aziende e multinazionali, ad adottare politiche sostenibili e ad integrare le informazioni di sostenibilità nel loro ciclo di relazioni.

13. Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere i cambiamenti climatici

Il cambiamento climatico è una sfida chiave in materia di sviluppo sostenibile. Il riscaldamento del clima terrestre sta provocando cambiamenti nel sistema climatico globale che minacciano la sopravvivenza di ampie fasce di popolazione nei paesi meno sviluppati, mentre le infrastrutture e alcu-



ni settori economici sono vulnerabili ai rischi dei cambiamenti climatici, in particolare, nelle regioni sviluppate. Inoltre, i cambiamenti nei cicli delle precipitazione e di temperatura stanno colpendo anche ecosistemi come le foreste, i terreni agricoli, le regioni di montagna e degli oceani, così come le piante, gli animali e le persone che vi abitano. L'anidride carbonica globale (CO2) è aumentata di oltre il 50% tra il 1990 e il 2012.

L'Obiettivo 13 invita i paesi a dotarsi di misure di protezione del clima nelle loro politiche nazionali e a prestarsi reciproca assistenza per rispondere alle sfide quando necessario. Essa riconosce che la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici della resilienza alle calamità naturali legate al clima e riafferma l'impegno di aiutare i paesi in via di sviluppo ad adattarsi ai cambiamenti climatici.

14. Conservare e utilizzare in modo durevole gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile



Inquinamento e sfruttamento eccessivo dei nostri oceani sono la causa di sempre maggiori problemi, quali una grave minaccia per la biodiversità, l'acidificazione degli oceani e l'aumento dei rifiuti di plastica. Oltre alla pesca industriale e l'utilizzo commerciale delle risorse marine, il cambiamento cli-

matico sta mettendo gli ecosistemi marini sotto pressione sempre in aumento. Una continua crescita della popolazione mondiale sarà ancora più legata al problema delle risorse marine in futuro.

L'Obiettivo 14 mira a ridurre in modo significativo tutti i tipi di inquinamento marino, riducendo al minimo l'acidificazione degli oceani entro il 2025,

affrontando in modo sostenibile la gestione e la protezione degli ecosistemi marini e costieri. Esso mira inoltre, entro il 2020, a regolamentare la raccolta in modo efficace e a bloccare la pesca eccessiva, ponendo fine alla pesca illegale e non regolamentata e le pratiche di pesca distruttive. Inoltre, obiettivo 14 tende a vietare determinati tipi di sovvenzioni alla pesca.

E vediamone qualche esempio: entro il 2025, prevenire e ridurre in modo significativo l'inquinamento marino di tutti i tipi, in particolare partendo dalle attività terrestri, compresi rifiuti marini e l'inquinamento, ridurre al minimo e affrontare gli effetti dell'acidificazione degli oceani, regolare la pesca eccessiva e la pesca illegale.

Entro il 2030 dovranno aumentare i benefici economici alle piccole isole dei paesi in via di sviluppo per l'uso sostenibile delle risorse marine, anche mediante una gestione sostenibile della pesca, l'acquacoltura e il turismo.

15. Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre

La conservazione e l'uso sostenibile della biodiversità sono di vitale importanza per lo sviluppo sociale ed economico, nonché per la sopravvivenza dell'umanità. Tuttavia, vi è un evidente e continuo declino della biodiversità con una perdita della superficie forestale che minaccia la prosperità umana, con



un impoverimento delle popolazioni rurali povere - comprese le comunità indigene e locali - particolarmente colpite. Biodiversità e foreste contribuiscono alla riduzione della povertà e sono alla base della sicurezza alimentare e della salute umana, poiché assicurano aria pulita e acqua, assorbendo le emissioni di CO2 oltreché lo sviluppo ambientale.

Entro il 2030, garantire la lotta alla desertificazione, il ripristino dei terreni degradati e del suolo, compresi i terreni colpiti da desertificazione, siccità e inondazioni: sarà questo il fine su cui ci si concentrerà insieme all'adozione di misure urgenti per porre fine bracconaggio e il traffico di specie di flora e fauna protette e affrontare sia la domanda e l'offerta di prodotti della fauna selvatica illegali.

16. Pace, giustizia e istituzioni forti



E' evidente che senza una comunità pacifica e inclusiva e una governance efficace, lo sviluppo non può essere sostenibile. Ad esempio, i paesi colpiti da conflitti sono i più lontani dal raggiungimento degli SDG, mentre in molti altri paesi il ristabilimento delle istituzioni di pace e responsabili ha contri-

buito notevolmente al raggiungimento degli SDG.

L'Obiettivo 16 entro il 2030 mira pertanto a promuovere società pacifiche e inclusive. Come tale, essa sostiene di ridurre ogni forma di violenza, comprese la tortura e la lotta contro tutte le forme di criminalità organizzata. Inoltre, obiettivo 16 prevede di ridurre in modo significativo corruzione e concussione, così come flussi finanziari illeciti e di armi. Per garantire che le società siano pacifiche e inclusive, L'Obiettivo 16 ha anche lo scopo di promuovere le istituzioni inclusive e lo stato di diritto, e di garantire la parità di accesso alla giustizia.

Obiettivo 16: promuovere società pacifiche e inclusivi per lo sviluppo sostenibile, fornire l'accesso alla giustizia per tutti e costruire istituzioni efficaci, responsabili e inclusive a tutti i livelli Tutte le forme di violenza, l'abuso, lo sfruttamento, il traffico e tutte le forme di violenza e torture verso i bambini non dovranno piu esserci attraverso la promozione del diritto a livello nazionale e internazionale e di garantire parità di accesso alla giustizia per tutti. Si dovrà rafforzare la capacità delle istituzioni nazionali, anche attraverso la cooperazione internazionale, in particolare nei paesi in via di sviluppo, di prevenire la violenza e di combattere il terrorismo e la criminalità.

17. Rafforzare i mezzi di attuazione degli obiettivi e rinnovare il partenariato mondiale per lo sviluppo sostenibile

Il successo dell'attuazione dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile dipende da un quadro di finanziamento globale che va al di là degli impegni ufficiali di assistenza allo sviluppo. Accanto a finanziamenti pubblici e privati, la sfera politica dovrebbe assicurare un maggiore contributo al raggiungimento



degli obiettivi in questione L'Obiettivo 17 invita i paesi sviluppati a rinnovare il loro impegno di destinare lo 0,7% del reddito lordo nazionale all'aiuto pubblico allo sviluppo. Ha lo scopo di garantire una maggiore mobilitazione delle risorse interne per ridurre la dipendenza dal sostegno straniero, così come una maggiore collaborazione internazionale nel campo delle scienze, tecnologia e innovazione, e la promozione di un sistema commerciale multilaterale equo. L'Obiettivo 17 sostiene anche il miglioramento della stabilità macroeconomica e la coerenza delle politiche nell'interesse di uno sviluppo sostenibile.